

**ALEXANDRE TORRES PORRES**

PROCESSOS DE COMPOSIÇÃO MICROTONAL  
POR MEIO DO MODELO DE DISSONÂNCIA  
SENSORIAL

Dissertação apresentada ao Curso de mestrado em Música do Instituto de Artes da UNICAMP, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Música sob a orientação do Prof. Dr. Jônatas Manzolli.

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DO INSTITUTO DE ARTES DA UNICAMP**

Porres, Alexandre Torres.  
P828o      Processos de Composição Microtonal por meio do Modelo de  
Dissonância Sensorial / Alexandre Torres Porres – Campinas, SP:  
[s.n.], 2007.

Orientador: Jônatas Manzolli.  
Dissertação(mestrado) - Universidade Estadual de Campinas,  
Instituto de Artes.

1. Microtonalidade 2. Sistemas de Afinação. 3. Composição  
(Musica) 4. Rugosidade. 5. Modelagem Psicoacústica 6. Puredata.  
I. Manzolli, Jônatas II. Universidade Estadual de Campinas.  
Instituto de Artes. III. Título.

(em/ia)

Título em inglês: “Microtonal Compositional Processes via the Sensory Dissonance Model.”

Palavras-chave em inglês (Keywords): Microtonality. Tuning systems. Composition (Music). Roughness. Psychoacoustic Model. Puredata

Titulação: Mestre em Musica

Banca examinadora:

Prof. Dr. Jônatas Manzolli.

Prof. Dr. Adolfo Maia Jr..

Prof. Dr. Claudinei Carrasco.

Prof. Dr. Sílvio Ferraz.

Prof. Dr. Fernando Iazzetta.

Data da Defesa: 14-12-2007

Programa de Pós-Graduação: Musica

# Instituto de Artes

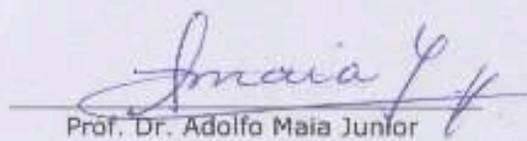
## Comissão de Pós-Graduação

**Defesa de Tese de Mestrado em Música, apresentada pelo Mestrando Alexandre Torres Porres - RA 37812 como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre, perante a Banca Examinadora:**



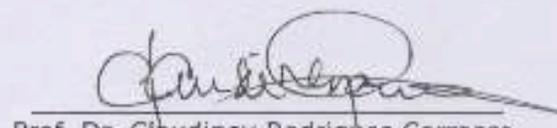
---

Prof. Dr. Jônatas Manzollini  
Presidente/Orientador



---

Prof. Dr. Adolfo Maia Junior  
Membro Titular



---

Prof. Dr. Claudiney Rodrigues Carrasco  
Membro Titular

Alexandre Torres Porres

PROCESSOS DE COMPOSIÇÃO MICROTONAL  
POR MEIO DO MODELO DE DISSONÂNCIA  
SENSORIAL

Orientador: Prof. Dr. Jônatas Manzolli

Membros da Banca:

Prof. Dr. Jônatas Manzolli (DM/IA - Unicamp) (Orientador) \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Claudiney Carrasco (DM/IA - Unicamp) \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Adolfo Maia Jr. (IMECC – Unicamp) \_\_\_\_\_

Aos meus pais.

## RESUMO

Foram estudados, na presente pesquisa, Sistemas de Afinação com o intuito de investigar a aplicação desse conhecimento em Processos Criativos. Para tal, desenvolvemos uma distinção de abordagens composicionais na música do Século XX, e também estudamos o mecanismo de construção de escalas adotando, principalmente, o estudo da Psicoacústica (i.e. Modelo de Dissonância Sensorial), que propiciou o desenvolvimento de uma ferramenta computacional tanto de análise de sons e Sistemas de Afinação, quanto de criação sonora. Os estudos serviram de base para o desenvolvimento de Processos Criativos com comentários de acordo com os objetivos de pesquisa.

## ABSTRACT

On the present research, Tuning Systems were studied in order to investigate its application in Creative Processes. For such, we created a distinction of compositional approaches in the music of the 20th Century, and we also studied mechanisms of scale development by mainly adopting Psychoacoustics (i.e. Roughness Model), which enabled the development of a computational tool for the analysis of sounds and Tuning Systems, as well as musical creation. The studies have been applied in Creative Processes with comments and discussions over the research's objectives.

## AGRADECIMENTOS

Muitos são os professores, os colegas e os amigos que me acompanharam desde meus primeiros interesses nesse tema de pesquisa, lá por 2002/2003. Meu programa de mestrado começou oficialmente em 2005, mas depois de um ano já como aluno especial em 2004, e depois de ter metido a cara numa primeira tentativa no final de 2003. Agora, já no começo de 2008, e no começo de um doutorado, tento não me esquecer de tantas pessoas em tanto tempo, a quem tanto devo agradecimentos.

Muitos são os professores nesse percurso, mas preciso começar, na verdade, ainda antes desse grande período de tempo – no Século passado, inclusive. No ano de 2.000, me marcou um incentivo que recebi do Professor Antônio Adolfo, quem me sugeriu a buscar estudos na área de Composição. Busquei, e encontrei esses estudos com Mauricio Dottori, meu professor de composição mais presente e importante. Quanto ao mestrado, não posso agradecer ninguém menos que meu orientador Jônatas Manzolli, que me abriu tantas portas e arriscou apostar em mim – uma aposta de risco que deu um bom trabalho, e resultou em uma amizade que levarei sempre com carinho. Também lembrarei sempre do espírito apaixonado e sempre pronto para elocubrações criativas, tais quais impossíveis trocadilhos, onde aproveito a deixa para expor meu apelido secreto de Jonatas *Mãezolli*, por ser, acima de tudo, uma pessoa “do bem”.

Infelizmente não usufruí de tantos talentos que deram aula na UNICAMP durante meu mestrado, sinto por não ter aproveitado mais um contato direto com Mannis e Denise Garcia, mas, por outro lado, agradeço a mão e força que recebi de Sílvio Ferraz, nos cafés ruins e rodeados de abelhas do Édson. Não poderia esquecer do contato com Rodolfo Caesar, que, apesar de mínimo (no que concerne minha pesquisa, e não mesas de bares), foi gentil e de precisão cirúrgica ao me oferecer o curioso CD de William Sethares, que me deixou mais instigado a obter referências desse autor (já pouco conhecido por mim). Tais referências são tão somente as mais significativas para esta dissertação.

Agradeço aos queridos companheiros do não tão ativo (mas bem eficaz) Ensemble EntreCompositores de Curitiba: o Austríaco Fernando Riederer, Franco Bueno, o Pato Branquense Italiano Vinícius Giusti, Mauricio Aroldi, a vizinha paulista Lú Elisa, Marcel Slumsinsky, aquele japonês do Denorex80 Gilson Fukushima, e o ainda remanescente curitibano Márcio Steüernagel (que, quando sair de lá, deve apagar a luz). Um grupo que, apesar de dissoluto em distâncias intercontinentais ou não, deve render (assim espero) ainda trabalhos futuros.

À galera paulista do MURO: Vítor, Andrei, o quase companheiro de casa, xará, amigo, e colega doutorando Alexandre Fenerich, a colega doutoranda Lílian Campesato, o conterrâneo

paranaense Giú, o tio Valério Fiel da Costa. Muitos são os colegas, amigos dessa fase, que, apesar do alto nível de *Porrificação*, ainda insistem em me convidar para improvisos e performances. Mas um grupo especial merece destaque por, além disso, ter literalmente me acolhido, em diversas ocasiões, em suas casas, desde quando tão logo cheguei a Campinas, e ainda são presentes e importantes na minha vida, a começar por Valério (de novo) e Tânia Neiva, e os companheiros do atual *IBRASOTOPE* e *O “Mundo” Entre Aspas*: Mário del Nunzio, Henrique Iwao, e Luquinhas. Sem falar em Guilherme Rebecchi, com quem faltei com a promessa de colocar um agradecimento em cada página como nota de rodapé, principalmente pelos chás verdes, e a incrível técnica de *Jôh-Rêi* aplicada a resolver problemas de *Pau no Computador*.

Aos amigos e colegas que me ajudaram em gravações de material para o mestrado: Flávio Lira, Tânia (de novo), Marcelo Martinez Vieira. A tantos outros colegas e amigos diversos compositores, ao bem humorado Alfredo Votta, Dante Mantovani e Clara Felício (pelos jantares), o conspiracionista irmão Léo Alves Vieira, Jean Pierre, que compartilha também mesmos interesses. Pessoal do NICS: Professor Adolfo Maia, André Luvizotto, Renato Fabbri, e, principalmente, Fábio Furlanete, que me deu uma força e um empurrão estratégico em *puredata*. O velho amigo Guilherme Soares, também pela mão com *puredata*. Aos novos amigos, graças a esse trabalho, da convenção de *puredata* Mathieu Bouchard e Alexandre Castonguay.

Ao grande Clarence Barlow, compositor e professor que dividiu tantas informações cruciais, ajudando sempre que possível neste estudo. Da mesma maneira, Pantelis Vassilakis e Bill Sethares foram sempre prestativos em correspondência por e-mail. Aos professores Fernando Iazzetta e Marcelo Queiroz, pelo interesse neste trabalho. Ao pessoal do centro de Música Microtonal de Amsterdã: Rosalie Hirs, o diretor Samuel Vriezen, Manuel Op de Coul (criador do software *Scala*) e, especialmente, Jos Zwaanenburg.

Por fim, à Carina cara mia, a Advogada que mais entende de Psicoacústica no mundo, que acompanhou a escrita deste texto, e também me acompanhou nos momentos mais decisivos e críticos, inclusive no exame final de defesa (como advogada e não promotora). E, acima de tudo, como não poderia deixar de ser, à Minha Família, os únicos para quem apenas agradecer é um gesto suficiente de retribuição, pois nunca me pediram nada em troca pelo que fizeram por mim, além do meu bem estar.

São Paulo, Fevereiro de 2008  
Alexandre Torres Porres

## SUMÁRIO

---

Resumo -----	pág. xi
Abstract -----	pág. xiii
Agradecimentos -----	pág. xv
Sumário -----	pág. xvii
Glossário -----	pág. xix
<b>Introdução</b> -----	pág. 01
<b>Capítulo I</b>	
1 – O Discreto, o Contínuo, e os Microtons -----	pág. 05
1.1 – Abordagem Discreta -----	pág. 06
1.1.1 – Exemplo da obra de Hába -----	pág. 10
1.1.2 – Ivan Wyschnegradsky -----	pág. 13
1.2 Abordagem Contínua -----	pág. 15
1.2.1 Precusores e outros exemplos -----	pág. 16
1.2.2 <i>Partiels</i> de Grisey -----	pág. 18
1.3 Música Microtonal: Considerações Finais -----	pág. 21
<b>Capítulo II</b>	
2 – Percepção de Rugosidade, Altura e Discriminação de Alturas -----	pág. 25
2.1 Série Harmônica -----	pág. 26
2.2 Mecanismos Psicofísicos -----	pág. 28
2.2.1 Rugosidade e Dissonância Sensorial -----	pág. 29
2.2.1.1 Um modelo de Rugosidade -----	pág. 39
2.2.2 Percepção de Altura e Tons Musicais -----	pág. 49
2.2.3 Percepção de Intervalos Musicais -----	pág. 56
<b>Capítulo III</b>	
3 – Escala e Conteúdo Espectral -----	pág. 62
3.1 Espectros Harmônicos de um a seis parciais -----	pág. 63
3.2 Escalas de Ondas Quadradas -----	pág. 69
3.3 Escalas de Espectros Inarmônicos -----	pág. 73
3.3 Escalas a partir de Máximos e Mínimos -----	pág. 73
<b>Capítulo IV</b>	
4 – Processos Criativos -----	pág. 75
4.1 Processo Acústico -----	pág. 75

4.1.1 Estudos de Harmônicos -----	pág. 76
4.1.2 Expansão por meio de Eletroacústica -----	pág. 80
4.2 Processo Eletrônico -----	pág. 82
4.3 Ambiente Composicional Interativo em Puredata -----	pág. 84
4.3.1 Texturas Por Meio de Movimento em Torno de Antenas -----	pág. 85
<b>Conclusão</b> -----	pág. 88
Referências -----	pág. 92
Anexo I – Afinação Justa -----	pág. 96
I.a – Representação de Intervalos Musicais -----	pág. 97
I.b – Afinação Justa e Temperamento -----	pág. 99
I.c – Intervalos Justos e Série Harmônica -----	pág. 100
I.d – Limite de Afinação Justa -----	pág. 103
I.e – Diagramas Reticulares de Afinação Justa -----	pág. 104
Anexo II – Apanhado Histórico -----	pág. 110
II.a – Afinação Justa, da Grécia ao Renascimento -----	pág. 110
II.b – Temperamentos e Sistema Tonal -----	pág. 112
II.c – Divisões Múltiplas - O Berço da Microtonalidade -----	pág. 114
II.d – Além do Limite-5 -----	pág. 118
Anexo III – Patch de Pd -----	pág. 121
Anexo IV – A Escala do Chromelodeon: <i>DISSENS</i> Versus One Footed Bridge -----	pág. 129
IV.1 – O Sistema de Harry Partch e <i>One Footed Bridge</i> -----	pág. 131
IV.2 – Análise e Escala do Chromelodeon -----	pág. 133
Anexo V – Portfolio Composicional e CD-ROM -----	pág. 137
V.1 Instruções e Notas de Produção de $\mu$ -----	pág. 138
V.1.1 Cordas -----	pág. 138
V.1.2 Flauta -----	pág. 142
V.2 Divisões da Corda -----	pág. 143
V.2.1 Tabelas de Harmônicos no Pentagrama -----	pág. 147
V.3 Partitura de $\mu$ -----	pág. 181

## GLOSSÁRIO

---

**Senóide** – Forma de onda cíclica associada ao gráfico da função seno. Variação periódica simples que pode ser compreendida como Componente Espectral de um Tom Complexo.

**Som Senoidal ou Tom Senoidal** – Resultado de uma vibração simples, de frequência constante, que pode ser descrito por uma senóide.

**Som Puro ou Tom Puro** – Sinônimo de Tom Senoidal. Um Tom Puro possui apenas um Componente Espectral.

**Som Complexo ou Tom Complexo** – Resultado de Vibrações Complexas, possui mais de um Componente Espectral.

**Componente Espectral** – Elemento do Espectro Sonoro de um Som Complexo. No caso específico da Síntese Sonora baseada no **Teorema de Fourier**<sup>1</sup>, cada Componente Espectral corresponde a uma Senóide.

**Parcial** – Sinônimo de Componente Espectral. Em um Espectro Sonoro de um Som Complexo, os Parciais podem ser **Harmônicos** ou **Inarmônicos**.

**Espectro Sonoro** – Conjunto dos Componentes Espectrais de um Som Complexo, podem ser harmônicos ou inarmônicos..

**Timbre** – Atributo Perceptivo do som que, por ser multi-dimensional, é mais bem definido pelo que não é, já que não há um mapeamento claro do que o definiria. *A Audio Engeneering Society* o define como a qualidade que permite **diferenciar dois sons de mesma altura e intensidade**. Estudos contemporâneos demonstram que o Timbre encontra grande correlação no Espectro Sonoro de um som. O Espectro Sonoro define uma importante dimensão da percepção timbrística, mas não totalmente.

**Formantes** – Frequências Formantes de um instrumento musical são picos de energia em uma região do espectro sonoro, provenientes de certas peculiaridades da ressonância do corpo do instrumento. Desse modo, os parciais das notas musicais que se encontram nessa região de ressonância serão realçados. Os formantes são um fator importante na caracterização do timbre de certos instrumentos. Enquanto o espectro de cada nota de um instrumento pode variar consideravelmente com a altura, as regiões dos formantes permanecem estáveis, seja qual for a frequência da nota. Portanto, os formantes funcionam como uma espécie de assinatura de uma determinada fonte sonora.

---

<sup>1</sup> Matematicamente, representa-se o espectro sonoro como uma série de Fourier, uma função no domínio das frequências, em oposição à forma de onda que é uma função no domínio do tempo. Qualquer onda sonora, assim como qualquer outro fenômeno ondulatório, pode ser representado através de seu espectro. Um gráfico de espectro sonoro é composto de barras, cada uma delas representando a amplitude de uma das frequências componentes do som analisado. Este tipo de gráfico é utilizado em equipamentos eletrônicos, tais como analisadores de espectro ou em equalizadores. No caso dos analisadores digitais, o cálculo é realizado através da Transformada Rápida de Fourier - FFT (Fast Fourier Transform), um algoritmo bastante eficiente que permite calcular o valor de uma transformada discreta de Fourier, em tempo real.

**Espectro Harmônico** – Um Tom Complexo com parciais Harmônicos, ou com Relação Harmônica entre seus Componentes.

**Fundamental** – A Fundamental de um Tom Complexo corresponde ao primeiro Parcial (tanto Harmônico quanto Inarmônico).

**Razão** – Uma Razão pode ser expressa na forma de divisão entre duas grandezas, ou uma Fração. Nesta dissertação, representamos a Razão de um Intervalo Musical entre  $x$  e  $y$  no formato  $[x:y]$ , onde  $x > y$ . Apesar de que em alguns exemplos provenientes de outras fontes elas podem estar descritas no formato  $x/y$ .

**Numerador** – Termo superior de uma Razão/Fração, ou “ $x$ ”, do exemplo acima.

**Denominador** – Termo inferior de uma Razão/Fração, ou “ $y$ ”, do exemplo acima.

**Relação Harmônica** – Relações Harmônicas são Razões descritas por Números Inteiros, por exemplo:  $[2:1]$ ,  $[3:2]$ , etc.

**Tom Harmônico** – Um Tom Complexo formado por Parciais em Relações Harmônicas, ou seja, possui um Espectro Harmônico.

**Harmônico** – Componente Espectral de Tom Complexo Harmônico. O primeiro Harmônico é sinônimo do primeiro Parcial, ou Fundamental. Também pode se referir à Relação Harmônica, como um Tom Harmônico.

**Tom Inarmônico** – Tom Complexo formado por Relações Inarmônicas, que são razões que não podem ser descritas por números inteiros.

**Série Harmônica** – Conjunto dos Componentes Espectrais de um Tom Complexo Harmônico. A Série Harmônica é um modelo teórico para Intervalos Justos.

**Tom Musical** – Sinônimo de Tom Complexo Harmônico ou Inarmônico, gerado pela vibração acústica de instrumentos musicais.

**Intervalo Musical** – Um Intervalo Musical é descrito pela razão entre duas frequências, podem ser harmônicos ou inarmônicos.

**Número Racional** – Número que pode ser representado por uma razão (ou fração) entre dois números inteiros, correspondem aos Intervalos Justos.

**Número Irracional** – Número que não pode ser representado por uma razão (ou fração) entre dois números inteiros, correspondem aos Intervalos Temperados.

**Nodo** – Uma corda vibra não somente em toda a sua extensão, mas também em segmentos divididos em proporção de números inteiros, ou seja, metade, em três partes, quatro, e assim sucessivamente. Esses pontos de subdivisão da corda são chamados de nodos.

**Intervalo Justo** – Intervalos Justos são descritos por Relações Harmônicas. Portanto, podem ser encontrados na Série Harmônica. Por exemplo,  $[5:4]$  (uma Terça Maior Justa) e  $[3:2]$  (uma Quinta Justa). Pode haver uma confusão terminológica no caso de certos intervalos musicais. No caso da Terça Maior dita “Justa” não há problema. Entretanto, uma Quinta dita “Justa”, como

no exemplo recém dado, pode dar a impressão que se trata de um intervalo de Quinta Justa em oposição a uma Quinta Diminuta ou Quinta Aumentada. Nesta dissertação, porém, sempre nos referimos aos Intervalos Justos em oposição aos Temperados.

**Intervalo Puro** – Sinônimo de Intervalo Justo. Quinta Pura = Quinta Justa. Essa terminologia evita a confusão possível no exemplo acima.

**Limite** – Fator primo associado a construção de um **Intervalo Justo**.

**Intervalo Temperado** – Não são descritos por Relações Harmônicas, e sim Inarmônicas, ou irracionais. Logo, esses intervalos não podem ser descritos por Razões de números inteiros. Como o Trítone Temperado, que corresponde à  $[2^{1/2}:1]$ .

**Série Subarmônica** – Inversão da Série Harmônica  $[1/1 - 1/2 - 1/3 - 1/4 - 1/5 - 1/6 - 1/7 - 1/8 - \dots - \infty]$ . Trata-se de uma abstração, que não está relacionada diretamente ao fenômeno vibratório de um instrumento musical.

**Subarmônico** – Componente Espectral grave e ausente de um Tom Complexo Harmônico, que não possui a Fundamental ou os primeiros termos da Série Harmônica.

**Altura** – Atributo Perceptivo do som que possibilita ordená-lo em uma escala do grave ao agudo. Notadamente associado à variação acústica da frequência.

**Loudness** – Termo em inglês do Atributo Perceptivo do som relativo à percepção da Intensidade Sonora. Notadamente associado à variação acústica da energia sonora.

**Escala Musical** – Conjunto de Notas Musicais, um subconjunto de um Sistema de Afinação. Dependendo do ponto inicial da Escala, essa pode compreender diferentes Modos. Normalmente, as Escalas se repetem em Oitavas.

**Nota Musical** – Em uma Escala Musical, cada item desse conjunto é considerado uma Nota, que difere do conceito de Altura por se repetir em diferentes Oitavas.

**Sistema de Afinação** – Conjunto de Notas Musicais que comporta diversos subconjuntos (Escala, Modos), e se repetem, normalmente, em Oitavas.

**Afinação Justa** – Sistema de Afinação formado apenas por Intervalos Justos.

**Temperamento** – Sistema de Afinação que contém Intervalos Temperados.

**Progressão Aritmética** – Sequência numérica em que cada termo, a partir do segundo, é igual à soma do termo anterior com uma constante R. A Série Harmônica é uma Progressão Aritmética no domínio da Frequência. Por exemplo  $[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, \dots, \infty]$ . Obtém-se uma Progressão Aritmética por meio de Divisões Aritméticas.

**Divisão Aritmética** – Divisão da diferença entre duas quantidades que resulta em uma Progressão Aritmética. A constante R de uma Divisão Aritmética em X partes entre as quantidades A e B se dá por:  $R = (A - B) \div X$ . Onde  $A > B$ . E a Média Aritmética (MA) de A e B é obtida por  $MA(A,B) = (A+B) \div 2$ .

**Média Harmônica\*** – Antiga Média Subcontrária. A Média Harmônica (MH) de A e B Forma a Progressão Harmônica (A - MH - B). Trata-se da divisão da diferença entre duas quantidades A e B definida por  $MH(A,B) = \frac{2.A.B}{A+B}$ . Uma característica dessa Média é que, sendo  $A > B$ , a razão entre as quantidades [A:B] é Igual à razão das diferenças [(A-MH):(MH-B)].

**Progressão Harmônica** – Uma Progressão inversa da Aritmética [1, 1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 1/6, 1/7, 1/8, 1/9, 1/10, 1/11, ...,  $\infty$ ], onde cada termo é uma Média Harmônica entre o anterior e o seguinte, ou entre outros pontos opostos e equidistantes. Como uma Divisão Aritmética resulta em uma Progressão Aritmética, a inversão desses resultados forma uma Progressão Harmônica.

**Progressão Geométrica** – Seqüência numérica em que cada termo, a partir do segundo, é igual ao produto do termo anterior por uma constante Q. [1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024, 2048, ...,  $\infty$ ]. Obtém-se uma Progressão Geométrica por meio de Divisões Geométricas.

**Divisão Geométrica\*** – Divisão da diferença entre duas quantidades em partes proporcionalmente iguais. Isso é, de modo há sempre uma mesma Razão entre um termo “T” e seu anterior [T:T-1], que é igual à constante Q de uma Progressão Geométrica. Portanto, resulta em uma Progressão Geométrica. A constante Q ou Razão, em uma Divisão Geométrica em X partes entre as quantidades A e B, é obtida por:  $Q = \frac{A+B}{X}$ . Onde  $A > B$ .

\* É impossível extrair uma Média Harmônica ou uma Média Geométrica entre duas quantidades, se uma dessas quantidades for igual a zero.

---

“Purificai bem-aventurado João, os nossos  
lábios polutos, para podermos cantar  
dignamente as maravilhas que o Senhor  
realizou em Ti.”

“Ut queant laxis resonare fibris (Do-re)  
Mira gestorum famuli tuorum (Mi-fa)  
Solve poluti labei reatum (Sol-la)  
Sancte Johannes.” (Si

# INTRODUÇÃO

---

"Our musical alphabet must be enriched."

— Edgard Varèse (1883 - 1956), New York Morning Telegraph (1916).

Esta pesquisa em Processos Criativos relaciona criação musical com o estudo de Percepção de Microtonalidade/Sistemas de Afinação Alternativos, ou, mais especificamente, um conceito de dissonância psicoacústica ligado à Afinação. O objetivo desta dissertação é relatar e analisar o modelo desenvolvido frente ao processo composicional adotado. A fundamentação teórica é baseada, principalmente, em uma corrente musicológica sistemática científica: a Sonologia, com enfoque centrado em Psicoacústica. Extraímos desse campo um princípio teórico de Dissonância Sensorial e aplicamos em Composição Musical. A dissertação se inicia com uma discussão teórica que trata, nos dois primeiros Capítulos, de dois referenciais fundamentais: a) traçar um panorama atual de abordagens composicionais, e b) também apresentar princípios perceptivos de Sistemas de Afinação. Um terceiro Capítulo apresenta uma análise da relação entre Escala e Espectro Sonoro, e o quarto Capítulo descreve os Processos Criativos baseados no estudo desenvolvido até então.

Mesmo sendo problemático relacionar diretamente um estilo de Composição com um modelo que pressuponha o uso de um tipo específico de material, há linguagens que podem se adequar melhor a um Sistema de Afinação. Um exemplo desse pressuposto foi discutido no capítulo *A Música Barroca e o Temperamento de Quarto de Coma* por Harnoncourt (1998). De qualquer modo, o uso geral de Microintervalos (como Quartos de Tom) não implica nenhuma orientação estética específica e abarca um imenso universo de possibilidades estéticas, tal qual o sistema igualmente temperado possibilita diversas abordagens. Há um grande vácuo entre o material (ou um instrumento) e uma aplicação poética musical.

É comum se perguntar, todavia, qual seria a relação entre Afinações Alternativas e alguns estilos musicais. Antes de Afinações Alternativas, porém, conhece-se o termo Microtonalidade, e costuma-se, por exemplo, questionar qual seria a característica de uma música dita "Microtonal". Seria algo imprescindível na música modal de outros povos? O que diferiria um Sistema de Afinação Microtonal de outro? Qual seria a estética da música moderna em Quartos de Tom? O que enfim implica, exatamente, o termo Microtonalidade? E, também, qual sua relação com Afinações Alternativas? Seriam termos distintos? Quais Afinações Alternativas podem ser

consideradas Microtonais e vice-versa? Essas e outras questões similares motivaram este estudo. No próximo parágrafo, a começar pela nossa definição do termo Microtonalidade, elucidamos algumas destas questões.

O termo Microtonalidade é muito abrangente e não se baseia apenas na idéia do uso de intervalos menores que um Semitom. Também, como já exposto acima, não pode implicar uma estética específica, pois comporta diversos Sistemas de Afinação e, portanto, um conjunto de materiais diversificados. Todavia, o termo Microtonalidade refere-se, de fato, ao uso de Microtons ou Microintervalos, que Griffiths (1995:139) define como “*intervalos menores que o semitom*”, deixando implícito que a prática da Microtonalidade seja restrita ao uso dos Microtons “*por si mesmos*”<sup>2</sup>. Ainda em seu verbete sobre Microtonalidade, Griffiths (1995:139) a separa do conceito de Afinações Alternativas, compreendidas como um tipo de afinação que difere do padrão do Temperamento Igual, mas que, porém, não possuem Microintervalos adjacentes. Obviamente, as Afinações Alternativas contêm pequenas variações em relação aos intervalos do Temperamento Igual (ou seja, variações microtonais), fator esse que influencia o uso do termo Microtonalidade quando se trata de uma Afinação Alternativa. A grande chave, então, na definição desses termos, está na padronização do Temperamento Igual como “O Sistema de Afinação”, que se opõe a Sistemas de Afinação Alternativos ou Microtonais.

Um Sistema de Afinação é um conjunto de notas musicais que comporta diversos subconjuntos denominados de Escalas, que, por sua vez, podem formar diferentes Modos. Por exemplo, o Temperamento Igual contém 12 notas que são transpostas em oitavas e, assim, permitem a construção, dentre outras, da escala diatônica em 12 transposições, sendo que cada transposição dessa escala compreende os 07 modos musicais (Jônio, Dórico, Frígio, Lídio, Mixolídio, Eólio e Lócrio). Logo, do ponto de vista de nossa pesquisa, a definição de Microtonalidade por Griffiths (1995:139), que a distingue da de Afinações Alternativas, é simplificadora, pois diversos Sistemas de Afinação que partem de relações Microtonais (ou seja, um conjunto de notas com intervalos adjacentes menores que o Semitom) se configuram, na verdade, em escalas cujo menor passo adjacente é maior que o Semitom.

Um exemplo claro é o Sistema de Afinação de Harry Partch (1974), que, apesar de dividir a Oitava em 43 Microintervalos, é elaborado para conter *Tonalidades*<sup>3</sup> de 06 notas, cujos passos adjacentes são maiores que o Semitom (vide Tabela IV.1 no Anexo IV). Portanto, aqui se instaura

---

<sup>2</sup> “Por si mesmos” foi a expressão adotada por Griffiths (1995:139), que remete à aplicação de microintervalos em pequenas variações de alturas, como um tipo de “super cromatismo”.

<sup>3</sup> O termo “Tonalidade” em Partch (1974) não se refere ao usual conceito de Modo Maior ou Menor com 07 notas. As tonalidades de Partch (1974) possuem apenas 06 notas, e se configuram em dois modos: *O-tonality* e *U-tonality* (Vide Anexo IV.1).

um certo conflito entre a definição de Sistemas Microtonais e Afinações Alternativas, pois, a princípio, as tonalidades de Partch se caracterizam como Afinações Alternativas, mas seu Sistema de Afinação, com 28 tonalidades<sup>4</sup> e a Oitava dividida em 43 intervalos, é um clássico na literatura da Microtonalidade. Monzo (2004) discorre sobre as possíveis implicações do termo “microtom/microtonal”, como tem sido discutido por diversos músicos, em um grupo do *yahoo*<sup>5</sup>, da seguinte maneira<sup>6</sup>:

“Estritamente falando, como pode ser inferido por sua etimologia, “microtonal” refere-se a *pequenos* intervalos. Alguns teóricos se atêm a isso para designar apenas intervalos menores que o semitom (usando outros termos, como *macrotonal*, para descrever outros tipos de intervalos que não pertencem ao Temperamento Igual), enquanto muitos outros o usam para se referirem a qualquer intervalo que desvie do Temperamento Igual, inclusive os *maiores* que o semitom...”.

A definição que adotamos nesta pesquisa foi a de relacionar *microtons* com Sistemas Alternativos de Afinação, pois entendemos que a separação destes conceitos é problemática. Sob essa ótica, Microtonalidade se refere a qualquer Sistema de Afinação que difira do Temperamento Igual, seja essa elaborada para o uso de Microtons “por si mesmos”, seja elaborada como uma “Afinação Alternativa”. Ambas, entretanto, podem ser adotadas em uma abordagem comum, denominada, por nós, Abordagem Discreta e discutida no Capítulo 1. Essa abordagem se caracteriza pelo conceito de passos intervalares distintos, em escalas, modos e tonalidades. Em contrapartida, a livre exploração do contínuo de frequências, que visa um controle textural e é influenciada pela tecnologia e estética da segunda metade do Século XX, foi, neste estudo, denominada Abordagem Contínua (também discutida no Capítulo 1). Entendemos que essa distinção entre Abordagens Composicionais é mais importante e transcende a questão da “Microtonalidade Versus Afinação Alternativa”.

Além da categorização de Abordagens Composicionais, um segundo aspecto teórico apresentado nesta dissertação é centrado em questões psicoacústicas, discutidas no Capítulo 2, pois parece-nos natural que, ao se buscar meios para construir modelos microtonais, estude-se também o funcionamento do aparelho perceptivo humano, uma vez que tais informações e estímulos são, por ele, processados. Do estudo em psicoacústica, nos aprofundamos no conceito de Dissonância Sensorial, a partir do qual elaboramos uma ferramenta analítica e composicional. Uma implicação desta pesquisa psicoacústica está na relação entre espectro e escala, que ocorre no alinhamento de

---

<sup>4</sup> Das 28 tonalidades de seu sistema, 14 são incompletas, mais informações no Anexo IV.

<sup>5</sup> “Yahoo Tuning Group”: <<http://launch.groups.yahoo.com/group/tuning/>>, lista de discussão sobre Afinação.

<sup>6</sup> Verbete disponível em: <<http://tonalsoft.com/enc/m/microtone.aspx>>.

componentes espectrais em intervalos musicais, e é descrita em mais detalhes no Capítulo 3. No capítulo 4, apresentamos os processos composicionais desenvolvidos como consequência de estudos aqui expostos.

Esta dissertação visa ao estudo e desenvolvimento de *Processos de Composição Microtonal por meio do Modelo de Dissonância Sensorial*, e parte do princípio de que é possível construir um sistema composicional utilizando um modelo de Dissonância Sensorial. Dessa forma, o material microtonal é adotado principalmente como gerador de texturas. Considera-se também o pressuposto de que a interação entre material e processo de superposição de camadas sonoras seja capaz de construir espectros sonoros e interferir neles. Tais especulações motivaram esta pesquisa tanto como elementos teóricos quanto composicionais, por isso, são revistos e criticados na conclusão. Os Anexos trazem não somente informações complementares, como também fundamentais, de modo que uma opção para quem não possui conhecimento algum de conceitos como Afinação Justa e Limite, pode se beneficiar ao iniciar a leitura desta dissertação pelos Anexos I e II.

# CAPÍTULO 1:

## O Discreto, o Contínuo e os Microtons

---

"In France, ... most of the young composers use microintervals now. Almost all of them, so that the musicians from their youth are not so afraid of it any more. And it's very easy to train the ear."

— Gérard Grisey (1946 - 1998), entrevista com David Bundler (1996).

Neste capítulo, apresentamos duas abordagens: a primeira denominada Discreta e a segunda Contínua. O trabalho desenvolvido durante o mestrado se caracterizou como uma pesquisa de material para ser aplicado em processos composicionais, o que depende, em boa parte, deste primeiro Capítulo. O estudo toma mais corpo, entretanto, ao vincular o material microtonal ao conteúdo espectral dos sons, dada a relação entre conteúdo espectral e Sistemas de Afinação (Capítulo 3). Essa relação pode ser avaliada por um modelo de Dissonância Sensorial, desenvolvido em pesquisa, e apresentado no Capítulo 2.

Nas próximas seções deste Capítulo, apresentamos uma distinção, feita em nossa pesquisa, em dois modos básicos de operar sobre o material Microtonal. Na primeira subseção (1.1 – Abordagem Discreta), apresenta-se uma alternativa para criação de organizações sonoras vinculadas à construção de escalas e a subsequente exploração desse material. A segunda subseção (1.2 – Abordagem Contínua) discute como o uso de microtons é uma ferramenta para manipulação e desenvolvimento de material espectral.

Um pré-requisito importante para a discussão deste Capítulo encontra-se no referencial teórico dos Anexos I e II, que inclui conceitos fundamentais de Afinação como a questão de Limite, e também esboça um panorama histórico até o início do Século XX. Uma conclusão pertinente, apresentada no Anexo II.d *Além do Limite-5*, é que microintervalos derivados do Temperamento Igual não buscam uma aproximação da Afinação Justa (intervalos encontrados na Série Harmônica), o que seria possível apenas com uma subdivisão muito refinada em Doze Avos de Tom.

A questão de aproximação de Limites também diz respeito ao estudo de Psicoacústica, esmiuçado no próximo Capítulo. Esse aspecto, da mesma maneira, está embutido na discussão do

Capítulo 3, sobre o conceito de Minimização de Dissonância Sensorial, que é exatamente a questão de fundo dos Limites de Sistemas de Afinação. Por fim, o sistema computacional, um dos resultados criativos dessa pesquisa, permite transcender essa questão de aproximação de Limite por focar uma questão mais fundamental – a relação entre Afinação e Espectro Sonoro.

## 1.1 – Abordagem Discreta

"The transcription of recordings of folk music should be as true as possible. ... [pitch] deviations, since they show a certain system and are subconsciously intentional, must not be considered faulty, off-pitch singing. ... The first problem with which we have to deal is with what degree of exactitude we shall transcribe these deviations in pitch."

— Béla Bartók (1881 - 1945), *Serbo-Croatian Folk Songs* (1943) [pp. 3 - 4]

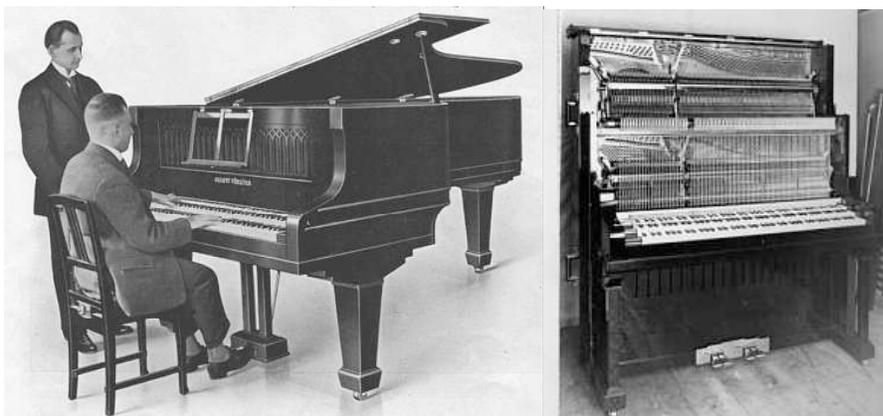


Figura 1.1 – Pianos August Förster de teclado duplo em Quartos de Tom, desenvolvidos para Hába (esquerda) e Wyschnegradsky (direita).

Pode-se notar que a noção do uso de microtons “*por si mesmos*” [GRIFFITHS 1993:139] remete à pesquisa psicoacústica apresentada em 2.2.3 *Percepção de Intervalos Musicais*, que discute sobre o limiar de percepção de pequenos intervalos. Nesse contexto, tanto Darreg (1947) quanto Schubert e Parncutt (2006) afirmam que o menor intervalo passível de utilização musical<sup>7</sup> é o Quarto de Tom. É importante ressaltar que o uso de microtons “*por si mesmos*” se vincula ao conceito musical de cromatismo, ligado, por sua vez, ao Romantismo do final do Século XIX.

<sup>7</sup> “Utilização Musical” no sentido de princípios melódicos, ou outros próprios da Abordagem Discreta.

Segundo Griffiths (1993:139), é justamente nessa época (década de 1890) que Carrilo e Foulds introduziram a Divisão Igual da Oitava em 24 notas, ou em “Quartos de Tom”. De fato, o surgimento de Quartos de Tom caracteriza uma expansão do sistema tonal (e das idéias musicais em vigor na época), assim como uma expansão do Sistema de Afinação recém padronizado: o Temperamento Igual<sup>8</sup>. Uma forte evidência é que, na década de 1910, Willi von Möllendorf (1917) publicou uma sistematização do uso de Quartos de Tom ampliando os recursos da Música Tonal, até um limiar perceptivo, levando em consideração que uma divisão maior do espaço tonal não seria passível para utilização musical.

Divisões em intervalos menores que um Quarto de Tom, entretanto, servem a princípios harmônicos, e não ao uso “por si mesmos” (usando o jargão de Griffiths). Tanto que divisões dessa ordem já haviam sido experimentadas antes do Século XX (vide Anexo II.c). Segundo Barbour (1951), encontramos no decorrer da História da Música Ocidental alguns experimentos em Divisões Múltiplas da Oitava (divisões da Oitava em mais de 12 notas). Esses sistemas visavam escalas e tonalidades com 07 notas. Assim como Partch (1974), cujo sistema de Afinação pode ser considerado uma Divisão Múltipla da Oitava para conter escalas com 06 notas.

De qualquer modo, o Século XX apresenta um novo conceito de subdivisões do Tom Temperado, em Quartos e até Sextos de Tom, que não visam, *a priori*, alguma Afinação Alternativa particular, resumidas a escalas de até 07 notas. Conseqüentemente, compositores acabaram adotando esse material “por si mesmos”, que implica uma expansão sonora em um conjunto maior de microintervalos, de onde se explora todas as relações entre seus constituintes, e não apenas uma matriz de relações para se extrair escalas de 07 notas por Oitava, como é o caso conceitual de Divisões Múltiplas da Oitava. É nesse contexto que surge uma “*Escola de Microtonalismo*”, caracterizada, principalmente, como uma ramificação e expansão dos recursos expressivos do Sistema Tonal, e que tem como maior expoente o compositor Tcheco Alois Hába (1893-1973).

Hába nasceu em 1893 na cidade de Vizovice, e morreu em 1973 em Praga, onde vivera desde 1924. O compositor, teórico musical e professor introduziu Sistemas de Afinação microtonais tanto na teoria quanto na prática. Hába compôs, ao longo de sua vida, peças microtonais com linhas melódicas e acompanhamentos harmônicos para variadas formações instrumentais e vocais, inclusive em ópera. A *The Mother* (“A Mãe”, em Quartos de Tom) é talvez a mais exaustiva implementação de um sistema harmônico dessa Abordagem Composicional que se encontra na

---

<sup>8</sup> Que divide, como todos conhecemos, a Oitava em 12 Semitons Igualmente Temperados. Entretanto, essa não é a única possibilidade de *Temperamento Igual*, que significa, mais genericamente, uma Divisão Geométrica (em intervalos/razões iguais) de um intervalo qualquer. Um bom exemplo de um Temperamento Igual distinto é a Divisão Geométrica da Oitava em 31 notas, descrito no Exemplo 3 do Anexo II.c – informações complementares, entretanto, encontram-se nos Anexos I, II, e, principalmente, em V.2, que descreve em mais detalhes essa divisão em 31 notas.

literatura musical.

Hába também construiu instrumentos microtonais como piano, harmônio, clarinete e trompete. De acordo com Monzo (1999), ele conheceu e teve influência de Möllendorf na adoção de Quartos de Tom, e de Ferruccio Busoni na adoção de Sextos de Tom. Uma outra influência no uso de Quintos de Tom veio de Fokker (vide exemplo 4 no Anexo II.c e Anexo II.d), que advogou um sistema com intervalos muito próximos a Quintos de Tom.

Trabalhando independentemente das primeiras tentativas de outros teóricos e músicos como Stein, Möllendorf e Mager, por possuir ouvido absoluto, Hába interessou-se inicialmente pela microtonalidade ao perceber a ocorrência de inflexões peculiares no canto modal da Moravia, sua terra natal. Tal procedimento o levou a vivenciar um aspecto próprio de Afições Alternativas: intervalos musicais que não se encontram no Temperamento Igual. Na década de 1920, Hába freqüentou os concertos da sociedade privada mantida por Schönberg e estudou seus trabalhos, tornando-se particularmente influenciado pelo estilo atemático de *Erwartung*. Porém, não se interessou pelo atonalismo livre nem pela organização dodecafônica [Monzo, 1999]. Tanto o trabalho de Schönberg quanto o canto popular de sua região são descritos em seu tratado de harmonia [HÁBA 1984].

Hába fundou, na década de 1920, uma escola de Música Microtonal em Praga. Essa vertente, por ele liderada, tem como base o Temperamento Igual, de modo que se derivam microtons a partir de subdivisões iguais do Tom Temperado (como Quartos e Sextos de Tom). Tais microintervalos acabaram se tornando a maior referência do que seria “Microtonalidade” no Século XX, o que se deve, em maior parte, por serem compatíveis com o Temperamento Igual. Dessa maneira, pesquisas paralelas – como a de Harry Partch – acabaram por ser marginalizadas devido à sua incompatibilidade<sup>9</sup>.

Aos poucos, os intervalos Microtonais derivados de subdivisões do Tom são esporadicamente adotados por diversos compositores, que buscaram neles novas possibilidades expressivas, sem, porém, atrelar a esse material o principal foco de sua poética musical. Um exemplo é o “uso decorativo de Quartos de Tom na monodia (*Improvisation sur Mallarmé III, Boulez*)” Como mencionado por Griffiths (1995:139). Atualmente, a execução de Quartos de Tom (e outras divisões como Sextos e Oitavos de Tom), já faz parte da técnica avançada de vários instrumentos de sopro.

Pode-se colocar que, paulatinamente, surge no Século XX essa entidade, compreendida principalmente em subdivisões do Tom Temperado e denominada “microtom”, que ganhou espaço

---

<sup>9</sup> O trabalho de Partch pode ser melhor compreendido por meio dos dos Anexos I, II e, principalmente, IV.

mais por uma questão prática<sup>10</sup> do que psicoacústica<sup>11</sup> (e até mesmo, em alguns casos, do que poética). Por outro lado, encontramos pesquisas microtonais incompatíveis com Temperamento Igual, desenvolvidas exatamente por essa questão psicoacústica.

Esse uso de microtonalidade é problemático por requerer a construção de instrumentos específicos, além de técnicas específicas de execução e uma simbologia particular de notação. Esse é o caso, mais uma vez de Partch (1974), que tem na construção de instrumentos musicais grande parte de sua pesquisa em Afinação. Um caso ainda mais específico provém de Xenakis, que requiriu um Sistema de Afinação Alternativo particular – uma escala desigual de 19 notas (com passos que se aproximam a Terços e Quartos de Tom) – para uma única peça e grupo instrumental. Sua obra *Pléiades* é para sexteto de percussão, mais exatamente, para Metalofones especialmente fabricados. Por motivos dessa ordem, vários sistemas incompatíveis não foram muito explorados, e se restringiram em um âmbito mais teórico e especulativo.

**Tabela 1.1** – Recursos da Abordagem Discreta

<p>- Novas relações tonais/harmônicas:          - Acordes “puros”, no modelo da Afinação Justa e Série Harmônica (Sistemas Incompatíveis), porém com relações até o 11º harmônico em Partch (1974).          - Aordes com Terças e Sextas Neutras (um Quarto de Tom entre uma Terça Maior e Terça Menor/Sexta Maior e Sexta Menor) como um recurso expandido das possibilidades do Temperamento Igual (Sistemas Compatíveis).</p>
<p>- Novas relações modais e melódicas, da mesma maneira que no item anterior.          Novas escalas/modos propiciam um recurso alternativo para gerar melodias.</p>
<p>- Novas progressões harmônicas, tanto em Sistemas Compatíveis quanto Incompatíveis.          Novas possibilidades de modulações que promovem um novo jogo de contrastes.</p>
<p>- Novos gestos. Um maior número de intervalos que possibilita, por exemplo, gestos “micro-cromáticos”, ornamentos e Inflexões ao redor de uma nota, trilos, dentre outros.</p>

A Abordagem Discreta se desdobra em duas categorias: Compatível com o Temperamento Igual, e Incompatível. Sistemas Compatíveis simplesmente aumentam a gama de intervalos, sem a preocupação de aproximações dos intervalos da Série Harmônica (ver conceito de Limite exposto no Anexo I.d), que significa uma preocupação mais prática que acústica. De tal maneira, esses Sistemas de Afinação apenas ampliam alguns recursos expressivos já estabelecidos pelo sistema tonal, é a escola Microtonal “Clássica”, referida, de modo limitado nas palavras de Griffiths, pelo uso dos microtons “por si mesmos” – que tem na obra de Hába sua maior expressão. Já os aqui ditos Sistemas Incompatíveis buscam princípios similares aos Sistemas Compatíveis, mas diferem-se, principalmente, por buscar em escalas modais um princípio de minimização de Dissonância

<sup>10</sup> O próprio Temperamento Igual é mais uma questão prática (igual padronização das 12 tonalidades) do que uma questão Psicoacústica (vide conclusão do parágrafo final no Anexo II.b).

<sup>11</sup> Referência ao conceito de Limite (Anexo I), e Minimização de Dissonância Sensorial – esmiuçado no Capítulo 3. De modo simplificado, diz respeito a aproximação de intervalos da Série Harmônica.

Sensorial (vide Capítulo 3), ou seja, uma preocupação mais acústica que prática. De qualquer maneira, a Abordagem Discreta busca, na adoção de Sistemas de Afinação Alternativos/Microtonais, principalmente, meios para se obter os itens da Tabela 1.1.

### 1.1.1 – Exemplo da obra de Hába

Encontramos no trabalho de Hába, além dos recursos da Tabela 1.1, a influência de Schönberg no desenvolvimento atemático e também na emancipação da dissonância, assim como o canto modal e popular de sua região natal. A título de exemplo, essas influências podem ser encontradas pela análise do trecho “A” do primeiro movimento do Quarteto de Cordas nº 14 em quartos de tom, desenvolvida pelo autor e apresentada logo a seguir. Hába trabalhou com a idéia de *centro tonal* e o adaptou ao seu uso de intervalos microtonais. Também é encontrado, no acompanhamento harmônico, o princípio de emancipação da dissonância de Schönberg, de modo que ele adotou como centro da peça um acorde formado por intervalos com alterações microtonais (Figura. 1.1).

Figura 1.1 – Centro gravitacional formado por um acorde com alterações microtonais.

Figura 1.2 – Material Melódico microtonal desenvolvido atematicamente.

A melodia foi desenvolvida de forma atemática, em passagens com contrapontos, e melodias secundárias (de acompanhamento). Suas peças não são baseadas em desenvolvimento de temas e motivos (o que contraria a tradição Clássica e Romântica), há sim uma variação contínua do material melódico. Podemos constatar essas características na redução do seu Quarteto de Cordas nº 14, trata-se de uma micro análise do trecho “A” do primeiro movimento (Figura 1.3).

### Redução do Quarteto de Cordas N° 14 de Alois Haba

The musical score is organized into three systems:

- System 1 (Measures 1-3):** Includes Violino, Viola, Violoncello, and Contrabaixo. The Violino part is marked with a forte dynamic and includes a melodic line with notes at frets 700, 450, and 950. The Viola part has notes at frets 950. The Violoncello and Contrabaixo parts have notes at frets 0 and 250. Chord symbols  $Dm7$  are indicated below the bass lines.
- System 2 (Measures 4-6):** Includes Violino and Viola. The Violino part has notes at frets 950, 700, and 500. The Viola part has notes at frets 950 and 0. Chord symbols  $D_4^7$  and  $D_4^7 - Dm7 - D_4^7$  are shown below the bass line.
- System 3 (Measures 7-9):** Includes Violino and Viola. The Violino part has notes at frets 950, 1150, and 900. The Viola part has notes at frets 0, 250, and 100. Chord symbols  $D_4^7$  and  $D_4^7$  are shown below the bass line.

Figura 1.3 – Redução do Quarteto XIV de Hába

Os Quartos de Tom acima são representados, neste texto pelo sinal de mais “+”. Na partitura, segue a notação usual, como na Figura 1.1 (para um Quarto de Tom), e, para três Quartos de Tom, o sinal de sustenido com mais uma linha vertical ao meio. A indicação “H”, na partitura, se refere à melodia principal (parte do Violino), que deixa óbvio o pensamento de melodia e

acompanhamento do compositor. As notas no primeiro compasso surgem na seguinte ordem: Sol<sup>5</sup>, Ré<sup>2+</sup>, Dó<sup>4</sup> e Lá<sup>4+</sup>. Essa harmonia é formada por uma sucessão de Quintas deslocadas. Um intervalo de Quinta entre Sol e Dó, e o intervalo de Quinta entre Ré<sup>+</sup> e Lá<sup>+</sup>. As notas na redução são representadas pelo seu valor em cents<sup>12</sup>, pois essa representação absoluta evita nomes de acordes e intervalos subjetivos, uma vez que se trata de um caso microtonal peculiar. Essas quatro notas do primeiro compasso vão predominar em toda a linha melódica do trecho “A”, sendo variadas de diversas maneiras sem o desenvolvimento clássico de motivos e temas. Já no acompanhamento, a predominância será da harmonia formada pelas notas; Ré<sup>2+</sup>, Dó<sup>4</sup>, Lá<sup>4+</sup>. A harmonia gerada pelas quatro notas (sucessão deslocada de Quintas) compreende o centro gravitacional desse trecho, onde variações dessa estrutura formarão contrastes. As notas do acompanhamento permanecerão as mesmas até o compasso cinco, reforçando bem essa harmonia como o núcleo principal.

Temos duas semicolcheias na anacruse para o segundo compasso (Mi<sup>+</sup> e Sol), as quais se direcionam para Lá<sup>+</sup> no tempo forte seguinte. Mi<sup>+</sup> (450 cents) está na idéia de sobreposição de Quintas, porém só aparece essa única vez<sup>13</sup>. Com esse gesto, Hába gera um efeito interessante, possível em música microtonal, de dividir, com o Sol, a Quarta entre Mi<sup>+</sup> e Lá<sup>+</sup> em duas partes iguais, em intervalos de 250 cents. No compasso cinco, Ré<sup>+</sup> e Lá<sup>+</sup> são abaixados um Quarto de Tom no tempo de uma colcheia, e temos uma harmonia de *Ré Menor com Sétima Menor*: Fá na linha melódica, e Ré, Dó, e Lá no acompanhamento em *pizzicato*. Logo em seguida, no segundo tempo, o centro gravitacional é restaurado (Ré e Lá elevados um Quarto de Tom), e a melodia volta a fluir nas quatro notas iniciais. No primeiro tempo do compasso seis, temos novamente o contraste do acompanhamento em Ré, Dó e Lá, que, agora sim, gera uma harmonia de sobreposição de Quintas (Dó, Sol, Ré, e Lá). A cifra do acorde de *Ré com Sétima e Quarta* não é funcional, e sim apenas uma abreviação. Novamente o centro em Ré<sup>+</sup>, Dó e Lá<sup>+</sup> é restaurado no terceiro tempo do compasso. É interessante que, mesmo sendo acordes consonantes em música tradicional, harmonias como a de *Ré Menor com Sétima* soam como um contraste, e os acordes com alterações microtonais como repouso.

No compasso sete, a bordadura na linha melódica de Sol-Fá-Sol, forma a progressão de acordes *Ré com Sétima e Quarta*, *Ré Menor com Sétima* e *Ré com Sétima e Quarta*. Porém, ainda não se trata de acordes com funções tonais, e sim de um recurso que Hába encontrou para gerar

---

<sup>12</sup> Centésimos do Semitom Temperado, mais informações em Anexo I. Há 1.200 cents em uma Oitava, e um Semitom Iguamente Temperado possui 100 cents.

<sup>13</sup> Por isso, a nota é envolta de um quadrado, como as outras que também não pertencem ao conjunto principal de notas (Sol<sup>5</sup>, Ré<sup>2+</sup>, Dó<sup>4</sup> e Lá<sup>4+</sup>).

contrastes e variação harmônica com seu material melódico, dando uma mobilidade interessante em torno do centro da peça.

No compasso oito, a melodia repousa em Ré+, e, no nível de acompanhamento, temos um movimento harmônico denso, primeiro com as notas Fá, Ré+ e Dó (recorrência da variação da harmonia central), e depois, no terceiro tempo, com dois acordes em colcheias que possuem tanto uma Sexta Maior quanto uma Sexta Menor, que pode ser pensado como uma inversão dos acordes de Terça Maior e Menor (Si+ e Lá), comumente usados em música atonal, demonstrando a influência harmônica moderna na linguagem de Hába proveniente de Schönberg. Porém, aqui eles se sucedem em um intervalo microtonal de 250 cents. O acorde com Dó, Dó# e Lá, na segunda colcheia do terceiro tempo, ainda forma uma tensão maior com o Ré+ da linha melódica, mas esta tensão se resolve no quarto tempo ao repousar novamente no centro do trecho.

Seguindo ao nono compasso, temos ainda um movimento harmônico rápido, contrastando o centro do trecho novamente com a variação um Quarto de Tom entre as notas Ré e Lá do acompanhamento, que forma a mesma harmonia de sucessão de Quintas representada por *Ré com Sétima e Quarta*, a melodia se mostra um pouco mais deslocada ritmicamente do acompanhamento, e repousa em Ré no décimo compasso (último do trecho A), onde temos uma recorrência do movimento harmônico dos acordes de Terça Maior e Menor do compasso oito, que resolve da mesma maneira a tensão no centro do trecho, concluindo, assim, essa seção.

### **1.1.2 – Ivan Wyschnegradsky**

Ivan Alexandrovich Wyschnegradsky nasceu em 1893 em São Petesburgo, e morreu em 1979 em Paris, para onde sua família se mudara em 1920. Wyschnegradsky, em suas primeiras composições, percebeu que o Sistema Temperado limitava muito as possibilidades de exploração do espaço tonal. Porém, como o contínuo de frequências era algo inatingível para ele, Ivan optou pelo uso de Quartos de Tom, que era compatível com o sistema tradicional, e ao mesmo tempo lhe proporcionaria um espaço tonal mais refinado. Suas primeiras peças em Quartos de Tom são adaptações de peças suas já escritas. Até se mudar para Paris em 1920, Wyschnegradsky já havia desenvolvido um sistema de notação em Doze Avos de Tom, e possuía um projeto de construir um piano em Quartos de Tom. Para isso ele viaja para Alemanha em 1922, onde se encontra com Stein, Möllendorf, Mager e Hába, junto com o qual acaba desenvolvendo, em 1928, seu piano em Quartos de Tom (vide Figura 1.1).

Wyschnegradsky desenvolveu seu conceito de “*Pan Sonoridade*” [WYSCHNEGRADSKY 1985], que compreende uma palheta extensa, com inúmeras possibilidades tonais, porém continuou trabalhando com Quartos de Tom por motivos práticos. Em 1978, um ano antes de sua morte, ele

recebe a encomenda da *Radio-France* para compor um trio de cordas, seu Opus 53, para Violino, Viola e Violoncelo, deixada levemente inacabada. Essa peça, apesar de ser escrita relativamente há pouco tempo, no fim da carreira do compositor, e em Quartos de Tom, retêm muitos traços e gestos da música do início do Século XX, como um misto de Schostakovich e segunda escola de Viena. É possível perceber os intervalos microtonais, mas eles apenas acrescem um novo plano à linguagem da peça, que ainda se baseia em motivos e desenvolvimentos de forma tradicional para a época.

Wyschnegradsky faz uso de ornamentos em Quartos de Tom, como nas apojeturas dos primeiros compassos, que é um exemplo do efeito de “ultracromatismo” (termo que ele descreve em seus tratados teóricos), e implica a idéia do uso de Quartos de Tom como uma expansão do sistema de 12 notas. O motivo principal, que será desenvolvido por toda a peça, é a recorrência de certos intervalos com alterações microtonais, que são apresentados, em sua forma mais simples, no quinto compasso na parte do Violino (vide Figura 1.4). O motivo segue saltos intervalares ascendentes de 1.250 cents, 1.250 cents novamente, e 600 cents e 1.250 cents descendentes, que repousa em Si+ (650 cents acima da primeira nota Fá). Temos então a idéia de um intervalo de Oitava mais uma Nona Menor (2.500 cents) dividido igualmente em 1.250 cents. Similarmente, 1.250 é dividido quase igualmente em intervalos de 600 e 650 cents. Wyschnegradsky encontrou nas alterações em Quartos de Tom uma possibilidade de dividir e compor intervalos musicais para criar seus motivos, cujas relações matemáticas são transpostas de diversas maneiras no desenvolvimento da peça.

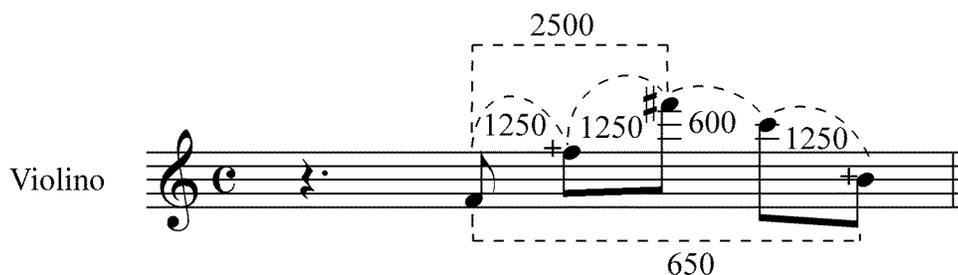


Figura 1.4 – Motivo de Opus 53 (+ = ¼ Tom acima).

Wyschnegradsky elaborou um jogo com estes intervalos ao intercalar, transpor, variar o ritmo e instrumentos, usando também recursos de imitação entre as linhas do trio. Essa peça exige muita técnica também na parte rítmica, contendo mudanças de fórmula de compasso, e também diversas quiálteras independentes para cada instrumento como 5:4, 7:4, e 3:2. Todavia, o efeito não é tão complexo como ocorre, por exemplo, na música de Xenakis (brevemente mencionada em 1.2.1).

## 1.2 Abordagem Contínua

“...it doesn't surprise me that traditional music has experienced a kind of exhaustion in the 20th century - not forgetting that many musicians started to look outside the traditional structures of tonality.”

- Pierre Schaeffer (1910 – 1995), entrevista com Tim Hodgkinson.

Com Alois Hába e Wyschnegradsky, temos uma música moderna ainda muito ligada a recursos e idéias composicionais tradicionais. O uso de intervalos microtonais age na expansão desses conceitos e recursos. Portanto, o uso de intervalos microtonais, apesar de importante, não é imprescindível para que a linguagem e o discurso musical desses compositores funcionem coerentemente. O que mudou desde então? Alguma pesquisa em Microtonalidade/Afinação Alternativa apresentou uma inovação?

A questão é que a música do século XX caracterizou-se por pesquisas em diversas direções e, de certo modo, buscou-se estudar todas as áreas possíveis e passíveis de algum desenvolvimento. Em relação aos microtons isso não foi diferente. Pôde-se, assim, buscar na adoção de tal material recursos expressivos diversos, pois as subdivisões do Tom Temperado (dada sua prática compatibilidade) já haviam encontrado seu lugar na técnica estendida de diversos instrumentos.

Em outra instância, uma grande inovação na música do Século XX é decorrente do uso da mediação tecnológica. A música eletrônica e eletroacústica fomentaram o uso de novas sonoridades e texturas – a princípio, como resultado da técnica de síntese e manipulação de gravações em fita magnética, e, mais tarde, com a possibilidade de manipulação sonora com o auxílio de computadores.

Na música do século XX, o trabalho textural e timbrístico, como parâmetro musical, chegou a conquistar destaque sobre outros mais tradicionais como altura, harmonia e ritmo. Os recursos tecnológicos contribuíram para isso e o universo musical se expandiu. Nesse contexto, a adoção de microtons na Música do Século XX serve também a uma sistematização “livre”, que transcende o paradigma do Compatível e Incompatível com o Temperamento Igual, e que denominamos de Abordagem Contínua. Os recursos pertinentes a esse processo são aplicados na produção de texturas, timbres e efeitos. Tais procedimentos fazem parte de um conjunto de recursos não apenas definidos como microintervalos em uma sistematização de alturas, mas sim em uma série de procedimentos gestuais e texturais e outros materiais como: *multifônicos*, *vibratos amplos e glissandos*, *geração de Batimentos e Rugosidade* (i.e. Dissonância Sensorial

– vide Capítulo 2), *construções de acordes, texturas, clusters, desenvolvimento de ruidismo*, entre outros.

Há também uma ampla aplicação na Música Eletrônica, em que ambientes como *puredata*, *MaxMsp*, *Csound* podem ser ferramentas para manipulação de diversos parâmetros sonoros e se obter tais resultados. Particularmente, nesta dissertação, faz-se um desenvolvimento computacional em que um modelo de Dissonância Sensorial é utilizado para implementar um ambiente que opera sobre Afinações Alternativas.

Esse novo pensamento em relação à manipulação de parâmetros sonoros (que, por exemplo, não foca com a mesma importância a sistematização de alturas) encontrou nos microtons, ou ainda em uma subdivisão do espaço de alturas, um recurso de refinamento textural. Também influenciada por novos recursos tecnológicos, como análise espectral, a Música Espectral buscou, na adoção de microintervalos, uma aproximação do contínuo de frequências para gerar tanto relações inarmônicas quanto harmônicas, e fundir conceitos de harmonia e timbre, independentes de um Sistema de Afinação fixo. Esta visão é uma ramificação do pensamento textural da música do século XX, que desponta, por exemplo, com compositores como Giacinto Scelsi (1905-1988).

Além dos precursores dessa vertente, encontramos diversos de uso microtonal que difere da concepção de uma Abordagem contínua. A seguir, o próximo subitem discorre sobre alguns exemplos de Abordagens Contínuas em compositores da segunda metade do Século XX, e precursores dessa vertente que desponta na Música Espectral, tema do subitem seguinte (1.2.2) que traz o exemplo de *Partiels* de Grisey.

### **1.2.1 – Precursores e Outros exemplos**

Scelsi (1905-1988) é conhecido pela excentricidade e peculiaridade de sua música, e até chegou a receber o apelido de *Charles Ives Italiano*. Ele trabalhou muito com intervalos microtonais em sua poética composicional. Na peça *Elegya Per Ty* (1958-1966), para Viola e Violoncelo, por exemplo, Scelsi adota intervalos microtonais para gerar Batimentos e Rugosidade, traço comum ao longo de sua obra, e um discurso muito distinto dos procedimentos tradicionais, relacionados aqui com a Abordagem Discreta. “Ty” era o apelido da esposa de Scelsi, que partiu na década de 40 e nunca mais retornou.

O primeiro movimento gira em torno da nota Fá, e, além de Batimentos e Rugosidade por intervalos de Quarto de Tom, outros recursos como vibratos amplos, posição do arco, trêmulos e harmônicos são usados para gerar contrastes que modificam o timbre, e elaboram um discurso ao redor de um *centro* em Fá. Outra peculiaridade é que as cordas foram notadas em pentagramas diferentes. Isso é um reflexo do Processo de composição de Scelsi, que criava suas obras em

improvisos e execuções gravadas, para apenas depois resolver sua forma de notação. *Elegya per Ty* data de 1958, mas sua formatação em partitura, entretanto, data de 1966.

O polonês Krzysztof Penderecki (1933-) foi uma figura importante de vanguarda no início da segunda metade do Século XX, mas abandonou esses esforços em nome de uma estética mais conservadora, e retorna ao sistema tonal eventualmente utilizando alguns elementos atonais. Diferente do que explorar um avançado e novo padrão técnico com notação microtonal precisa, Penderecki buscou efeitos sonoros como clusters em *Quartos de Tom*, ou seja, um conveniente recurso para gerar sonoridades inusitadas.

Em 1960, Penderecki compôs *Tren ofiarom Hiroszimy* (Trenodia às Vitimas de Hiroshima) para cinquenta e dois instrumentos de corda, provavelmente a obra mais conhecida do compositor. Em um nível estrutural, longe de ser um caso suficientemente robusto dessas técnicas, a composição conta também com um uso expressivo de serialismo integral, como um “cânone invisível” em 36 vozes, que servem a uma textura musical resultante, mais importante que as notas individuais.

Em grande parte simbólica, a notação da peça direciona os músicos a tocarem em pontos vagos do registro, ou a concentrar em certos efeitos texturais, de modo que cada instrumentista da orquestra aja ligeiramente de forma independente. Esses efeitos ganham força com notação microtonal, porém, mais que procurar um refinamento exato em microintervalos, Penderecki abre margem a uma proeminência de texturas dissonantes que é maior do que seria em um cromatismo tradicional.

Iannis Xenakis (1922-2001), de maneira similar, adotou ao longo de sua carreira o uso de microtons para fins também texturais, mas agora sim como suplemento de maior precisão aproximativa. Esse uso por Xenakis não impedia uma manifestação de caráter escalar, mesmo assim, se tratava de uma abordagem distinta da escola de Hába. A riqueza de detalhes e refinamento na obra de Xenakis também é aparente no trato rítmico, em que instrumentistas chegam a tocar diferentes quiálteras simultaneamente. Apesar dessa complexidade, a notação é sempre em quatro por quatro, por mais que as quiálteras atravessem as barras de compasso. Isso, apesar de esconder a grandiosidade estrutural por trás (ligada a cálculos probabilísticos), facilita a leitura e denota também que a relação com a notação microtonal seja análoga. Tal exemplo pode ser encontrado no trio *Ikhoor* (1978), dentre outras peças. Porém, em *Nomos Alpha* (1966), para Violoncelo solo, Xenakis lembra Scelsi quando cria variações sutis em Batimentos. Na partitura, inclusive, Xenakis indica ao intérprete que execute padrões de Batimentos específicos, que mudam rapidamente, entre duas cordas.

Desde em torno de 1980, generalizando, podemos dizer que o uso de microtons caiu em uso

comum de maneiras distintas, que fogem da Abordagem Discreta. Seguindo um pouco o exemplo de Xenakis, pelo pendor a um material complexo, na tão chamada Nova Complexidade (a música de Ferneyhough, seus seguidores e colegas), o uso de microtons é bem vindo como um meio de elevar a complexidade no domínio da Altura, assim como esses compositores levam, principalmente, a complexidade dos ritmos a níveis extremos. Em alguns casos, o recurso microtonal não soa “especialmente microtonal”, e acaba fazendo parte de uma confluência instável entre o gestual e o textural, dentre tantos outros parâmetros como diferentes gradações de fluxo de ar na Flauta em *Unity Capsule* (1975-1976) do compositor Brian Ferneyhough (1943-), que retrata como diversos recursos servem para manipulação sonora e textural, além de microtons. Nesse caso, portanto, tampouco a adoção de material microtonal pode ser atribuída a um fim próprio da Abordagem Discreta, e sim a um fim de Abordagem Contínua.

Um interessante recurso textural se encontra na peça *A Carlo Scarpa Architetto, Ai Suoi Infiniti Possibili per Orchestra a Microintervalli* (1984) de Luigi Nono (1924-1990). Entretanto, em vez de clusters e alta complexidade de gestos, a composição de Nono possui uma relativa leveza, regrada a sutis momentos de silêncio e repouso. De grande liberdade formal, a peça trabalha ciclos de suspensões e de pausas. A variação textural se dá em uma mudança de cor e timbre pela variação microtonal de notas sustentadas em um bloco harmônico. A variação de dinâmica segue a lógica de gradação subdividida, e vai de *fff* a um “pianíssissíssimo” de sete “pês”. O resultado chega a remeter à música espectral, uma vez que um resultado textural geral depende da variação de seus constituintes. Entretanto, não se pode deixar de mencionar, novamente, o nome de Scelsi, principalmente pelo material harmônico consistir em pouquíssimas notas, que variam em microintervalos de 1/4, 1/8 e 1/16 de Tom. Os microtons servem a um fim de “desafinar” que, como consequência, interfere no timbre, e está como um dentre outros recursos de técnica estendida, como *fluttering*, sem comentar outros efeitos sonoros e uso de pizzicatos e percussão.

### **1.2.2 Partiels de Grisey**

A pesquisa, que leva esse trabalho de desenvolvimento textural adiante, é encontrada na poética da música espectral, que funde os conceitos de harmonia e timbre. De maneira sucinta, como o timbre é formado por relações harmônicas e inarmônicas, é possível usar microintervalos para realçar pontos desejados neste contínuo de frequências e gerar aglomerados sonoros ricos/dinâmicos, harmônicos ou inarmônicos. A corrente espectralista na França foi liderada por Tristan Murail (1947-) e Gérard Grisey (1946-1988), compositores que trabalharam juntos no IRCAM (*Institut de Recherche et Coordination Acoustique/Musique*), um importante centro de pesquisa na área de música e tecnologia, acústica e psicoacústica,

elementos fundamentais na pesquisa da Música Espectral. Essa abordagem difere do uso de microtons em sistemas fixos. Para sintetizar essas idéias, tomamos a seguir como exemplo a obra *Partiels* (1975) de Gérard Grisey, considerada por nós como uma das mais importantes e representativas dessa Escola.

O título dessa obra, para dezoito instrumentistas, refere-se aos parciais dos sons, que definem, resumidamente, o timbre, ou seja, formam o conteúdo do espectro sonoro de um instrumento musical. No caso de *Partiels*, o material foi derivado da análise do espectro da nota **Mi grave** de um Trombone. Portanto, foi clara a intenção do compositor de trabalhar todos os instrumentos para formar um único timbre, ao combinar os diversos coloridos do grupo orquestral como parciais de um único som. Segundo o texto e análise de Thierry Alla<sup>14</sup>, Grisey indica que:

“A forma dessa peça é a mesma história dos sons que a compõem. Os parâmetros do som são dirigidos e orientados para criar inúmeros processos de modulação, processos decorrentes de descobertas acústicas: espectros harmônicos, espectros de parciais, transientes, formantes, sons adicionais, sons diferenciais, ruídos brancos, filtragens, etc. Por outro lado, a análise dos sonogramas dos instrumentos, e de suas surdinas, permitiram-me reconstituir sistematicamente seus timbres, ou, ao contrário, distorcê-los”

Alla segue informando que:

“A análise espectral foi muito importante para a elaboração de *Partiels*. O compositor continua a análise da forma como uma sucessão de tensões e distensões. A música é concebida segundo um conjunto de processos. Através desta nota, Grisey fornece-nos a chave de seus métodos de composição.”

O recurso da notação microtonal, em *Partiels*, serve para aproximar e gerar notas que devem se comportar como componentes espectrais, não estando, assim, ligadas a um conceito de Sistema de Afinação fixo. A altura da nota é calculada na escala temperada de acordo com o valor da frequência do parcial. Depois, pelo uso de microtons, o compositor aproxima o valor dessa nota por variações derivadas de subdivisões temperadas do Tom, cuja resolução vai até um Oitavo de Tom.

Na Figura 1.5, por exemplo, a nota Ré, uma Sétima Menor em relação ao Mi fundamental, é abaixada um Sexto de Tom na Viola, de modo que esse intervalo se aproxima, em torno de 2 cents, ao intervalo justo de Sétima Menor [7:4]. Esse intervalo de Sétima Menor Justa [7:4] é uma relação encontrada na Série Harmônica, ou seja, diz respeito aos componentes espectrais de um som harmônico, caso das notas musicais de um Trombone (vide seção 2.1 *Série Harmônica*). O primeiro trecho da obra começa com o Contrabaixo na nota Mi, a fundamental do espectro analisado, e, aos poucos, outros instrumentos compõem uma textura sobre essa fundamental, como se fossem seus parciais, resultando em um único timbre/textura. Essa idéia é repetida até que a

---

<sup>14</sup> Disponível em <<http://webetab.ac-bordeaux.fr/Pedagogie/Musique/grisey.html>>.

massa sonora fique mais complexa e saturada, com parciais harmônicos e inarmônicos, estáticos e dinâmicos.

"1° trecho - Pág. 2"

(♭ = - 1/6 de tom)

Figura 1.5 – Aproximação microtonal usada em *Partiels*.

Grisey também adota recursos com uma espécie de vibrato bastante irregular, deixando-o excessivamente dinâmico e instável, também em sua intensidade. Esse efeito, somado aos acordes/timbres, se propaga pelos sopros a partir do sexto compasso. A cada repetição, o espectro é alterado e se torna mais e mais inarmônico, a culminar em um som distorcido, ponto de partida da seção seguinte. O compositor adotou recursos texturais que têm nos Microtons apenas uma dentre outras possibilidades de interferência e manipulação espectral. Grisey também transparece outras técnicas como o serialismo e escrita contrapontística a quatro vozes (ver Figura 1.6). Porém, quanto ao trabalho textural, é evidente a já mencionada influência de música eletroacústica, como nas variações de velocidades da terceira seção, apontado por *Alla* e descritas na Tabela 1.2.

HAUPTSTIMME

Violon 2

NEBENSTIMME

Alto 1

Figura 1.6 – Tecido Contrapontístico.

**Tabela I.2 – Variações da Terceira Seção**

---

---

1ª fase (compasso 23) :	Cordas solo, acelerando/ralentando
2ª fase (compasso 24) :	Flautas 1 e 2, acelerando/ralentando
3ª fase (compasso 25) :	Clarinetes 1 e 2, ralentando/acelerando
4ª fase (compasso 26) :	Corne Inglêss, acelerando/ralentando
5ª fase (compasso 27) :	Trompas 1 e 2, ralentando/acelerando

---

---

### 1.3 Música Microtonal: Considerações Finais

"To predict and influence the future, even more than to be modern, a sense of timing is important. ... It is not merely tone that makes music, but timing (das Zeitmass) as well; and it is typical of dilettantes of all fields and tendencies that they are devoid of all feeling for at least one or the other — tone or timing."

— Arnold Schönberg (1874 - 1951), *Theory of Harmony* (1921) [pp. 425].

Microtonalidade não é um gênero, ou técnica, ou estilo. Esse termo possui muitas implicações, formas de expressão, e técnicas – tal qual a Música Tonal. Para entendermos princípios microtonais, devemos distinguir as diversas perspectivas que a microtonalidade pode comportar. No século XX, novos elementos foram trabalhados em composição musical. Ao lermos qualquer livro sobre a Música do Século XX, é evidente que as pesquisas em Afinações Alternativas não carregam a mesma importância de outras técnicas e estéticas, como o Serialismo Integral. A questão, porém, é que a tradição harmônica e melódica, que gerou nosso Sistema Temperado atual, já está distante de muitas linguagens praticadas no século XX ou na Música Contemporânea, mesmo das que não têm ligação com as pesquisas microtonais (como a música aleatória de John Cage e música concreta de Pierre Schaeffer). Dessa maneira, a questão sobre Sistemas de Afinação Alternativos esbarra mais em uma questão técnica e prática, pois o padrão do Temperamento Igual se mantém devido a uma grande conveniência. Entretanto, a tecnologia, hoje acessível, pode ser utilizada como uma prática ferramenta de manipulação de intervalos musicais em música eletrônica/eletroacústica.

Há muitas ferramentas computacionais que manipulam afinação, mas isso não significa que se usufrui igualmente de tantos recursos. Um exemplo é o software *Scala* (disponível em <http://www.xs4all.nl/~huygensf/scala/>), que possui um incrível conjunto de implementações teóricas de afinação. Inclusive, em nossa pesquisa de mestrado, buscou-se elaborar uma ferramenta

que explorasse recursos tecnológicos atuais, objetivo realizado na construção de um ambiente computacional a partir dos estudos apresentados no Capítulo 2.

Fato é que a crítica sobre a impraticidade de Sistemas Microtonais esconde uma maior questão. O espírito humano não economiza esforços para vencer certos obstáculos. Em particular, o mundo musical possui diversos exemplos dessa magnitude. A discussão sobre praticidade é, na verdade, um sintoma que esse tipo de esforço não encontrou grande pertinência em objetivos particulares, tidos como essenciais.

Pode-se concluir que seria apenas uma questão de tempo. Não de tempo no sentido de uma linha evolutiva, e seus devidos julgamentos de valor, mas talvez de um simples momento, de “hora certa”, ou ainda “hora oportuna”. Nos encontramos atualmente em um estágio claramente incipiente, cujas possibilidades de crescimento contemplam diversas direções, que dependem somente de interesses futuros, os quais apenas o tempo poderá revelar. Certamente, essa premissa se aplica a qualquer faceta da Música Contemporânea, e o compositor, para interferir nesse percurso, deve estar ciente de seu lugar no tempo e espaço ou, por caprichos do destino, não.

Muitas pesquisas foram feitas sobre a música do século XX em Sistemas Alternativos como: Quartos de Tom, Sextos de Tom, escalas étnicas, intervalos distantes na Série Harmônica, entre outras [McLAREN 1998], e tais materiais foram usados de diversas maneiras no decorrer do século XX [WOLF 2003]. Apesar de algumas exceções, como Alois Hába (1984) e Ivan Wyschnegradsky (1927), compositores e teóricos têm trabalhado independentemente. Como resultado desse cenário, temos muita teoria produzida, que foi pouco explorada, e variado uso esporádico de microtons sem produzir teoria. Tanto Hába quanto Wyschnegradsky, porém, desenvolvem um estudo sistematizado a partir de uma tradição musical consolidada, como uma expansão de recursos, e ainda definem a escola microtonal “clássica”.

Apesar das diversas pesquisas em Microtonalidade/Afinações Alternativas, vimos que essas não figuram com grande importância em livros da Música do Século XX, tampouco pertencem a uma grade curricular básica do ensino musical. O material microtonal não é totalmente ignorado, e chega a fazer parte do treinamento profissional, como técnica estendida, de muitos instrumentistas de grande nível de excelência. Quanto ao estudo de composição, não há um ensino consolidado a partir de técnicas e recursos microtonais, baseados, por exemplo, em estudos apresentados nesta dissertação. O mesmo diz respeito ao ensino de outras disciplinas musicais nas quais o estudo de Afinação seria extremamente pertinente, como a Harmonia e Contraponto. Essas ainda se baseiam em um conteúdo mais tradicional. O material, portanto, encontra-se aí, disponível, como uma possibilidade extra, uma área de pesquisa incipiente, como tantas outras áreas de pesquisa em

música. Ou seja, um recurso extracurricular que não encontrou seu tempo em uma aplicação extensiva e consolidada no mundo da prática musical.

Ampliando o horizonte, surgem, no Século XX, pesquisas que se voltam à percepção sonora (assim como, num outro extremo, a conceitos musicais puramente abstratos). Em algumas ramificações, o som passa a ser encarado pelos seus atributos perceptivos, e não apenas por teorias da música tradicional, ou seja, o som “por si mesmo”. Nasce o conceito de Sonologia (estudo do som), que se reflete, hoje, na Arte Sonora. Se a música, de um ponto de vista tradicional, não sofreu nenhuma “atualização” com as pesquisas em Microtonalidade, a Sonologia encontra, no espaço sonoro, um referencial da psicoacústica que busca entender os atributos físicos e psicofísicos do som. Dentro desse grande escopo, tendo o som como um conjunto de atributos ainda a serem mapeados, a pesquisa em Microtonalidade – tal qual apresentado nesta dissertação de mestrado nos princípios da percepção de afinação – encontra grande pertinência.

Se por um lado esse estudo ainda não encontrou um devido espaço no ensino da Música de caráter prático e artístico, ele pode ser encontrado refugiado em um espaço técnico e teórico. Uma consequência dessa realidade é que o ambiente mais propício para esse estudo dialogar com uma prática musical é o campo da Música Eletroacústica, que é o *métier* que mais inclui disciplinas próprias da Sonologia, como a Psicoacústica. Mesmo assim, estamos ainda mais longe de poder afirmar que há uma tradição de estéticas e técnicas de composição em Afinações Alternativas na música Eletrônica/Eletoacústica. Não obstante, um centro como o IRCAM (*Institut de Recherche et Coordination Acoustique/Musique*), que não é um conservatório de música ou instituto de musicologia tradicional, é conhecido por pesquisas na área de acústica e psicoacústica, e foi importante para o desenvolvimento da microtonalidade no fomento ao desenvolvimento da Música Espectral, aqui retratado no exemplo do trabalho de Grisey. A pesquisa no IRCAM, entretanto, também é aplicada em áreas mais técnicas como acústica de salas de concerto, e até mesmo acústica de interior de automóveis, ou seja, aplicações bem estranhas a um conservatório de música tradicional.

O quadro complicado da música do Século XX exprime diversos fatores que agem entre si de várias formas, gerando muitos resultados independentes. Novas técnicas composicionais são elaboradas independentemente de material (serialismo). Novas tecnologias promovem uma revolução de material (música concreta/eletoacústica). Novos conceitos sobre o pensar musical. E um novo material a partir de instrumentos já existentes (microtons, técnicas estendidas).

Nesse panorama, os Microtons se encontram como um dentre tantos outros personagens de um enredo complexo. Adotados, a princípio, como elementos de expansão de uma tradição musical, os microtons passam a ser incluídos em abordagens e pesquisas musicais que fogem de uma

tradição musical consolidada, principalmente no que concerne a uma pesquisa em música textural, que explora o espaço tonal de maneira livre. Ironicamente, uma abordagem textural não necessariamente requer a adoção de Microintervalos. Em um passo ainda adiante, a música eletrônica constrói texturas a partir de sons/ruídos até então não tradicionalmente “musicais”, onde o conceito de afinação deixa de ser pertinente. Já em música instrumental, notações como vibratos extremamente largos, glissandos lentos, gestos diversos e efeitos sonoros já promovem um resultado textural que rompe com os parâmetros melódicos/harmônicos tradicionais (exemplo da peça *Lux Aeterna* de Ligeti).

Não obstante, para esses fins, a aplicação de Microtons começa a aparecer como um refinamento de construção textural, como nas obras de Penderecki e Xenakis. Essa abordagem reflete um novo pensamento que está fora de contextos tonais ou Sistemas de Afinação fixos, assim como da questão de aproximação de limites (vide conceito de Limite no Anexo I.d). Dessa maneira, a utilização de Quartos de Tom são incorporados como um recurso conveniente e prático. Os Microtons, portanto, fazem parte de um conjunto de materiais como recursos estendidos de exploração sonora, que não servem apenas para um fim melódico/harmônico em uma estrutura musical tradicional, e ainda esperam seu tempo para uma função mais específica, que definiria enfim o que seria a “Música Microtonal”.

Esta pesquisa não visou produzir uma releitura de todas as teorias e práticas Microtonais desenvolvidas no século XX. Ou seja, mapear o uso de Microtons por todos os compositores e considerar sua relevância para cada possível finalidade. Contudo, a partir de um interesse em recursos fornecidos por Afinações Alternativas, nos debruçamos em princípios psicofísicos relacionados à Afinação em geral.

Os dois modelos aqui apresentados, denominados Abordagem Discreta e Contínua, são a motivação e alvo de inspiração para pesquisa de mestrado. Tomando essas duas abordagens composicionais como ponto de partida, a pesquisa, aqui reportada, buscou um caminho que construísse uma escritura e um modelo computacional para explorar suas possibilidades. Como meio de interação e possível gerador de material, voltou-se, então, para o estudo da Psicoacústica. Partindo desse estudo, o modelo de Dissonância Sensorial mostrou-se como um caminho para o autor gerar as sonoridades desejadas e realizar a sua visão poética, assim como elemento teórico, que traz elementos para Análise de Sistemas de Afinação. O maior resultado dessa pesquisa está na criação de um software baseado em um modelo de Rugosidade, descrito no próximo Capítulo. Dessa forma, no Capítulo 2, faz-se um interregno na questão composicional propriamente dita e apresenta-se o modelo computacional implementado, base das análises do Capítulo 3. No Quarto Capítulo e Conclusão, tais elementos são vinculados aos processos criativos estudados.

## CAPÍTULO 2:

### Percepção de Rugosidade, Altura e Discriminação de Alturas

---

Q: Is any musical element still susceptible to radical exploitation and development?

A: "Yes: pitch. I even risk a prediction that pitch will comprise the main difference between the 'music of the future' and our music"

— Igor Stravinsky (1882 - 1971), *Memories and Commentaries* (1970) [p. 115]

Este capítulo discute estudos sobre Percepção e Psicoacústica relacionadas a fundamentos de Sistemas de Afinação. Esses estudos servem tanto de teoria sobre afinação, como também de embasamento para o sistema composicional. Abordamos esses temas para elucidar princípios de construção e desenvolvimento dos Sistemas de Afinação, buscando esclarecer, mais especificamente, os princípios perceptivos (apresentados na Tabela 2.1) que um Sistema de Afinação depende.

**Tabela 2.1** – Princípios Perceptivos da Afinação

<b>A)</b>	<b>Como ocorre a sensação de altura</b>
<b>B)</b>	<b>Como discriminamos diferentes alturas em uma escala musical</b>
<b>C)</b>	<b>Como relacionamos alturas de uma escala por meio de mecanismos perceptivos vinculados à consonância/dissonância</b>

Os itens A, B e C da Tabela 2.1 são abordados neste Capítulo, e se relacionam, segundo o trabalho de Schubert e Parncutt (2006), aos três seguintes conceitos:

I – Elementos da Dissonância Sensorial: Batimentos e Rugosidade (relacionados a C).

II – *Virtual Pitch* (relacionado a A e C);

III – *Just Noticeable Difference* e Percepção Categórica (relacionado a B);

Esses princípios, e ainda outros complementares, serão apresentados e discutidos a partir do trabalho de pesquisadores como Terhardt (1974), Huron (2001), Sethares (2005) e Schubert e Parncutt (2006). A Dissonância Sensorial será revista nos próximos Capítulos, uma vez que, a partir do modelo descrito na subseção 2.2.1.1, desenvolvemos um sistema computacional para análise e criação sonora, que é uma peça chave da pesquisa aqui reportada.

Na primeira seção apresentamos o conceito de Série Harmônica e, a seguir, introduzimos os princípios psicofísicos da Afinação. A percepção de Rugosidade (abordada na seção 2.2.1) está relacionada com o alinhamento de parciais (o que ocorre em intervalos correspondentes à Série Harmônica para tons musicais). Já em 2.2.2 *Percepção de Altura e Tons Musicais*, discute-se como um tom musical evoca uma sensação nítida de altura, e como esse fator influencia e interage com a Rugosidade, ou o que será aqui chamado Dissonância Sensorial. A última seção deste Capítulo (2.2.3 *Percepção de Intervalos Musicais*) vale-se do que foi apresentado, anteriormente, para tratar da maneira como discriminamos alturas e percebemos intervalos musicais. Complementos desse referencial teórico, uma teoria básica e essencial de Afinação, se encontram nos Anexos I e II.

## 2.1 Série Harmônica

Podemos localizar, historicamente, a relação entre Série Harmônica e Sistemas de Afinação na Grécia Antiga. Esse modelo é presente desde a Escola de Pitágoras (no século VI a.C.), que foi a primeira a apontar para a relação entre proporções de números inteiros pequenos e intervalos musicais consonantes. A Série Harmônica é um modelo numérico que corresponde aos componentes físicos (componentes espectrais) de um tom musical e, como veremos nesse Capítulo, possui grande relevância perceptiva, como no conceito de *Virtual Pitch*.

A Série Harmônica pode ser definida como uma simples seqüência numérica. Esse modelo é tido como correspondente aos componentes espectrais de um tom musical, que, por isso, são denominados de harmônicos. O termo “harmônico” é uma derivação do grego **αρμονία** (harmonia), que significa “junção”, “unidade”, “acordo”, e foi empregado pela tradição Pitagórica para tratar da noção de consonância de um intervalo musical<sup>15</sup>. Consonância (do latim *consonare* – soar junto) é um vocábulo que ainda promove um forte debate musicológico, que tenta explicar os elementos que constituem e explicam esse fenômeno perceptivo. Nesta dissertação, apresentamos um modelo para representar tal fenômeno sob um enfoque psicoacústico.

Arquitas de Tarento (428 a.C. – 350 a.C.) relatou que o ouvido humano percebe apenas um som diante de um intervalo harmônico como a Oitava ou a Quinta [FALLAS 1992:273], ou seja,

---

<sup>15</sup> Um uso comum do termo “Harmônico” é a de “Parcial Harmônico”, como exposto no Glossário.

apesar de dois sons com alturas distintas soarem simultaneamente, a percepção da interação entre essas alturas promove uma consonância, ou ainda uma Fusão Tonal (discutida na seção 2.2.2 *Percepção de Altura e Tons Musicais*). A expressão Fusão Tonal, descrita pelo psicólogo Stumpf (1890), baseia-se nesse fenômeno da escuta de “apenas um som” para intervalos harmônicos, tal qual mencionado por Arquitas de Tarento. Todavia, antes de nos aprofundarmos em Psicoacústica, apreciaremos alguns princípios físicos do fenômeno sonoro, como a relação entre Série Harmônica e o modo de vibração dos instrumentos musicais.

O Monocórdio (Figura 2.1) foi utilizado por Pitágoras para estudar intervalos musicais por meio de divisões da corda, mais informações sobre esse tema no Anexo V.2 – *Divisões da Corda*. Experimentos com o Monocórdio demonstraram que certos procedimentos de Divisão da Corda produzem intervalos musicais tidos como consonantes. Destaca-se aqui o procedimento de dividir a corda por  $1/2$ ,  $2/3$ ,  $3/4$ ,  $4/5$  (e assim sucessivamente), que corresponde aos nodos dos harmônicos e à Série Harmônica (mais informações no Anexo V.2). É pela herança da tradição grega que, em Matemática, a progressão denominada Harmônica é a seqüência de números:  $[1, 1/2, 1/3, 1/4, \text{etc.}]$ , que também é denominada, em termos matemáticos, Seqüência Harmônica ou Série Harmônica.



Figura 2.1 – Pitágoras e o Monocórdio

A adoção do termo Harmônico é provavelmente uma herança do legado musical de Arquitas de Tarento. Acredita-se que pode ter sido ele a modificar a terminologia de Média Subcontrária para Média Harmônica [ABDOUNUR 2003:15]. A relação entre esse tipo de Média e Intervalos Musicais tidos como consonantes pode ser explicado por esse tipo de divisão, entre a corda inteira e sua metade, resultar no Intervalo de Quinta  $[3:2]$ . A Média Harmônica também pode ser definida como o ponto Médio entre dois pontos opostos e equidistantes de uma Série (ou Progressão) Harmônica.

Nota-se que a Progressão Harmônica [1, 1/2, 1/3, 1/4, etc.] é a inversão da Progressão Aritmética: [1, 2, 3, 4, etc.] e, uma vez que Comprimento de Corda e Frequência são grandezas inversamente proporcionais, a divisão da corda em uma Série Harmônica gera intervalos musicais em uma Progressão Aritmética no domínio da frequência. Os modos de vibração da corda também ocorrem em subdivisões da mesma em uma Série Harmônica, em pontos chamados de nodos. Esse modelo também se aplica, em divisões da coluna de ar, aos instrumentos de sopro. Essas vibrações complexas em uma Série Harmônica são responsáveis pelos componentes espectrais harmônicos de um tom complexo. Maiores informações encontram-se no Anexo V.2.

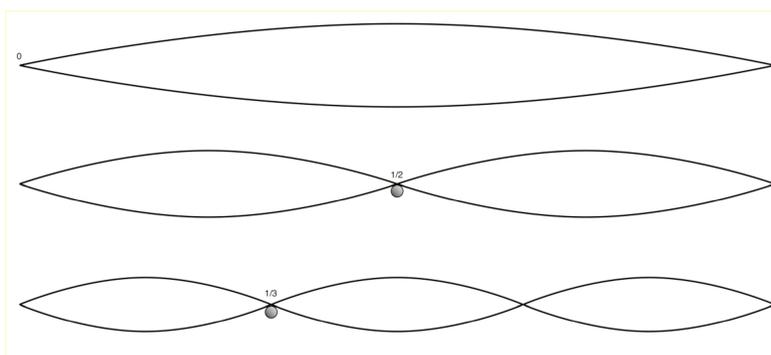


Figura 2.2 – Vibração complexa da corda e divisões da corda em nodos, que forma uma Progressão Harmônica (1, 1/2 e 1/3) da corda. As respectivas frequências desses segmentos, para uma fundamental em 100Hz, formaria a Progressão Aritmética: 100Hz, 200Hz e 300Hz.

A importante contribuição da tradição Pitagórica reside em relacionar proporções numéricas específicas (divisões harmônicas do monocórdio) a intervalos musicais consonantes. A explicação desse fenômeno, na filosofia Pitagórica, resumia-se em ver, nas relações matemáticas de números inteiros, os princípios que regem o Universo. Dessa visão filosófica provém a máxima "Tudo é número, tudo é harmonia", um preceito mais numerológico e abstrato do que científico, psicofísico, ou fenomenológico. Dando continuidade ao texto, apresentamos princípios psicoacústicos. Em contrapartida, dando continuidade à pertinência da Série Harmônica no estudo de Afinação, o Anexo I.c *Intervalos Justos e Série Harmônica* traz importantes conceitos teóricos.

## 2.2 Mecanismos Psicofísicos

No subitem 2.2.1 *Rugosidade e Dissonância Sensorial*, ampliaremos o conceito de consonância, ao exemplificar como ocorre o alinhamento de parciais, nas relações de números inteiros, em tons musicais. No subitem seguinte (2.2.2 *Percepção de Altura e Tons musicais*),

discutimos como relações harmônicas, que são sinônimos de relações de números inteiros, influenciam um aspecto cognitivo de consonância por gerar ondas sonoras periódicas.

Uma forma de onda complexa e harmônica é gerada pela superposição dos diversos modos de vibração dos corpos dos instrumentos musicais, que vibram de maneira complexa, e cada modo dessa vibração complexa é responsável por um parcial do som. As relações entre os parciais desse tipo de espectro sonoro correspondem aos intervalos musicais harmônicos, de modo que intervalos encontrados na Série Harmônica são os mesmos intervalos entre os componentes espectrais harmônicos, de um tom musical, e, conseqüentemente, são formados por proporções de números inteiros (vide Anexo I).

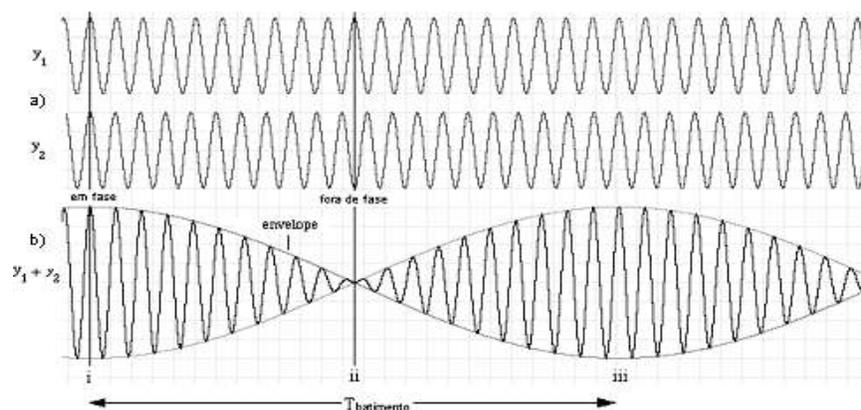
Mas, para compreender melhor a importância da Série Harmônica e relações de números inteiros, precisamos tratar de questões não apenas físicas, já que a percepção desse fenômeno depende de processos psicofísicos e cognitivos. Alguns estudos que lidam com essa questão são os de Stumpf (1890), Terhardt (1974), e Huron (2001), que investigam como a percepção de altura é influenciada por uma tendência do aparelho sensorial humano em fundir e agrupar, em uma sensação única de altura, sons formados por componentes espectrais harmônicos.

Esse agrupamento pode ser explicado pela periodicidade das relações harmônicas, como veremos nas discussões desses trabalhos no item 2.2.2 *Percepção de Altura e Tons Musicais*, onde esses estudos incorporarão o debate sobre a percepção de consonância/dissonância sob um enfoque psicoacústico. Definimos, para tal, a percepção de Rugosidade, que é tida como elemento principal de um conceito de Dissonância Psicoacústica (Dissonância Sensorial). A percepção de Rugosidade foi modelada e utilizada no desenvolvimento de uma ferramenta computacional de análise e geração de material para composição em Afinações Alternativas, que será retratada no decorrer de toda esta dissertação.

### **2.2.1 Rugosidade e Dissonância Sensorial**

O termo Rugosidade (do inglês *Roughness* – também traduzido como *Aspereza*) e sua descrição foram introduzidos na literatura científica por Helmholtz (1877), e, desde então, tem sido considerado uma dimensão da sensação de dissonância [VASSILAKIS 2001]. O termo provém de uma analogia à sensação tátil, e diz respeito à percepção de pequenas irregularidades no som, em contrapartida, a sensação livre desse conceito é descrita como *Suave*. O correlato físico da sensação de Rugosidade, assim como da sensação de Batimentos, é a *Flutuação de Amplitude* [VASSILAKIS 2001], que pode ocorrer na interferência construtiva e destrutiva de ondas sonoras (Figura 2.3). A taxa de Flutuação de Amplitude, de uma superposição de duas ondas sonoras, é igual à diferença em

Hz entre elas<sup>16</sup>. Ondas sonoras com diferença abaixo de 20Hz geram uma taxa de flutuação lenta, percebida como trêmulo (ou Batimentos). Flutuações mais rápidas são responsáveis pela sensação de Rugosidade, e ocorrem para uma diferença em frequência entre 20Hz e um valor que varia de acordo com o registro da escuta (por causa da Banda Crítica, descrita mais abaixo).



Figuras 2.3 a) e b) – Ondas sonoras ( $Y_1$  e  $Y_2$ ) com pequena diferença de frequência em “a)”, ora em fase (ambas as vibrações contribuindo para o deslocamento no mesmo ponto) ora fora de fase (deslocamento em pontos opostos), ou interferência construtiva e destrutiva, como pode ser visto em “b)” ( $Y_1 + Y_2$ ). A variação do envelope de amplitude em “b)” se configura em uma Flutuação de Amplitude, que se repete em uma taxa (T Batimento) igual à diferença de frequência em Hertz.

Em síntese, de forma intuitiva, podemos dizer que os intervalos musicais são percebidos como estáveis ou instáveis, agradáveis ou desagradáveis. Essas sensações estão ligadas à noção de consonância e dissonância. Apesar do debate musicológico sobre os conceitos de consonância e dissonância musicais, entende-se que a percepção de consonância/dissonância é tida como influenciada por fatores culturais (adquiridos) e sensoriais (inatos). Poucas pesquisas experimentais têm focado os aspectos culturais da dissonância, como a de Cazden (1945). Por outro lado, há um estudo considerável sobre mecanismos fisiológicos do ouvido e a processos cognitivos. Esse foi o aspecto a que nos dedicamos durante o mestrado, e esse modelo de musicologia científica serviu de base para a elaboração de uma ferramenta computacional, desenvolvida para análise de dissonância e composição musical em Afinações Alternativas.

Tenney (1988) destaca cinco noções distintas de dissonância no decorrer da História: *Melódica*, *Polifônica*, *Funcional*, *Contrapontística* e *Psicoacústica*. A noção mais recente é a psicoacústica, vinculada ao conceito de Dissonância Sensorial, que é baseada no mecanismos do ouvido interno – mais especificamente da cóclea – mas também em processos cognitivos superiores.

<sup>16</sup> Dado duas frequências  $f_0$  e  $f_1$  a frequência resultante ou batimento é dada por  $\Delta f = (f_1 - f_0)$  com  $f_1 > f_0$

Sua origem está no estudo das sensações de Batimentos desenvolvido por Helmholtz (1877). Todavia, a Dissonância Sensorial foi apenas definida a partir da idéia da Banda Crítica, elaborada após o trabalho de mapeamento coclear [BÉKÉSY, 1943; 1949; 1960] que rendeu a George von Békésy o prêmio Nobel, na categoria de Fisiologia ou Medicina em 1961.

Do tamanho de uma bola de gude e em forma de caracol, ao ser desenrolada, a cóclea se estende em torno de 3.5 centímetros, e é o órgão do ouvido interno que funciona como transdutor de energia mecânica para sinais elétricos, responsáveis pela percepção de altura. Foi na década de 40 que George von Békésy desenvolveu o primeiro mapeamento coclear. Seu trabalho demonstrou que frequências distintas produzem um deslocamento em diferentes pontos da membrana basilar, o tecido presente em toda a extensão interna da cóclea.

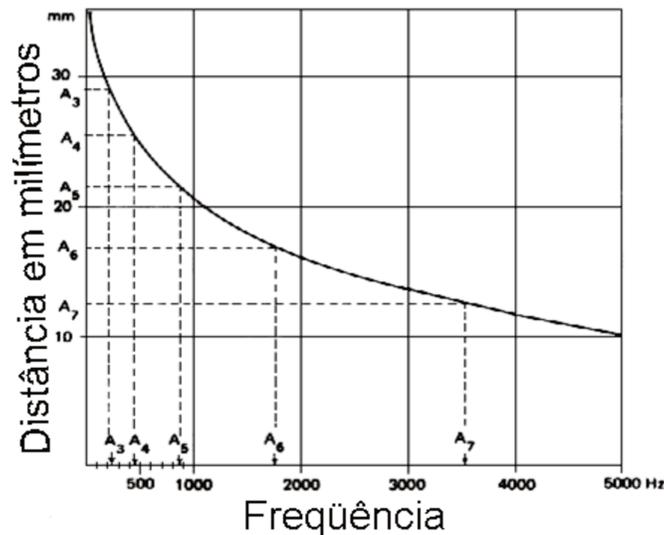


Figura 2.4 – Função da relação entre distância da base da cóclea em milímetros e a frequência em Hertz – Figura de Roederer (1998). Esse estudo toma como medida média da cóclea a distância de 35 milímetros.

Quando o mecanismo do ouvido médio<sup>17</sup> transmite à cóclea vibrações complexas das moléculas de ar, resultantes da somatória de ondas sonoras distintas, um líquido, que permeia os canais interiores da cóclea, recebe esse estímulo e produz ondas correspondentes a cada onda sonora de uma vibração complexa, assim como se jogássemos diversas pedras em um lago, e cada uma gerasse uma onda particular. Como a membrana basilar varia em espessura na extensão interna da cóclea, ela entra em ressonância, em diferentes pontos, dependendo da onda propagada. As vibrações mais rápidas do tímpano produzem ondas no líquido interno da cóclea que ressoam na membrana basilar perto da base (entrada) da cóclea, enquanto que vibrações mais lentas formam

<sup>17</sup> Formado pelo tímpano e ossículos: martelo, bigorna e estribo.

ondas que ressoam no ápex (extremidade final e enrolada) da cóclea (vide Figuras 2.4 e 2.5). Esse mecanismo da cóclea se assemelha a um analisador de espectro, que decompõe um som complexo em seus componentes espectrais. Pela ressonância em pontos distintos da membrana basilar, é dito que há um mapa **Tonotópico**<sup>18</sup> na mesma.

Segundo o estudo de Békésy (1960), componentes espectrais distintos de um tom complexo deslocam a membrana basilar em pontos distintos, e excitam terminações nervosas, que enviam mensagens para o cérebro. Apenas a fisiologia da membrana basilar não é suficiente para explicar a resolução da percepção de altura, e um outro mecanismo de refinamento, baseado na taxa de envio de sinais elétricos para o cérebro, tem sido proposto como um mecanismo paralelo que, em conjunto, explica a capacidade do sistema auditivo de discriminar alturas [BEAMENT 2001].

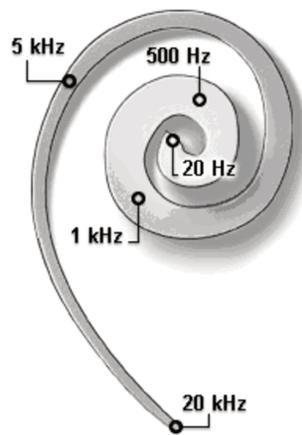


Figura 2.5 – Representação da membrana basilar e pontos de deslocamento de acordo com a frequência (mais agudas ressoam na base da cóclea, e mais graves no ápex).

O mapeamento da relação entre posição na membrana basilar e frequência foi, meticulosamente, desenvolvido por Békésy e, depois, por Kringelbotn et al (1979). Greenwood (1961a) elaborou a seguinte função para aproximar os resultados de Békésy, que retorna o valor da Frequência em Hertz de acordo com a posição, em milímetros, na membrana basilar.

$$F = Ak10^{ax}$$

**Eq.1**

Onde  $F$  é a frequência em Hertz, e  $x$  a posição (em milímetros do ápex).  $A$ ,  $a$ ,  $k$  são constantes, sendo que, para humanos,  $A = 165$ ,  $a = 0.06$  e  $k = 1$ .

<sup>18</sup> Tonotópico se refere ao arranjo espacial de onde o som é percebido, transmitido, ou recebido <<http://www.medterms.com/script/main/art.asp?articlekey=26070>>.

**Tabela 2.2.** Escala Bark em função da frequência (par esquerdo de colunas) e tamanho da Banda Crítica em Hertz como função da frequência central dessa faixa (par direito das colunas) – dados de Zwicker (1961).

Escala da Banda Crítica (em Barks)	Escala física (em Hz)	Faixa de frequência da Banda Crítica (em Hz)	Frequência central (em Hz) da Banda Crítica
0	20	80	60
1	100	100	150
2	200	100	250
3	300	100	350
4	400	110	455
5	510	120	570
6	630	140	700
7	770	150	845
8	920	160	1.000
9	1.080	190	1.175
10	1.270	210	1.375
11	1.480	240	1.600
12	1.720	280	1.860
13	2.000	320	2.160
14	2.320	380	2.510
15	2.700	450	2.925
16	3.150	550	3.425
17	3.700	700	4.050
18	4.400	900	4.850
19	5.300	1.100	5.850
20	6.400	1.300	7.050
21	7.700	1.800	8.600
22	9.500	2.500	10.750
23	12.000	3.500	13.750
24	15.500	4.500	17.750

Outro fator que depende da constituição anatômica da membrana basilar e se relaciona com a percepção de consonância é a Banda Crítica. Harvey Fletcher (1953:168-175) desenvolveu experimentos que relacionaram a discriminação de tons senoidais com o mascaramento – fenômeno

que ocorre quando um som é encoberto por outro, impedindo a percepção do primeiro. Fletcher vinculou seus resultados ao mapeamento coclear, desenvolvido por Békésy e, no desdobramento de sua pesquisa, definiu uma entidade hipotética que ele denominou *Banda Crítica*. A Banda Crítica seria equivalente a uma faixa de frequência (que corresponde a um trecho da membrana basilar) na qual ocorre o mascaramento [FLETCHER 1940]. O primeiro escalonamento da Banda Crítica foi publicado por Zwicker (1961), que adotou o *Bark* como unidade de medida, em homenagem ao criador da unidade de *Loudness* Barkhausen. Cada Bark corresponde a uma Banda Crítica. Ao todo, o registro da escuta humana é dividido em 24 Barks. A relação entre Barks e frequência, dada por Zwicker (1961), é apresentada na Tabela 2.2, as Figuras 2.6 e 2.7 representam o tamanho da Banda Crítica em função da escala logarítmica<sup>19</sup>. Greenwood (1961b, 1990) demonstrou que há, de fato, uma relação linear entre o mapeamento coclear e as medidas psicoacústicas da Banda Crítica, evidenciando que há uma relação entre a fisiologia da membrana basilar e o tamanho de cada Banda Crítica.

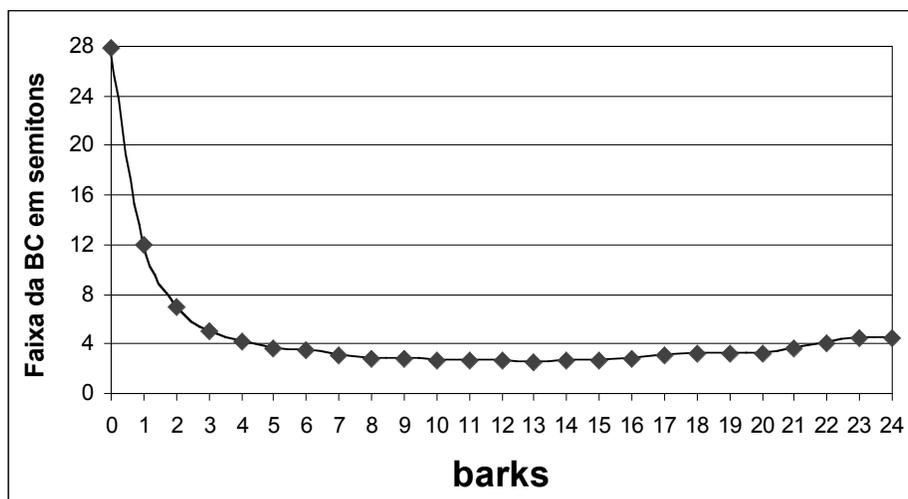


Figura 2.6 – Escala Bark (escala da Banda Crítica) e faixa da Banda Crítica na escala logarítmica (semitons), este gráfico é derivado da primeira e terceira coluna da Tabela 2.2. O eixo vertical corresponde ao intervalo de frequência da Banda Crítica, representada em Semitons do Sistema Temperado em vez da diferença em Hertz (terceira coluna da Tabela 2.2). O eixo horizontal é a escala da Banda Crítica em Barks (primeira coluna da Tabela 2.2).

A Tabela 2.2 demonstra que a faixa de frequência da Banda Crítica não é constante na escala física (em Hertz). Essa propriedade também é apontada geometricamente na escala logarítmica (vide Figura 2.6), que demonstra a variação da Banda Crítica em torno de uma Segunda Maior e uma Terça Menor em grande parte do registro auditivo (3 a 4 Semitons a partir de 4 Barks).

<sup>19</sup> Escala logarítmica corresponde à escala de intervalos musicais (Escala Temperada), que é geométrica, e não linear como a de frequência em Hertz, essa é também referida como Escala Física. Normalmente, adota-se o Semitom Temperado como unidade de medida da Escala Logarítmica.

Na região grave (abaixo de 4 Barks), a Banda Crítica é bem mais ampla. Há algumas funções que convertem, aproximadamente, os valores de Hz para Barks (par esquerdo da Tabela 2.2). Traunmüller (1990) fornece uma equação com um erro entre mais e menos 0.05 Bark para frequências acima de 100Hz.

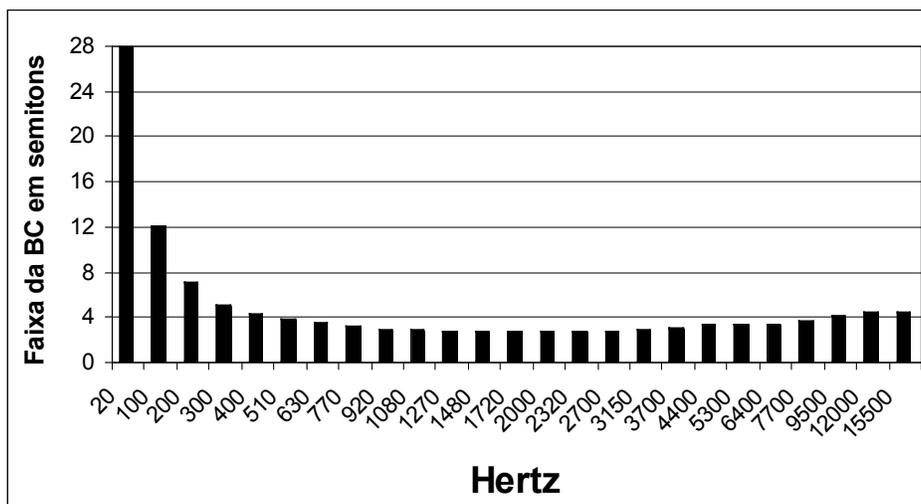


Figura 2.7 – Escala da Banda Crítica em Hertz no eixo horizontal (segunda coluna da Tabela 2.2) e o valor de cada Banda em Semitons do sistema temperado representado em colunas no eixo vertical

$$B(f) = \begin{cases} AR + B, & \text{se } R > 20.1; \\ R & \text{se } 0 \leq R \leq 20.1 \end{cases}$$

**Eq.2**

com

$$R = \begin{cases} \frac{Cf}{D+f} - 0.53, & \text{se } f > 219.5 \text{ Hz}; \\ E \arctan\left(\frac{Gf}{H}\right) & \text{se } f \leq 219.5 \text{ Hz} \end{cases}$$

Onde B(f) é o valor da conversão de uma dada frequência em Hertz para Barks. Sendo que as constantes A = 1.22, B = 4.422, C = 26.81, D = 1960, E = 13.3, G = 3 e H = 400.

A Eq.2. é uma combinação entre a fórmula de Traunmüller (1990) com a função de Terhardt (1979). Essa segunda fórmula é utilizada para converter, com melhor precisão, as frequências do registro grave. Essa combinação foi sugerida por Clarence Barlow, que tem trabalhado mais de 20 anos em seu livro *Musiquantics*, onde pesquisa essa tema dentre outros. Adotamos a sugestão de Barlow, de modo que utilizamos a Equação de Terhardt (1979) para

freqüências cujo valor em Hertz é menor ou igual a 219.5Hz, enquanto usamos a de Traunmüller (1990) para os valores superiores a 219.5Hz. Juntando-se as duas aproximações, a equação de conversão de Hertz para Barks é apresentada a seguir.

A Banda Crítica depende do mecanismo fisiológico da membrana basilar que também influi em outros fatores da escuta, de modo que pode também ser compreendida como a capacidade de resolução do ouvido interno de discriminar alturas simultaneamente. Além do mascaramento, por exemplo, a Banda Crítica pode ser medida em função da sensação de Rugosidade, e seria a faixa de freqüência na qual dois tons puros não são percebidos separadamente, e, portanto, produzem a sensação de Batimentos e Rugosidade. É importante notar que a Banda Crítica se relaciona com a prática musical. Por exemplo, as regras de harmonia e contraponto enfatizam que as notas devem estar mais espaçadas no registro grave (Figura 2.8). Ou seja, tendo em vista que a Banda Crítica para os sons graves ocupa uma faixa de freqüência de até uma Oitava, um espaçamento dessa magnitude previne a sensação de Rugosidade assim como o fenômeno de mascaramento. A Banda Crítica e sua relação com a Rugosidade também é a base de um estudo psicoacústico de dissonância, atualmente denominado Dissonância Sensorial.



Figura 2.8 – Espaçamento entre as notas de um acorde em diferentes registros, o espaçamento varia de acordo com a Banda Crítica – Figura de Huron (2001).

Como já apresentado no início deste Capítulo, Pitágoras foi o primeiro a apontar para a relação entre consonância e razões de números inteiros pequenos (relações harmônicas). Segundo Helmholtz (1877), a percepção de dissonância ocorre quando há a presença de Batimentos entre parciais de um som. Já a consonância ocorre quando esses componentes espectrais estão afastados o suficiente para não produzirem Batimentos, ou quando há um alinhamento entre os parciais. A explicação de Helmholtz está em linha com o Modelo Pitagórico, porque há um alinhamento dos componentes espectrais, no caso da superposição de dois tons complexos musicais (formados por componentes espectrais harmônicos), em relações dadas por números inteiros (ver Figura 2.9).

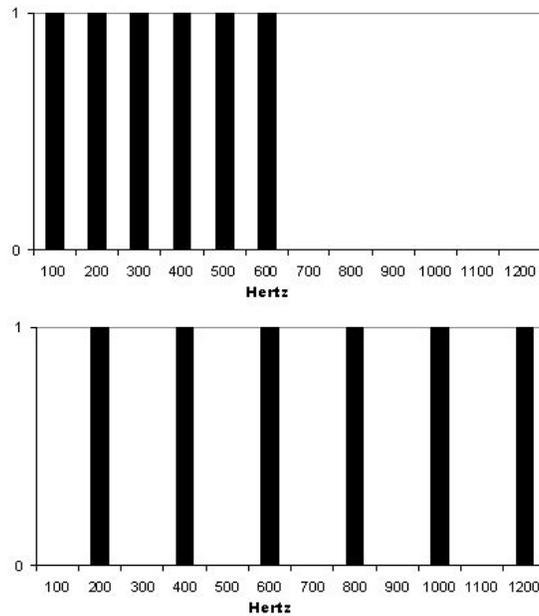


Figura 2.9 – Alinhamento dos parciais de dois tons na relação de Oitava, relação de números inteiros [2:1].

Helmholtz (1877) considerou que a percepção de dissonância máxima ocorre, independentemente do registro, nos Batimentos rápidos entre 30Hz e 40Hz entre dois tons senoidais (logo, tons com diferença de 30hz a 40hz entre si). Posteriormente, essa premissa foi revisada pelo trabalho de Plomp e Levelt (1965), cujos resultados demonstram a relação entre percepção de Rugosidade e Banda Crítica, o que faz com que essa taxa entre 30Hz e 40Hz não seja constante – uma vez que a Banda Crítica varia de acordo com o registro. O trabalho desses dois pesquisadores evidenciou que o ponto de dissonância psicoacústica máxima, para um par de tons senoidais, ocorre no intervalo que corresponde a um quarto da Banda Crítica, que, na região média entre 500Hz e 1.000Hz, corresponde aos Batimentos entre 30Hz e 40Hz como Helmholtz expusera.

Anteriormente, Greenwood (1961b) já havia sugerido que o mecanismo da membrana basilar influencia um fator psicoacústico de dissonância, usando o termo “Dissonância Sensorial”, que figura até hoje na literatura. O termo “Consonância Tonal” (oposto à Dissonância Sensorial) foi usado por Plomp e Levelt para diferenciá-lo do termo “consonância”, como adotado na Teoria Musical – enfatizando a noção que esse estudo apenas foca em um princípio psicoacústico, que não pretende elucidar, por completo, a consonância musical.

Em seus experimentos psicoacústicos, Plomp e Levelt (1965) convocaram sujeitos sem treinamento musical para avaliar a Consonância Tonal (explicada como agradável e eufônica pelos pesquisadores) entre dois estímulos senoidais de mesma intensidade. O grupo aferiu valores para diferentes intervalos em diferentes registros e, como resultado médio, a pesquisa demonstrou uma

tendência clara: a) há um nível máximo de dissonância nos intervalos em torno de um quarto da Banda Crítica; b) há um nível mínimo de dissonância para os intervalos que excedem a Banda Crítica. A Figura 2.10, logo a seguir, foi extraída do artigo de Plomp e Levelt (1965), e representa o resultado médio por eles obtido.

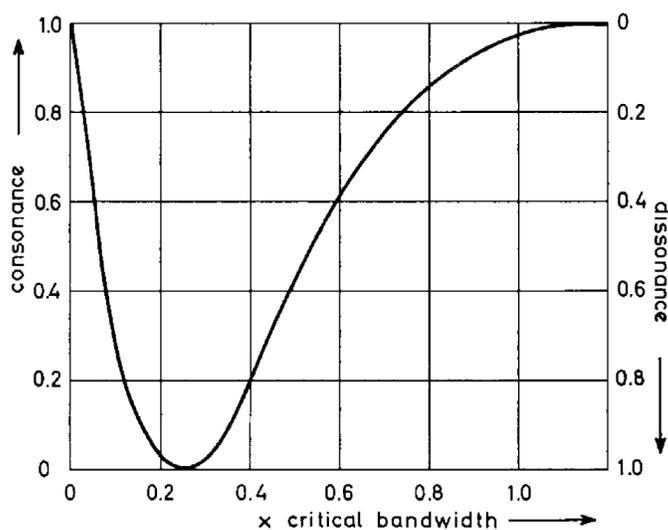


Figura 2.10 – Curva dos resultados de Plomp e Levelt (1965).

Na Figura 2.10, o eixo vertical corresponde à Consonância de debaixo para cima, e Dissonância de cima baixo. O eixo horizontal é a diferença de frequência em Barks (escala da Banda Crítica). O valor mínimo de Consonância Tonal (Rugosidade máxima) ocorre em torno de 0.25 Bark – um quarto da Banda Crítica. A curva de resultados de Plomp e Levelt serve de base para modelos de estimativa de Rugosidade/Dissonância Sensorial, e é o dado essencial na geração de gráficos denominados “Curvas de Dissonância Sensorial”. Essas Curvas representam a Rugosidade do intervalo entre dois tons (que, no caso da Figura 2.10, são tons puros). Enquanto um tom é mantido fixo, o outro tom varia, ascendente, formando um intervalo musical em relação ao tom fixo. O trabalho de Plomp e Levelt (1965) também revisou o Modelo Pitagórico de que apenas números inteiros pequenos explicariam o fenômeno da consonância, pois constataram que, para tons puros, a percepção de dissonância depende apenas da Banda Crítica e não de relações numéricas. Outra conclusão, que revisa o modelo Pitagórico, é que as relações de números inteiros são consonantes apenas no caso de tons complexos harmônicos, já que para tons inarmônicos os parciais alinham também nas mesmas relações inarmônicas (vide Figuras 2.15 e 2.16 neste Capítulo, assim como 3.13 e 3.14 no próximo).

Em paralelo, e reforçando esses resultados, Greenwood (1961b) pesquisara a relação entre Dissonância Sensorial e Banda Crítica e testou suas hipóteses utilizando os dados coletados por Mayer (1894). Mayer, em seus experimentos, instruiu os ouvintes a identificar, similarmente a Plomp e Levelt (1965), o menor intervalo possível livre de Rugosidade em tons senoidais. Da mesma forma que os estudos de Plomp e Levelt, esse intervalo não é constante na escala logarítmica ou física, e Greenwood (1961b) demonstrou que as medidas de Mayer (1894) se encaixam, perfeitamente, na distribuição de frequência da Banda Crítica do mapeamento de Békésy (1960).

Greenwood, assim como Plomp e Levelt, constatou que nenhuma Dissonância Sensorial ocorre para tons senoidais separados por valores de frequência maior que uma Banda Crítica e esses resultados foram reiterados por Kameoka e Kuriyagawa (69a, 69b) e por Iyer, Aarden, Hoglund e Huron (1999). A curva de Plomp e Levelt (1965) é baseada nos dados da Banda Crítica fornecidos por Zwicker (1961), e é considerada consistente na estimativa empírica de Rugosidade. A Curva ainda é aplicada em modelos de Rugosidade, como no modelo de Sethares (2005), que serviu de base para o desenvolvimento de nosso modelo, discutido, pormenorizadamente, no próximo subitem. A Rugosidade é um atributo da sensação auditiva, tido na psicoacústica como elemento natural da escuta humana, mas que influencia uma dimensão abstrata da percepção do som como o conceito de dissonância. Helmholtz (1877: 234-235) apresenta a seguinte conclusão sobre inato *versus* adquirido na percepção de Rugosidade/Dissonância Sensorial:

“A combinação [de tons] percebida como mais rugosa ou suave que outra depende apenas da estrutura anatômica do ouvido (...). Mas a que grau de Rugosidade um ouvinte está inclinado a ... como meio para expressão musical depende do gosto e hábito; por isso a fronteira entre consonância e dissonância tem mudado freqüentemente ... e ainda mudará adiante.”

### 2.2.1.1 Um Modelo de Rugosidade

O trabalho de Plomp e Levelt (1965) relaciona a percepção de Rugosidade com a sensação de Dissonância pelo conceito de “Consonância Tonal”, e é o dado essencial do modelo de Rugosidade desenvolvido durante a nossa pesquisa. Apresentamos, aqui, duas funções: a de Sethares, representada na Equação 3 (2005), e a de Parncutt (1993), representada na Equação 4. Essas aproximam a Curva dos resultados de Plomp e Levelt (1965) apresentada na Figura 2.10.

$$D(x) = N \left( e^{-Ax} - e^{-Bx} \right) \quad \text{Eq.3}$$

Onde  $x$  representa a diferença em Barks de duas alturas, ou  $x = (B_{\text{máx}} - B_{\text{mín}})$ ,  $A = 3.51$  e  $B = 5.75$ . Esta função é multiplicada pelo fator  $N = 5.56309$  para que seu máximo valor de Rugosidade, em  $x=0.22$ , seja normalizado em 1.

A Curva (vide Figura 2.10) com os resultados médios de Plomp e Levelt (1965) pode ser, aproximadamente, gerada utilizando diversos tipos de procedimentos matemáticos. Sethares (2005) apresenta um método de combinação entre duas funções exponenciais que, quando invertida para representar Dissonância Sensorial ao invés de Consonância Tonal, pode ser parametrizada pela Equação 3 [SETHARES 2005]. Alternativamente, Parncutt (1993) apresenta uma função<sup>20</sup> (Equação 4) que faz parte de sua implementação do modelo de Rugosidade de Hutchinson e Knopoff (1978). Essas aproximações algébricas são comparadas na Figura 2.11.

$$D(x) = \left( A \cdot x \cdot e^{\frac{x}{B}} \right)^2 \quad \text{Eq.4}$$

Onde  $x$  representa a diferença em Barks de duas alturas, ou  $x = (B_{\text{máx}} - B_{\text{mín}})$ ,  $A = \frac{e}{B}$ ,  $e = 2.7182\dots$  (número neperiano), e  $B = 0.25$  (ponto de Rugosidade máxima em Barks). Esta função retorna o valor máximo igual a 1 para  $x = 0.25 = B$  (exatamente um quarto da Banda Crítica).

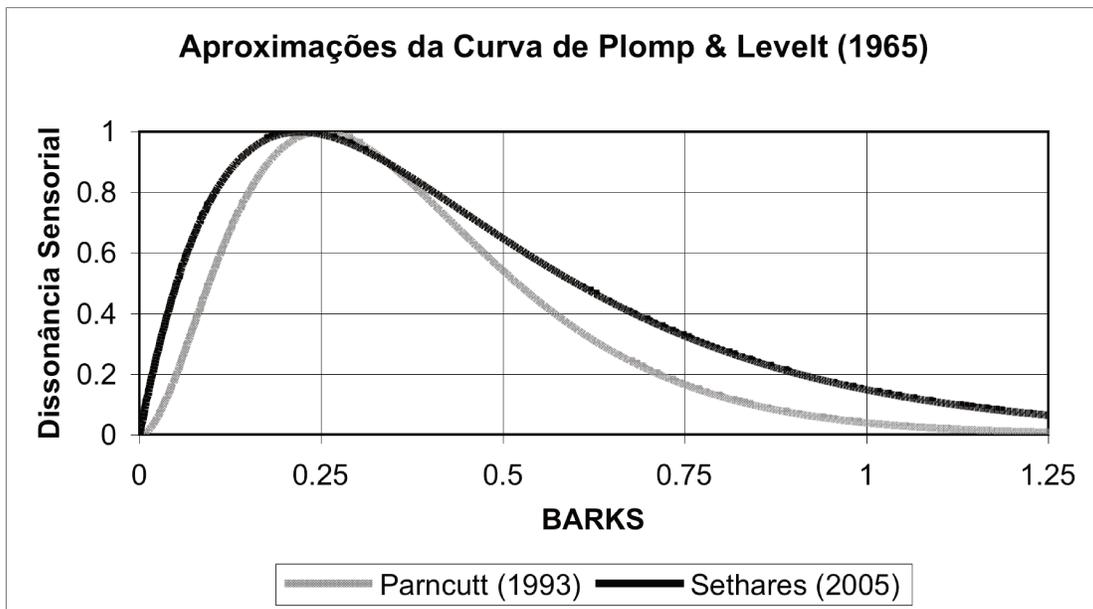


Figura 2.11 – Duas Aproximações dos resultados de Plomp e Levelt.

<sup>20</sup> Publicada somente no endereço: <<http://www-gewi.uni-graz.at/staff/parncutt/rough1 doc.html>>.

O eixo vertical da Figura 2.11 corresponde à percepção de Rugosidade no sentido contrário da Figura 2.10, e o eixo horizontal é a diferença de frequência em Barks. Para se ter um valor de entrada em Hertz em vez de Barks, precisamos de um procedimento de conversão entre Hertz e Banda Crítica, como o da Eq.2, que combina as funções de Traummüller (1990) e de Terhardt (1979). Sethares (2005), entretanto, propõe um outro ajuste ao substituir, em sua Equação 3, o  $x$  (diferença em Barks) para  $\Delta f$  (diferença em Hz), multiplicando  $\Delta f$  por uma variável “S” em função de  $f_{\min}$  (vide Equação 5). Esse procedimento, a título de curiosidade, poderia ser igualmente aplicado na Equação 4 de Parncutt (1993).

$$D(x) = N \left( e^{-A.S.\Delta f} - e^{-B.S.\Delta f} \right) \quad \text{Eq.5}$$

Onde  $S = \frac{0.24}{0.0207} \cdot f_{\min} + 18.96$  e  $(\Delta f) = (f_{\max} - f_{\min})$  em Hertz.

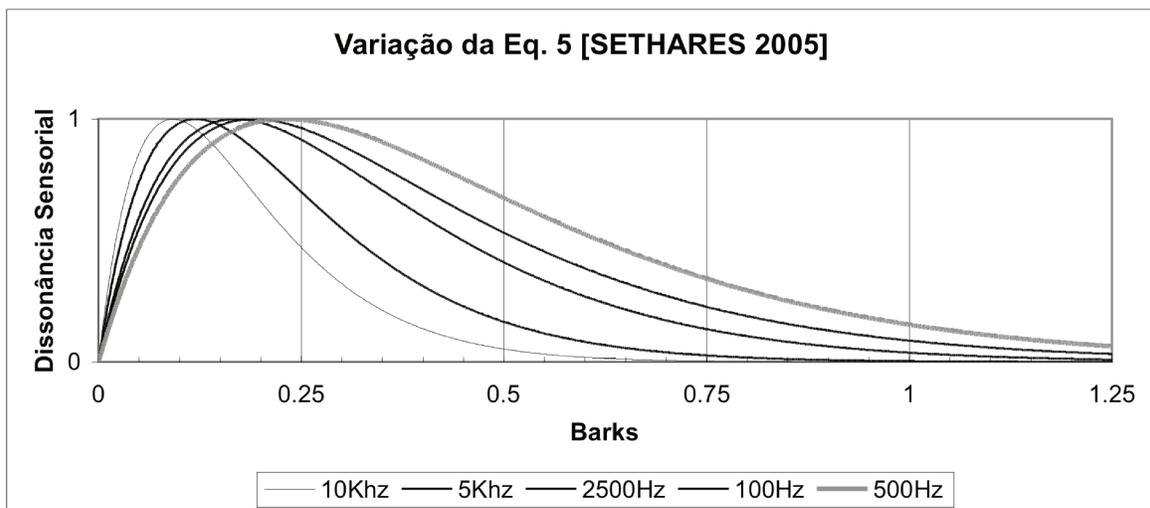


Figura 2.12. Variação das Curvas retornadas pela Eq. 5 de Sethares (2005).

Barlow (também no desenvolvimento de *Musiquantics*) percebeu que o ajuste da Eq. 5 retorna curvas distintas de acordo com a entrada de frequências (vide Figura 2.12). Enquanto a Equação 3 [SETHARES 2005], com a entrada em Barks, retorna uma curva constante (Figura 2.11), cujo ponto máximo é 0.22 Barks. Na Figura 2.12, o ponto máximo em Barks é 0.9 para 10kHz, 0.12 para 5kHz, 0.16 para 2.500Hz, 0.19 para 100Hz e 0.23 para 500Hz. Essa variação implica uma distorção da aproximação da curva de Plomp e Levelt (1965) com o termo “S”. Por preferirmos uma

aproximação constante, adotamos o procedimento de conversão de Hertz para Barks da Equação 2. Assim, apenas convertemos os valores em Hertz para Barks e extraímos a diferença em Barks –  $\Delta\beta = (\beta_{\text{máx}} - \beta_{\text{mín}})$ , ou seja, o  $x$  das Equações 3 e 4. Outra função útil em nosso modelo (ver Equação 6) converte intervalos (razões de frequência em Hz) para cents, e permite representar as Curvas na escala logarítmica, como na escala de Semitons Temperados ou em cents.

$$C(R) = 1.200 \text{ Log}_2(R) \quad \text{Eq.6}$$

Onde  $R$  é um número que equivale à razão de um intervalo musical (vide Anexo I), e pode ser a razão entre duas frequências em Hertz ( $f_{\text{máx}}/f_{\text{mín}}$ ).

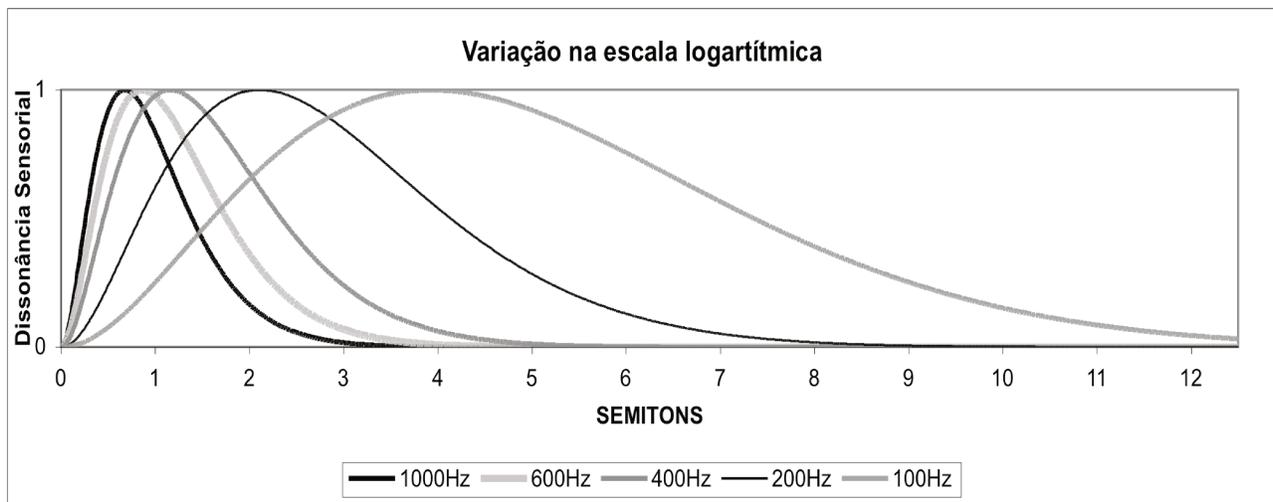


Figura 2.13 – Variação da Aproximação de Parncutt (Eq. 4) na escala logarítmica.

A curva de Plomp e Levelt (1965) se relaciona com a escala Bark [ZWICKER 1961] ao afirmar que o intervalo de maior Rugosidade (ponto máximo da Curva) é um quarto da Banda Crítica (0.25 Bark). A variação da Banda Crítica na escala logarítmica de acordo com o registro (ver Figuras 2.6, 2.7 e Tabela 2.2) implica que o intervalo de maior Rugosidade (0.25 Bark) também varie em cents. Por isso, a Figura 2.13 mostra cinco Curvas distintas (mais largas em direção ao grave). Por exemplo, a curva para 1.000Hz apresenta um nível baixo de Rugosidade já antes de uma Terça Menor, enquanto a curva de 100Hz possui um nível máximo em torno de uma Quarta.

A implementação do modelo de Sethares (2005) em *Matlab* e *Basic* está disponível em: <<http://eceserv0.ece.wisc.edu/~sethares/comprog.html>>. Foi a partir desse trabalho que iniciamos o desenvolvimento e melhorias do modelo criado em pesquisa. Baseamo-nos no algoritmo em *Matlab* para uma implementação em *puredata* <<http://puredata.info>>. Primeiramente, descartamos a Eq. 5

(e seu termo “S”) e mantivemos a aproximação de Sethares em seu formato básico da Equação 3. Também incluímos a Equação 4 de Parncutt (1993). Para que pudéssemos ter uma entrada de valores em Hertz. Para ambas as aproximações, utilizamos a Equação 2 para converter Hertz em Barks.

O estudo fundamental para o nosso modelo é o de Plomp e Levelt (1965) e, conseqüentemente, a escala Bark [ZWICKER 1961]. Plomp e Levelt (1965) adotaram apenas intervalos de tons puros com Amplitudes Relativas iguais (de mesma intensidade), deixando de contabilizar a relação entre amplitudes diferentes, e a contribuição desse fator na percepção de Rugosidade. Em vista dessa questão, o modelo de Sethares (2005) multiplica os dados da Equação 3 pela menor Amplitude Relativa entre  $A_1$  e  $A_2$  (das respectivas Frequências  $f_1$  e  $f_2$  do par de tons puros). Vassilakis (2001) critica esse e outros procedimentos similares, que não levam em conta o Grau de Flutuação de Amplitude, e propõe uma multiplicação pelo resultado da Equação 7.

$$Amp(A_1, A_2) = (A_1 \cdot A_2)^{K_1} \cdot K_2 \cdot \left( \frac{2 \cdot A_1}{(A_1 + A_2)} \right)^{K_3} \quad \text{Eq.7}$$

Onde **Amp** é o fator que redimensiona a estimativa de Rugosidade de acordo com as amplitudes  $A_1$  (menor das Amplitudes Relativas) e  $A_2$  (maior das Amplitudes Relativas), e as constantes  $K_1=0.1$ ,  $K_2=0.5$ ,  $K_3=3.11$ .

Trabalhamos, em nosso modelo, com amplitudes relativas normalizadas entre 0 e 1. Nessa escala, a Equação 7 retorna um valor máximo de 0.5, que reduz pela metade nosso valor arbitrário máximo de Rugosidade igual a 1. Portanto, normalizamos esse resultado final ao multiplicá-lo por 2, o que equivale a eliminar a constante  $K_2$ , e mantém o valor máximo das Equações 3 e 4. Na equação 7, o termo elevado a 0.1 indica que o valor absoluto das amplitudes é de baixa relevância na percepção de Rugosidade, enquanto que o outro termo, elevado a 3.11, indica o maior impacto do Grau de Flutuação de Amplitude, normalmente negligenciado em modelos de Rugosidade [VASSILAKIS 2001]. Isso implica que um par de Amplitudes Relativas 0.65 e 0.6 contribui mais à percepção de Rugosidade no modelo de Vassilakis – onde  $Amp = 0.8$  – do que no modelo de Sethares – onde  $Amp = 0.6$ . Essa diferença é demonstrada na Figura 2.16.

Como a percepção de intensidade (i.e. *Loudness*) também varia de acordo com o registro, incorporamos em nosso modelo as *Curvas de Iso-Loudness* [FLETCHER; MUNSON 1933], um fator que redimensiona as Amplitudes Relativas de acordo com o registro. Essa implementação foi possível por uma tabela de referência elaborada à mão e fornecida por Clarence Barlow por correspondência eletrônica particular. Clarence utilizou essa tabela em seu primeiro modelo

[BARLOW 1980]. Atualmente, Barlow utiliza uma função de conversão (que poderá ser incluídas em nosso modelo no futuro).

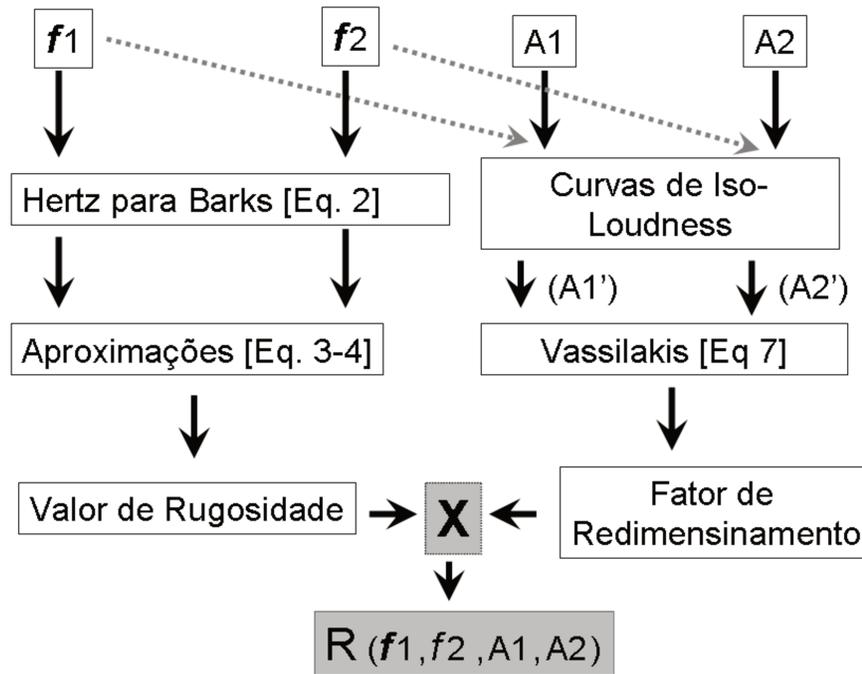


Figura 2.14 – Modelo de Rugosidade para um par de tons puros.

A tabela de Barlow possui valores em dB e *midicents*, que podem ser consultados e convertidos em Amplitude Relativa com os objetos nativos do *puredata: ftom* e *rmstodb/dbtorms*. O diagrama da Figura 2.14 representa o fluxo de informação em nossa implementação computacional, que retorna  $R(f_1, f_2, A_1, A_2)$ , isso é, o valor de Rugosidade para um par de frequências em Hz ( $f_1, f_2$ ) e suas respectivas Amplitudes Relativas ( $A_1, A_2$ ). A partir deste modelo é que calculamos a Rugosidade de um tom complexo.

Partindo do conceito que um tom complexo pode ser decomposto em tons puros, o modelo de Plomp e Levelt (1965) propõe que a Rugosidade de um tom complexo seja calculada somando-se a Rugosidade de cada combinação dos pares de tons puros do espectro. A partir desse princípio, a Figura 2.15 mostra a Curva de Dissonância obtida por Plomp e Levelt (1965), para um tom complexo harmônico, no modelo de estimativa de Rugosidade proposto por eles.

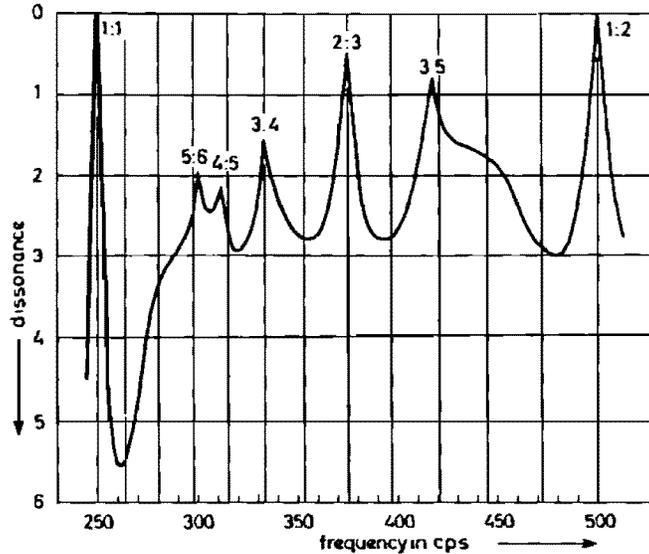


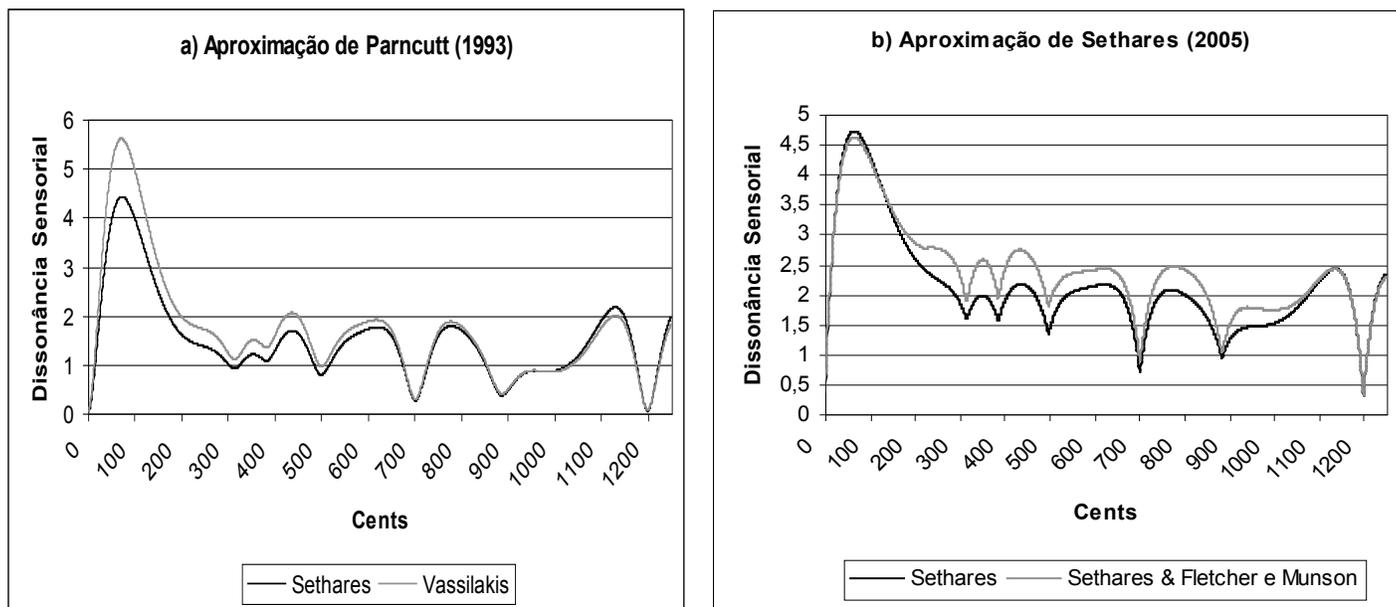
Figura 2.15 – Curva de Dissonância Sensorial para um tom complexo [PLOMP; LEVELT 1965]. Eixo vertical corresponde à Dissonância Sensorial de cima para baixo, e o eixo horizontal representa a escala linear de frequências em Hertz (registro de uma Oitava entre 250Hz e 500hz). Essa Curva é de um espectro complexo e harmônico com seis parciais de mesma intensidade. Enquanto um tom mantém-se fixo, o outro varia de acordo com o eixo horizontal.

Como o espectro do exemplo de análise da Figura 2.15 é harmônico, níveis máximos de Consonância Sensorial ocorrem em intervalos formados por proporções de números inteiros pequenos (vide picos no gráfico e a demarcação dos intervalos em proporções de números inteiros pequenos). Isso porque são nesses pontos que há o alinhamento de alguns parciais, eliminando Batimentos e Rugosidade. Ao aplicar esse procedimento metodológico, os modelos de estimativa de Rugosidade de tons complexos (ou Análise das Curvas de Dissonância Sensorial, como nos referimos neste trabalho) permitem encontrar intervalos musicais consonantes de acordo com o conteúdo espectral de um som.

Podemos, dessa maneira, gerar escalas com intervalos consonantes a partir da abordagem de Plomp e Levelt (1965). Os Sistemas de Afinação Justa, como descritos no Anexo I, partem desse princípio e se baseiam no conteúdo espectral harmônico de tons musicais, para relacioná-los com intervalos musicais consonantes descritos por proporções de números inteiros pequenos. Esse princípio dos Sistemas de Afinação Justa será analisado, a partir de Curvas de Dissonância Sensorial, no Capítulo 3.

A análise de Curvas de Dissonância Sensorial a partir de um espectro sonoro, desenvolvida em pesquisa, utiliza uma lista de frequências e outra de amplitudes, que representam as componentes de um espectro sonoro dado a priori. Seguindo o princípio de Plomp e Levelt (1965), Sethares (2005), em seu algoritmo, fornece uma rotina de somatória dos valores de Rugosidade para

cada par de um tom complexo. Adotamos a rotina do algoritmo de Sethares que, via uma análise de FFT, possibilita a elaboração de Curvas de um espectro sonoro extraído de um arquivo de som digital, assim como a análise de um sinal digital no tempo. Outra rotina, fornecida por Sethares e adotada por nós, duplica as listas do espectro sonoro e desloca uma delas em uma resolução em cents. Tal rotina de deslocamento é o que permite a geração de Curvas de Dissonância.



Figuras 2.16 a) e b) – Comparações de Diferentes Parâmetros no Modelo. Curvas no registro de uma Oitava mais um Quarto de Tom (resolução de 1.250 cents) a partir de 500Hz.

A Figura 2.16 traz as Curvas de nosso modelo de Rugosidade e compara os resultados de diferentes parâmetros, como o redimensionamento proposto por Vassilakis (2001) e o de Sethares (2005) em “a)”, as aproximações de Parncutt (1993) em “a)” e Sethares (2005) em “b)”, assim como o redimensionamento de Sethares (2005) e a influência das Curvas de Fletcher e Munson (1933) em “b)”. O espectro analisado é um tom complexo harmônico formado por seis parciais cujas amplitudes relativas decaem na taxa de 88%.

Cabe ressaltar que o caráter timbrístico de um instrumento musical não é determinado apenas pelo seu espectro estático (representação de uma lista de Componentes Senoidais e outra lista de Amplitudes Relativas desses componentes), mas sim por sua evolução temporal. Particularmente, certas modulações de frequência e amplitude dos parciais no tempo nos permitem reconhecer um instrumento musical. Em especial, os primeiros milisegundos (o momento do ataque) contêm informações essenciais para o reconhecimento da fonte sonora. É nesse trecho inicial que encontramos os transientes de um som, de natureza ruidosa, como o impacto do martelo na corda do piano. Outro ponto importante é que, por causa de suas frequências formantes, uma

simples transposição do espectro não representa, com fidelidade, uma mudança no registro de um instrumento musical<sup>21</sup>. Todos esses fatores demonstram que os modelos de estimativa de Rugosidade (Curvas de Dissonância Sensorial) associados a um único espectro sonoro estático é limitado para estudar, na sua totalidade, o comportamento dos instrumentos musicais. Novos desenvolvimentos, portanto, devem incluir uma outra dimensão temporal nas análises.

Não obstante, o cálculo da Dissonância Sensorial nos fornece mecanismos relevantes para relacionar escalas com conteúdo espectral, e partimos disso para estruturar alguns Processos Criativos descritos no Capítulo 4. Um exemplo de aplicação em um Processo Criativo a partir de um modelo de Rugosidade se encontra no trabalho do compositor Clarence Barlow que, em seu modelo [BARLOW 1980], comparou os intervalos de um Piano, em todo seu registro, e gerou uma tabela de intervalos em ordem crescente de Rugosidade/Dissonância Sensorial. Esse e outros parâmetros sonoros formam a base estrutural de sua peça para Piano solo *Çogluotobüsisletmesi*, em Quartos de Tom.

O modelo de Sethares tem se mostrado suficientemente útil para certas aplicações composicionais e em análise musical [SETHARES 2005]. Sethares aplica seu modelo em um processo composicional de maneira eficiente, ao eliminar Batimentos ao ajustar a afinação de acordo com o espectro utilizado e vice-versa. Os processos criativos desenvolvidos durante o mestrado também derivam do trabalho de Sethares (2005), principalmente no princípio de gerar escalas musicais relacionadas com um espectro sonoro dado, e o que Sethares denomina Afinação Adaptativa (discutida no Capítulo 4).

Uma discussão mais profunda sobre Modelos de Rugosidade extrapola essas questões técnicas e inclui questões conceituais. Apesar dos correlatos físicos e fisiológicos/cerebrais da Rugosidade, o termo “Dissonância Sensorial” – ligado a essa sensação – carrega a abstração conceitual do que seria dissonância, abrindo uma margem para discussão e má interpretação. Segundo Vassilakis (2001: 83-84):

“Exame de performances práticas e construção de instrumentos de todo o mundo (...) demonstrou que variações sonoras envolvendo essa sensação são encontradas na maioria das tradições musicais. Na tradição ocidental, a sensação de Rugosidade (...) tem sido regularmente ligada a conceitos de consonância e dissonância, sendo tais conceitos compreendidos como adquiridos esteticamente (...) ou não (...). Estudos que focam essa sensação têm sido ocasionalmente tendenciosos a encontrar uma justificativa aceitável definitiva e universal da ‘inevitabilidade natural’ e ‘superioridade estética’ da teoria da musical ocidental (...). Isso tem lhes privado de examinar seriamente os correlatos físicos e fisiológicos da sensação de Rugosidade”.

---

<sup>21</sup> Barlow (1980), por esse motivo, analisou diversas amostras de sons do registro de um piano.

A crítica de Vassilakis atinge o modelo de Plomp & Levelt (1965). O resultado da estimativa de “Consonância Tonal” de Plomp e Levelt (1965) tornou-se um clássico e é uma referência psicoacústica para modelos de Rugosidade. Seus dados são tidos como consistentes, porém, há a pertinência de uma revisão, com novas tecnologias e mais sujeitos utilizados no experimento, em um método que evitaria a forte correlação entre Rugosidade e “dissonância”. Uma possibilidade seria treinar sujeitos no que consiste a sensação de Rugosidade como um atributo singular e objetivo do som, pois dissonância é um fenômeno multidimensional que, entre outras coisas, depende de fatores históricos e culturais, subjetivos e abstratos. A sensação de Rugosidade constitui apenas uma das dimensões de dissonância, cuja significância varia de acordo com período e tradição [VASSILAKIS 2001]. Uma revisão de nosso modelo poderá ocorrer se esses dados essenciais forem revisados por novos experimentos, que podem inclusive revisar as medidas da Banda Crítica e uma maior ciência dos correlatos físicos dessa sensação<sup>22</sup>. Até então, o elemento mais importante do modelo, ora apresentado, é a aproximação da curva de resultados de Plomp e Levelt (1965) e a conversão de frequências em Hertz para a escala Bark [ZWICKER 1961].

Baseamos nosso modelo de Rugosidade no trabalho de Plomp e Levelt (1965), Parncutt (1993), Sethares (2005), Barlow (1980) e Vassilakis (2001). Os próximos passos dessa pesquisa devem incluir a influência do efeito de mascaramento – que pode ser possível com as pesquisas relacionadas à compactação de áudio. Ambas as aproximações adotadas em nosso modelo (Eq. 3 e 4) são similares entre si. É delicado e complicado adotar uma como melhor que a outra, pois a própria natureza dos dados de Plomp e Levelt (1965) – testes psicoacústicos subjetivos aferidos por média estatística – carrega uma incerteza populacional, e a curva da Figura 2.10 é, *a priori*, uma aproximação simplificada desses dados por Plomp e Levelt. Não obstante, ambas as Equações 3 e 4 retornam análises distintas, e a aproximação de Parncutt gera um gráfico mais semelhante à Figura 2.10 [PLOMP; LEVELT 1965]. A aproximação de Sethares apresenta um ponto máximo logo antes de um quarto da Banda Crítica, e também gera uma Curva com concavidade mais ampla – o que acaba contabilizando um pouco mais de Rugosidade que a Curva de Parncutt (como comparado na Figura 2.16). Por esse mesmo motivo, a aproximação de Sethares gera gráficos com maior contraste de pontos máximos e mínimos, ou seja, picos e vales mais definidos nas Curvas de Dissonância, o que facilita o procedimento de derivar escalas de um espectro sonoro (vide Capítulo 3).

---

<sup>22</sup> Não foi dada a atenção nos experimentos de Plomp e Levelt (1965) para o fato de que a somatória de frequências como 400Hz e 810Hz geram flutuações de amplitude com taxa de 10hz, gerando a sensação de Batimentos. Assim, o valor nulo para esse par de tons puros no modelo de Plomp e Levelt é incoerente. Curiosamente, esse problema é contornado no modelo via a análise de FFT do som digital, que extrai mais do que dois componentes espectrais, e contabilizam os Batimentos.

Outra questão é que, apesar de ser uma melhoria no modelo, a conversão por tabelas de referência das Curvas de *Iso-Loudness* distorce um pouco o gráfico final, por não ser uma conversão contínua. Esse problema poderá ser contornado com a adoção da função de Barlow. Portanto, dependendo da aplicação do modelo aqui apresentado, adotamos uma configuração distinta do fluxograma da Figura 2.14. Quando o modelo serve apenas para a função de gerar escalas a partir de espectros sonoros, como nas análises do próximo Capítulo, é melhor adotar a aproximação de Sethares (2005), e descartar o redimensionamento das Curvas de *Iso-Loudness*. Já para obter uma modelagem mais acurada da sensação de Rugosidade, como em análises de sons digitais no tempo, preferimos a função de Parncutt (1993), e não descartamos as Curvas de *Iso-Loudness*.

Maiores implicações desse estudo serão revisitados no decorrer da dissertação. O Anexo III traz ainda mais detalhes desse modelo de Rugosidade ao apresentar sua implementação em *Puredata*. Partimos desse modelo para analisar Sistemas de Afinação no Capítulo 3 e também como elemento fundamental em um Processo Criativo (vide subseção 4.4). Na sequência deste segundo Capítulo, retomamos a discussão sobre percepção de consonância e dissonância focando princípios psicoacústicos, relacionados à percepção de altura (subseção 2.2.2) e intervalos musicais (subseção 2.2.3).

### **2.2.2 – Percepção de Altura e Tons Musicais**

Complementamos, nesta subseção, a discussão sobre Dissonância Psicoacústica com outras pesquisas – Stumpf (1890), Terhardt (1974), e Huron (2001). Esses trabalhos tratam do fenômeno da percepção de consonância em processos cognitivos superiores aos mecanismos fisiológicos do ouvido, e também colaboram na explicação do fenômeno da percepção de um tom musical complexo como uma altura definida.

Começando com o Volume II de seu trabalho seminal *Tonpsychologie* (1890), o psicólogo Carl Stumpf vê na percepção de tons complexos a base para consonância musical. Stumpf propõe uma teoria de Fusão Tonal (*Verschmelzung*), que liga a sensação de consonância com a sensação de ouvintes perceberem dois tons como uma entidade única. A noção dessa sensação é antiga, e já foi descrita por Arquitas de Tarento. A Teoria de Stumpf foi insuficiente para dar conta da percepção de consonância musical. Todavia, seu trabalho foi explorado no século XX em estudos que consideraram a Fusão Tonal como um fenômeno psicoacústico/cognitivo. O experimento de Stumpf contou com indivíduos sem treinamento musical e, mais uma vez, tons puros. Os estímulos de dois tons senoidais, em intervalos musicais diferentes, foram avaliados como: um único som, ou dois

sons distintos. As respostas erradas (um único som) apontam para o conceito de Fusão Tonal (vide Tabela 2.3).

**Tabela 2.3** – Resultados de Stumpf (1890).

<b>Intervalo</b>	Oitava	Quinta	Quarta	Terça	Tritono	Segunda
<b>% de Erro</b>	75%	50%	33%	25%	20%	10%

Foi com esses resultados que Stumpf definiu graus de consonância, baseado na possibilidade da Fusão Tonal de um intervalo, sendo esse um processo psicológico independente dos mecanismos fisiológicos relacionados à percepção de Rugosidade (como a Banda Crítica). O experimento de Stumpf sugeriu que a possibilidade de Fusão Tonal corresponde às proporções de números inteiros pequenos (Modelo Pitagórico), mesmo em tons senoidais, ao contrário do conceito de Dissonância Sensorial de Plomp e Levelt (1965), que afere um valor mínimo de dissonância para tons senoidais separados por um intervalo musical maior que a Banda Crítica, independentemente das relações numéricas.

Em seus trabalhos seguintes, especialmente em *Die Sprachlaute* (1926), Stumpf demonstrou uma incerteza sobre a consonância musical depender do fenômeno de Fusão Tonal. Em essência, Stumpf manteve uma posição que, se não em total acordo com Helmholtz, pelo menos teve sua base no mesmo legado de Acústica e Fisiologia, e a Teoria de Fusão Tonal foi tida pela comunidade científica como um fracasso para explicar a origem da consonância musical sob um ponto de vista empírico. Não obstante, o trabalho de Stumpf não foi completamente descartado como um fenômeno psicoacústico/cognitivo, e ecoou em estudos como o trabalho de Terhardt (1974) sobre a percepção de altura de tons musicais.

Stumpf, todavia, não propôs que um intervalo fundido fosse, necessariamente, percebido como um tom musical, e descreveu essa propriedade de um tom complexo harmônico ser percebido como um único som por meio do conceito Gestaltiano da Totalidade<sup>23</sup>. O mesmo conceito foi posteriormente incorporado no trabalho de Terhardt. Ernst Terhardt, em *Pitch, Consonance and Harmony* (1974), afirma que o conceito de Dissonância Sensorial, apesar de ser consistente e de definir um aspecto psicoacústico de dissonância, explica pouco do fenômeno da Consonância Musical, e apresenta seu estudo sobre percepção de altura como um complemento, assim como uma revisão do conceito de Fusão Tonal e outras diversas implicações perceptivas.

---

<sup>23</sup> A Teoria da Gestalt afirma que não se pode ter conhecimento do todo pelas partes, e sim das partes pelo todo; que os conjuntos possuem leis próprias e estas regem seus elementos (e não o contrário, como se pensava antes); e que só por meio da percepção da totalidade é que o cérebro pode, de fato, perceber, decodificar e assimilar uma imagem ou um conceito.

A definição da ANSI<sup>24</sup> de terminologia psicoacústica diz que: “*Altura* é o atributo auditivo do som, de acordo com o qual, sons podem ser ordenados em uma escala do grave ao agudo”. Terhardt completa essa definição afirmando que um som pode evocar mais de uma única altura, desde que não seja um tom senoidal. Entretanto, para tons complexos harmônicos produzidos por instrumentos musicais convencionais, uma sensação de altura (correspondente à fundamental do tom musical) é mais proeminente e dita como a “altura” do tom. Terhardt separa a percepção de altura de um tom senoidal da percepção de altura de um tom complexo, denominados, respectivamente, *Spectral Pitch* (i.e. Altura Espectral) e *Virtual Pitch* (i.e. Altura Virtual).

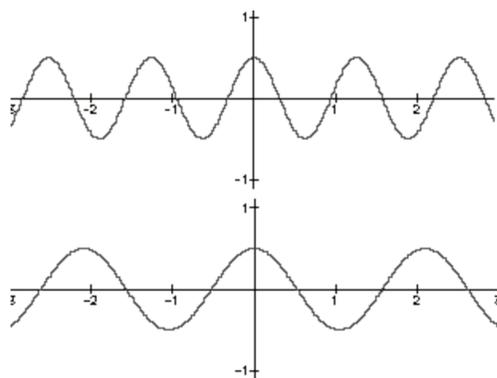


Figura 2.17 – dois tons puros na relação harmônica de [5:3], enquanto uma vibração oscila 5 vezes, a outra oscila 3 vezes

A percepção de *Virtual Pitch*, segundo Terhardt, é ocasionado pelo sistema auditivo ser sensível à periodicidade. A periodicidade da somatória de dois tons depende de relações harmônicas entre eles, como, por exemplo, na relação harmônica entre 5 e 3. Essa implica que, enquanto o ciclo de uma oscilação ocorre cinco vezes, no mesmo período, a outra ocorre três (ver Figura 2.17). A periodicidade da somatória desses dois tons periódicos, em Hertz, corresponde ao máximo divisor comum (MDC) entre eles. Por exemplo, a somatória de dois tons senoidais com valores de 300Hz e 500Hz (ou seja, na relação harmônica de 5 para 3) forma uma onda sonora resultante periódica em 100hz, seu MDC (ver Figura 2.18).

O Máximo Divisor Comum, entre componentes espectrais harmônicos, sempre corresponde a uma fundamental, ou um primeiro termo de uma Série Harmônica, que comporta ambos componentes como termos dela. Por exemplo, 1.200Hz e 2.000Hz têm um Máximo Divisor Comum em 400Hz. A frequência de 400Hz representa o primeiro termo dessa Série Harmônica, enquanto que 1.200Hz e 2.000Hz são, respectivamente, os termos 3 e 5 ( $1.200 \div 400 = 3$ ,  $2.000 \div 400 = 5$ ).

<sup>24</sup> Vide <[http://pt.wikipedia.org/wiki/American\\_National\\_Standards\\_Institute](http://pt.wikipedia.org/wiki/American_National_Standards_Institute)>.

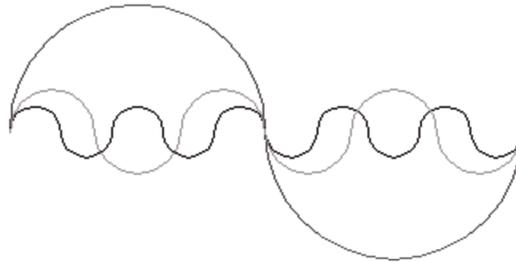


Figura 2.18 – dois componentes espectrais na relação harmônica de [5:3] e a periodicidade dessa superposição em 1.

O MDC de uma relação harmônica corresponde à periodicidade da mesma, e pode ser considerado uma espécie de “*subarmônico*”, porque se trata de um componente espectral mais grave que, eventualmente, não está presente nos parciais analisados. Essa frequência subarmônica, além de ser o primeiro termo de uma Série Harmônica, corresponde à percepção de Altura no conceito de Altura Virtual (*Virtual Pitch*).

Em linhas gerais, o conceito de *Virtual Pitch*, desenvolvido por Terhardt (1974), afirma que, quando o componente espectral correspondente ao primeiro termo da Série Harmônica não está presente no tom complexo, o sistema auditivo tem como reconstituir a percepção desse subarmônico por ser sensível à periodicidade. Essa análise temporal é um mecanismo diferente do mapeamento coclear de Békésy (1960), que explica apenas a percepção de Alturas Espectrais (*Spectral Pitches*). É óbvio que quanto menor forem os termos, mais sensível o sistema auditivo é para a periodicidade, de modo que os termos [3 – 5 – 15] apresentam uma dificuldade bem maior para o ouvido encontrar a periodicidade no seu MDC (ver Figura 2.19).



Figura 2.19 – superposição de relações harmônicas em [3 – 5 – 15], cuja complexidade dificulta a cognição de sua periodicidade.

*Virtual Pitch* [TERHARDT 1974] revisa o conceito de *Residue Pitch* (i.e. Altura Residual) de Schouten (1940), que expõe o fenômeno de um tom complexo harmônico, cuja fundamental está ausente, evocar uma altura que corresponde, mesmo que precariamente, à altura dessa fundamental. A percepção de altura de um tom complexo, no conceito de *Virtual Pitch*, não depende apenas do conteúdo espectral, mas sim de mecanismos cognitivos de ordem superior. Terhardt afirma que esse mecanismo é um fato científico que pode ser comprovado em uma simples conversa de telefone,

uma vez que o registro de transmissão do telefone corta a fundamental da fala humana masculina e, mesmo assim, mantemos a percepção de altura dessa sonoridade. Segundo Terhardt<sup>25</sup>:

“Na vida real, percepção de Altura Virtual está longe de ser um fenômeno raro e exótico, ou ainda um tipo de ilusão. Pelo contrário, percepção de Altura Virtual é mais uma regra do que uma exceção (...) qualquer tipo de som, não importa como foi criado, estimulará o mecanismo auditivo de Altura Virtual a olhar por Subarmônico que correspondam a uma possível altura fundamental (...) periodicidade é uma forte pista para um objeto sonoro (...) é assim que a teoria de Altura Virtual dá conta da determinação de altura e segregação de objetos sonoros. (...) Altura Virtual é um rótulo que caracteriza um certo tipo de objeto sonoro, os chamados periódicos, incluindo “supostos” periódicos. Segregação e identificação de objetos sonoros é naturalmente uma das funções fundamentais de qualquer órgão da escuta.”

Terhardt (1974) conecta o conceito de *Virtual Pitch* ao da Totalidade da psicologia Gestaltiana, que depende de um processo de aprendizado prévio (Lei Gestaltiana da Experiência Passada). O aprendizado prévio do modelo de componentes espectrais harmônicos como um conjunto único, segundo Terhardt, explica-se por ser essencial na habilidade de identificar sons da fala, formada por relações harmônicas. Segundo Terhardt<sup>26</sup>:

“Por diversas décadas, altura tem sido subestimada; primeiramente no que tange sua importância em comunicação auditiva; e, por segundo, no que diz respeito às dificuldades em compreender sua percepção. No que concerne à comunicação auditiva, foi claramente compreendido que, em música, altura é a mais importante “portadora de informação”. Entretanto, pouca atenção foi dada à possibilidade de que também na “vida ordinária”, i.e., em comunicação pela fala, e em análise auditiva e reconhecimento de uma imensa variedade de sons impingindo sobre nossos ouvidos na vida cotidiana, altura pudesse ser um elemento chave”.

Terhardt afirma que esse mecanismo cognitivo de integrar tons puros em uma percepção de uma altura implícita, mesmo quando a fundamental não está presente, corresponde ao modo em que contornos implícitos (Lei Gestaltiana da Boa Continuidade) podem ser constatados na visão (Figura

---

<sup>25</sup> Texto original disponível em <<http://www.mmk.ei.tum.de/persons/ter/top/virtualp.html>>: “*In real life perception of virtual pitch is far from being an exotic, rare phenomenon or even a kind of illusion. On the contrary, perception of virtual pitch is the rule rather than an exception. (...) any type of sound, no matter how it was created, will stimulate the auditory virtual-pitch mechanism to look out for subharmonic pitch matches (...) this is the method by which the auditory system detects periodicity (...) periodicity is a strong clue to a sound object (...) This is how the virtual-pitch theory accounts for both pitch determination and sound-object segregation. (...) virtual pitch is a label that characterizes a certain type of sound objects, namely periodic ones, including "supposedly" periodic ones. And segregation and identification of sound objects naturally is one of the fundamental functions of any hearing organ.*”

<sup>26</sup> Texto original disponível em <<http://www.mmk.ei.tum.de/persons/ter/top/pitch.html>>: “*For many decades, pitch has been underrated; firstly, regarding its importance in auditory communication; and secondly, regarding the difficulties of understanding its perception. Where auditory communication is concerned, it was of course throughout acknowledged that in music pitch is the most important "carrier of information". However, little attention was paid to the possibility that also in "ordinary life", i.e., in speech communication, and in auditory analysis and recognition of the huge variety of sounds impinging on our ears in daily life, pitch could be a key element.*”

2.20). Dessa maneira, um conjunto de componentes espectrais harmônicos evoca a percepção de uma altura fundamental que, mesmo ausente, pode ser “completada” por processos cognitivos. A percepção *Virtual Pitch*, ligada ao conceito de periodicidade, como elemento chave na segregação e identificação de diferentes objetos musicais, implica que podemos agregá-los também em relações harmônicas, ou seja, relações de números inteiros – tão ditas consonantes.

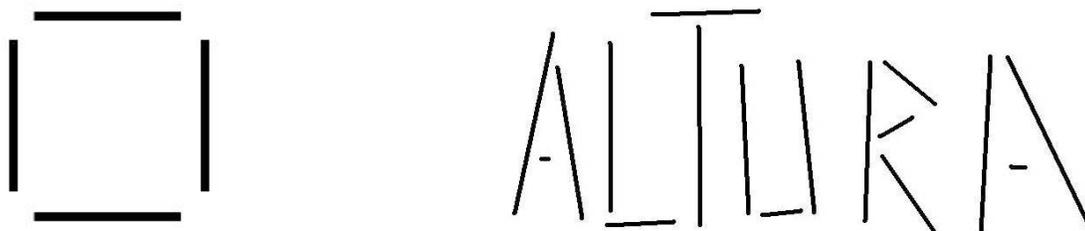


Figura 2.20 - Princípio da Boa Continuidade. Percebemos um quadrado mesmo quando as quinas não estão presentes. Assim como a palavra “ALTURA”, apesar de seus contornos incompletos.

O fenômeno da percepção de tons complexos harmônicos como uma altura única define a qualidade de um tom musical. Essa qualidade perceptiva tem sido discutida e alguns termos têm sido apresentados para denominá-la e defini-la. Huron (2001) usa o termo *Toneness*, que pode ser descrito como um termo psicoacústico para “Clareza da Percepção de um Tom Musical”, ou seja, a qualidade de um tom complexo harmônico evocar uma sensação subjetiva clara de altura, e expõe uma maneira de medi-lo, a partir do *Virtual Pitch*. Segundo Huron (2001):

“A clareza da percepção de alturas tem sido simulada, sistematicamente, em um modelo de percepção de altura formulado por Terhardt, Stoll e Seewan (1982a, 1982b). Para ambos os tons puros e complexos, o modelo calcula um *peso de altura*, que pode ser entendido como um *índice* da clareza de altura e, portanto, uma medida de *toneness*. Para alturas evocadas por tons puros (tão-chamados *alturas espectrais*), a sensibilidade é mais aguçada na região de *dominância espectral* – ampla região próxima de 700Hz. Alturas evocadas por tons complexos (tão-chamados *alturas virtuais*), tipicamente, denotam o maior *peso de altura* quando a altura evocada, ou a fundamental verdadeira, encontra-se em uma ampla região, centrada próxima de 300Hz – mais ou menos Ré, logo acima do Dó central (C4) (Terhardt, Stoll, Schermbach, & Parncutt, 1986) (...). Imagens auditivas fortes são evocadas quando tons exibem um alto grau de ‘toneness’. Uma impressão clara de um tom musical (como uma imagem nítida) possui um alto grau de ‘toneness’, e uma impressão difusa possui um grau baixo de ‘toneness’. Uma medida útil de ‘toneness’ é provida pelo ‘peso de altura’. Tons possuindo os maiores ‘pesos de altura’ são tons complexos harmônicos centrados na região entre F2 e G5. Tons que possuem parciais inarmônicos produzem percepções de Alturas Virtuais que competem entre si, e então evocam imagens auditivas mais difusas.”<sup>27</sup>

<sup>27</sup> “The clarity of pitch perceptions has been simulated systematically in a model of pitch formulated by Terhardt, Stoll and Seewann (1982a, 1982b). For both pure and complex tones, the model calculates a pitch weight, which may be regarded as an index of the pitch's clarity, and therefore, a measure of toneness. For pitches evoked by pure tones (so-called "spectral pitches"), sensitivity is most acute in the spectral dominance region -- a broad region centered near 700 Hz. Pitches evoked by complex tones (so-called "virtual pitches")

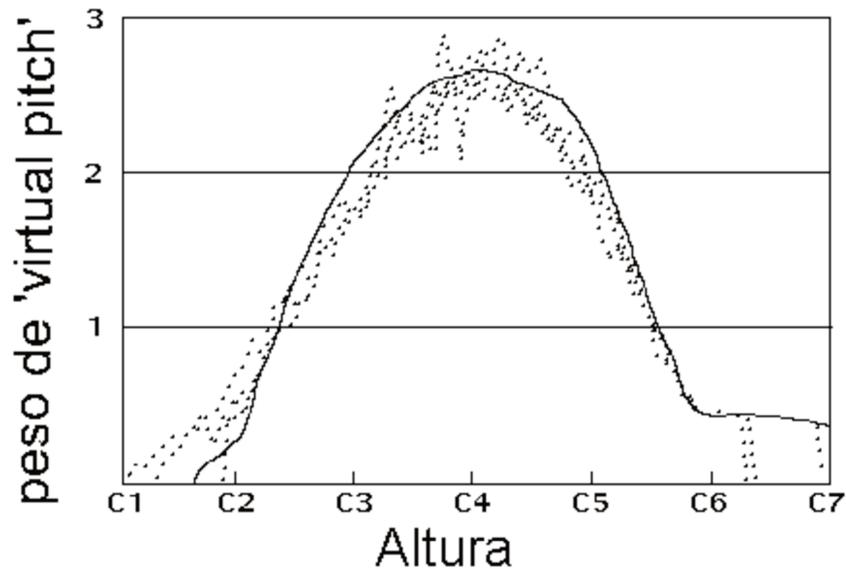


Figura 2.21 – *Peso de Altura Virtual* [HURON 2001]. Curva interpolada pelo método dos mínimos quadrados.

A relação entre números inteiros pequenos – tão ditos intervalos harmônicos – e consonância foi abordada neste Capítulo por visões complementares. No conceito de *Toneness*, tons complexos formados por componentes espectrais em relações de números inteiros pequenos estimulam o sistema perceptivo a evocar uma sensação nítida de altura. Tais tons complexos são gerados pelos modos vibração de instrumentos musicais (chamados de tons musicais e, eventualmente, periódicos). Por fim, tons musicais possuem relações de consonância em intervalos formados também por proporções de números inteiros pequenos. Esse fenômeno é relacionado com o alinhamento de parciais em intervalos harmônicos – princípio da Rugosidade/Dissonância Sensorial – (vide Figura 2.9).

É comum o uso de tons complexos harmônicos na música ocidental, o que se dá pela clara percepção de altura que eles evocam, e o fato do parâmetro Altura ter obtido um peso muito importante na sistematização musical de nossa cultura. Sistemas de Afinação são um reflexo disso, pois são sistematizações de alturas ligadas, em grande parte, ao objeto sonoro de um tom complexo

---

*typically show the greatest pitch weight when the evoked or actual fundamental lies in a broad region centered near 300 Hz -- roughly D4 immediately above middle C (Terhardt, Stoll, Schermbach, & Parncutt, 1986) (...)*

*Strong auditory images are evoked when tones exhibit a high degree of toneness. A clear impression of a musical tone (akin to a sharp image) has a high degree of toneness, and a diffuse impression has a low degree of toneness. A useful measure of toneness is provided by virtual pitch weight. Tones having the highest virtual pitch weights are harmonic complex tones centered in the region between F2 and G5. Tones having inharmonic partials produce competing virtual pitch perceptions, and so evoke more diffuse auditory images."*

harmônico. Assim sendo, na medida em que os objetos sonoros se valem de conteúdos espectrais que promovem um *Toneness* baixo – como é o caso de instrumentos de percussão com componentes inarmônicos ou ainda ruidosos (vibrações extremamente complexas) – a sistematização de uma afinação pode deixar de ser pertinente. Esse quadro é nítido na música concreta, ou ainda eletrônica e eletroacústica que, em muitos casos, utilizam outros parâmetros sonoros, e acabam por descartar a sistematização de alturas em escalas fixas.

A relação entre Sistema de Afinação e tom musical abarca a idéia de um conjunto de alturas e intervalos musicais como base para a construção de relações entre tons complexos harmônicos (tons musicais). Essas relações – aqui definidas como “tonais” (não no sentido de sistema tonal, mas sim de relações entre tons musicais) – implicam na construção de relações tendo como paradigma o modelo de relações harmônicas de um tom musical (a Série Harmônica), a partir do qual se pode convergir ou divergir. Relações entre tons musicais complexos que convergem para relações harmônicas, como uma Oitava ou uma Quinta, promovem uma Fusão Tonal, favorecem a percepção de um *Virtual Pitch*, possuem um alto *Toneness*, geram uma consonância ou uma harmonia, eliminam a Dissonância Sensorial pelo alinhamento de parciais – para citar alguns conceitos ilustrados neste trabalho. A divergência do modelo da Série Harmônica, em contrapartida, promove uma dissonância, um desacordo (imagens auditivas e *Virtual Pitches* que “competem” entre si, um baixo *Toneness*, etc.). Logo, o modelo da Série Harmônica é, de fato, um modelo chave relacionado a mecanismos físicos, sensoriais e cognitivos.

### **2.2.3 Percepção de Intervalos Musicais**

Temos dito, até então, extensivamente, que intervalos harmônicos são proporções de números inteiros pequenos. Um conceito mais geral define intervalos musicais como razões entre alturas, nesta subseção, discutimos como percebemos intervalos musicais e o modo que correspondem às relações proporcionais entre alturas.

Sendo um intervalo musical definido como uma proporção entre alturas, ou uma mesma razão, se dividirmos o intervalo de Oitava [2:1] entre 200Hz e 400Hz aritmeticamente, temos o valor de 300hz, que forma uma progressão aritmética – como na Série Harmônica [200, 300, 400]. Todavia, essa divisão não resulta em proporções iguais – ou, conseqüentemente, em intervalos iguais – pois a razão do intervalo musical entre 200Hz e 300Hz ([3:2] – Quinta) é diferente da proporção do intervalo musical entre 300Hz e 400Hz ([4:3] – Quarta). Uma divisão em intervalos/razões iguais ocorre na Divisão Geométrica. Logo, para dividirmos o intervalo da Oitava [2:1] em duas partes proporcionalmente iguais, temos que extrair sua raiz quadrada que, no caso, é

raiz quadrada de dois ( $[2:1] = 2$ ). Isso exemplifica como a percepção de intervalos musicais não é um fenômeno linear em relação à escala física de frequências. Por causa de sua relação proporcional, a percepção de intervalos musicais ocorre em uma escala logarítmica/geométrica (vide mais informações no Anexo V.2).

Antes de qualquer coisa, é imprescindível reafirmar a importância do conteúdo espectral na percepção de intervalos musicais. Sons inarmônicos dificultam a percepção de relações ditas “tonais” entre alturas, pois, como apresentado no conceito de *Virtual Pitch*, esses podem gerar mais de uma percepção de altura e possuem um baixo *Toneness*. Já para tons senoidais, a percepção de intervalos iguais corresponde, linearmente, em certo grau, aos mecanismos fisiológicos do ouvido interno [GREENWOOD 1961b], como na relação entre o mapeamento de coordenadas da membrana basilar e as correspondentes frequências em Hertz [Békésy 1960] (vide Figura 2.4 e 2.5). Por fim, a percepção de intervalos musicais, como razões fixas entre alturas, está relacionada ao conteúdo espectral de tons musicais, ou ainda pela percepção de altura que esse tipo de tom complexo evoca – uma vez que tons musicais possuem relações entre componentes espectrais de razões definidas (harmônicas).

A estrutura harmônica de um tom complexo é definida por relações presentes no modelo da Série Harmônica. Intervalos musicais nessas podem definir um aspecto de “afinidade” entre tons. Tal aspecto é uma das implicações do conceito de *Virtual Pitch*, e significa que tons podem ser percebidos como similares, de modo que um tom pode ser substituído por outro ou ainda confundido com ele. Essa similaridade diz respeito às semelhanças entre as Séries Harmônicas dos tons musicais, ou, também, à correspondência entre componentes espectrais de tons distintos a uma Série Harmônica em comum, que é, enfim, o mecanismo cognitivo explicado pelo conceito de *Virtual Pitch*. Esse conceito de afinidade pode ser aplicado ao intervalo de Oitava (razão de  $[2:1]$ ) e, em grau menor, para o intervalo de uma Quinta (razão de  $[3:2]$ ).

Esse aspecto é claramente exposto na sistematização de alturas em Oitavas, referidas pelo mesmo nome, como os vários “Dós” em um piano. A idéia de que alturas distribuídas em intervalos de Oitavas demarcam pontos equivalentes é o mesmo princípio do conceito de *Chroma* e *Pitch Class*, e esse fator perceptivo de afinidade entre tons influencia a percepção igual para intervalos distribuídos em uma escala logarítmica na base 2, ou seja, uma escala de Oitavas, que é uma Progressão Geométrica de razão 2 (por exemplo: 100Hz, 200Hz, 400Hz, 800Hz, etc.). Não somente restrito a Oitavas, esse mesmo princípio contribui para que intervalos com a mesma razão sejam percebidos como os “mesmos” intervalos, por possuírem a mesma relação proporcional entre as Séries Harmônicas. De modo que a grande chave na percepção de intervalos musicais está na Séries Harmônicas.

Pela dita *Equivalência da Oitava*, representamos a escala de intervalos musicais em uma escala logarítmica de base 2. Porém, essa escala geométrica diz respeito apenas ao intervalo da Oitava e suas Divisões Geométricas, como o Temperamento Igual (Divisão Geométrica da Oitava em 12), ou ainda, como a escala em cents, já que 1 cent é uma Divisão Geométrica (proporcionalmente igual) do Semitom Temperado em 100, e da Oitava em 1.200.

Temos apresentado indícios de que a percepção de intervalos musicais está relacionada a um modelo de percepção de consonância e dissonância de tons musicais (complexos e harmônicos), que diz mais respeito ao conteúdo espectral de tons musicais que a fisiologia do mapeamento de frequências na membrana basilar (BÉKÉSY 1960). Antes de ser sensível a uma percepção logarítmica na base 2 de alturas, o ouvido analisa a mesma relação proporcional entre dois tons complexos. A fisiologia do ouvido interno, cuja relação com a frequência é dada pela Equação 2, corresponde, sim, à percepção de intervalos iguais para tons senoidais [GREENWOOD 1990], e não para tons musicais complexos.

Se bem que, segundo Greenwood (1990), o mapeamento coclear entre 400Hz e 7.000Hz é aproximadamente logarítmico na base 2. De modo que, pelo menos para esse registro da percepção de altura, o mapeamento de Békésy (1960) e intervalos musicais logarítmicos estão de acordo com a percepção de intervalos iguais para tons senoidais e, conseqüentemente, com a fisiologia da membrana basilar.

A fisiologia do ouvido explica a capacidade do sistema auditivo humano de discriminar alturas muito próximas. O limiar do menor intervalo entre frequências de tons puros é denominado de JND (*Just Noticeable Difference*), enquanto a Banda Crítica é correlacionada à capacidade do ouvido em distinguir tons simultâneos. O mecanismo fisiológico de JND e da Banda Crítica é o mesmo: a membrana basilar. Porém, a resolução para cada tipo de estímulo é diferente. No caso de JND, segundo Schubert e Parncutt (2006), para uma considerável porção do registro auditivo, humanos podem discriminar dois tons que difiram 3 Hz em frequência ou menos, (ver figura 2.22).

O grau de sensibilidade para mudanças de frequências, ou capacidade de resolução de frequências, depende do registro, intensidade e duração do tom em questão. Também depende do método de medida empregado e varia muito, de pessoa para pessoa, em função do treinamento musical [TERVANIEMI 2005]. Todavia, uma simples percepção de mudança mínima de frequência não implica a percepção de intervalos musicais diferentes, e pode ser percebida como uma pequena modulação de altura, tal qual um vibrato.

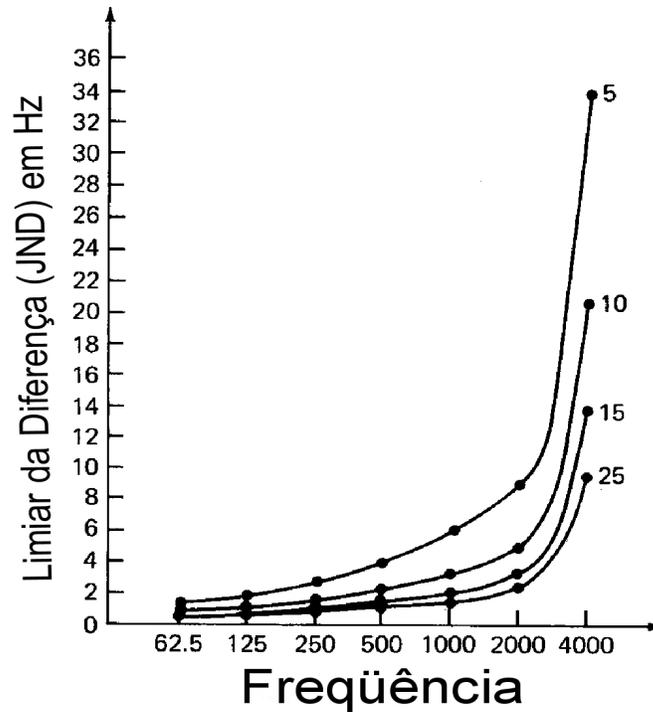


Figura 2.22 – (JND) de Altura em função da frequência para quatro níveis diferentes de *Loudness* [SCHUBERT; PARNCUTT 2006].

JND, na verdade, conta mais para um aspecto de Entonação, que, em Afinação, diz respeito a pequenas variações de altura ainda detentes da qualidade de estarem no mesmo espaço “categórico”. A Percepção Categórica, em Psicologia, nasce com o trabalho de Miller (1956) e pode ser exemplificada na percepção de cores, como as diferentes gradações de um vermelho que ainda detém a qualidade de ser “vermelho”. Segundo Schubert e Parncutt (2006), a variação de uma altura em torno de um Quarto de Tom (50 cents) ainda está no limite de uma percepção categórica de alturas, e os autores apresentam uma outra Percepção Categórica para tons afinados entre si, que varia entre 10 e 30 cents. Ambos os limites dessas duas percepções categóricas diminuem quando o tempo da música é mais lento (tons mais longos), quando há menos vibrato, e o sistema de afinação empregado é mais familiar e exato (música de Piano solo, por exemplo).

Dessa maneira, pequenas variações microtonais (de até 50 cents), nas proporções de intervalos como Terças Maiores ou Terças Menores, não descaracterizam a percepção do intervalo como um tipo de “Terça”. Ivor Darreg (1947) reitera e afirma que o menor intervalo musical passível de ser utilizado, em música, é o Quarto de Tom. Não obstante, Sistemas de Afinação podem incluir intervalos ainda menores que o Quarto de Tom. Porém, a sistematização de tal conjunto de intervalos é elaborada, principalmente, para a construção de harmonias, que

corresponde a uma percepção de consonância e dissonância, e não uma utilização de microtons “por si mesmos”.

A discriminação de alturas está relacionada ao JND e Percepção Categórica de intervalos. A classificação e percepção de diferenças de alturas em intervalos musicais como proporções fixas, entretanto, não diz respeito apenas aos mecanismos fisiológicos do ouvido interno. Intervalos musicais são percebidos como proporções fixas por princípios psicoacústicos e perceptivos de consonância e dissonância, como Dissonância Sensorial e *Virtual Pitch*, ligados, por sua vez, às relações entre os parciais de tons musicais.

Segundo Huron (2001), os conceitos de Dissonância Sensorial e Fusão Tonal (ligada ao conceito de *Virtual Pitch*) podem ser usados para iluminar a terminologia musical tradicional de intervalos musicais. Huron analisa os intervalos do Sistema Temperado (que não correspondem às relações de números inteiros como demonstramos no Anexo I *Afinação Justa*). Nas palavras de Huron (2001):

“Teóricos musicais tradicionalmente distinguem três classes de intervalos harmônicos: consonâncias perfeitas (tais como Uníssonos, Oitavas, Quartas e Quintas), consonâncias imperfeitas (tais como Terças e Sextas Maiores e Menores), e dissonâncias (tais como segundas e sétimas maiores e menores e o trítone). Esses tipos de intervalos podem ser classificados de acordo com o critério de Dissonância Sensorial e Fusão Tonal. Consonâncias perfeitas exibem tipicamente Dissonância Sensorial baixa e Fusão Tonal alta. Consonâncias imperfeitas têm baixa Dissonância Sensorial e comparativamente baixa Fusão Tonal. Dissonâncias exibem alta Dissonância Sensorial e baixa Fusão Tonal. (Não há intervalo no sistema temperado que exiba alta Dissonância Sensorial e alta Fusão Tonal, apesar desse efeito poder ser gerado usando Uníssonos, Oitavas ou Quintas desafinados grotescamente.)<sup>28</sup>.”

Os princípios perceptivos e psicoacústicos de afinação, discutidos neste Capítulo, mostram que esse estudo depende de mecanismos físicos, psicofísicos e cognitivos, além do fator cultural (principalmente no que diz respeito ao treinamento musical). Este estudo serve de complemento para a compreensão da construção e elaboração de Sistemas de Afinação (vide Anexos I e II), e compreende a pesquisa sobre discriminação de alturas, percepção de tons musicais, e percepção de consonância e dissonância [itens A, B e C da Tabela 2.1].

---

<sup>28</sup> “*Music theorists traditionally distinguish three classes of harmonic intervals: Perfect Consonances (such as perfect unisons, octaves, fourths, and fifths), Imperfect Consonances (such as major and minor thirds and sixths), and Dissonances (such as major and minor seconds and sevenths, and tritones). These interval types can be classified according to the criteria of sensory dissonance and tonal fusion. Perfect consonances typically exhibit low sensory dissonance and high tonal fusion. Imperfect consonances have low sensory dissonance and comparatively low tonal fusion. Dissonances exhibit high sensory dissonance and low tonal fusion. (There are no equally-tempered intervals that exhibit high sensory dissonance and high tonal fusion, although the effect can be generated using grossly mistuned unisons, octaves, or fifths.)*”

Foi concluído, após este estudo, que Sistemas de Afinação (definidos como um conjunto de alturas) estão intimamente ligados ao conteúdo espectral de um som. A relação entre espectro sonoro e afinação será retomada já no próximo Capítulo. Sistemas de Afinação, tradicionalmente, estão vinculados a tons complexos musicais, e por isso relacionam-se com o modelo da Série Harmônica. Entretanto, tons complexos formados por relações não harmônicas, necessitam de Sistemas de Afinação elaborados para cada caso específico. Essa prática é consideravelmente rara, e tem como um grande exemplo a música de Gamelão de Java. Sistemas de Afinação, logo, se correlacionam fortemente com os tons ditos musicais e, conseqüentemente, com a percepção de altura nítida fornecida por eles.

Este capítulo apresentou estudos na área de Musicologia Sistemática Científica como meio de fundamentar o objeto de estudo, cujo caráter é, por natureza, abstrato e teórico. Em linhas gerais, podemos dizer intuitivamente que conceitos como afinado ou desafinado se correlacionam com os princípios psicoacústicos de consonância e dissonância aqui apresentados. O capítulo seguinte apresenta a relação entre Espectro Sonoro e Escala. Antes, todavia, é importante ter claro alguns conceitos apresentados no Anexo I *Afinação Justa*.

## CAPÍTULO 3:

### Escala e Conteúdo Espectral

---

"Because analogy is the law of all things ... things in this world could not be independent; indeed, of necessity, there had to be a certain relation between them."

— Plotinus (205 a.C. – 207 a.C), Terceiro Aeneid, II, 18.

No Capítulo Anterior (subseção 2.2.1.1 *Um Modelo de Rugosidade*) apresentamos o cálculo de Dissonância Sensorial como meio de medir a percepção de consonância a partir da interação entre parciais de um espectro sonoro. Conseqüentemente, podemos relacionar tal medida com Sistemas de Afinação. A possibilidade de se associar os fatores: A) Rugosidade, B) Afinação, e C) Conteúdo Espectral foi discutida por Sethares (2005). Todavia, há limitações quando um modelo de Rugosidade é relacionado diretamente com a afinação de instrumentos musicais por análises de seus espectros estáticos, pois – além de conterem fatores como transientes e formantes – tais espectros são, realmente, de natureza dinâmica, ou seja, variam seu conteúdo no tempo. Apesar de não ser um modelo ideal, partimos dele para estruturar nosso estudo, pois consideramos que o mesmo gerou resultados satisfatórios, tanto para análises, quanto fins composicionais posteriormente. Este Capítulo é justamente um breve panorama de como esse modelo pode ser utilizado como método analítico, e uma ferramenta que pode servir a fins composicionais posteriormente.

No primeira subseção (3.1 *Espectros Harmônicos de um a Seis Parciais*), procuramos mostrar, por meio de análises, como o ideal de Afinação Justa está relacionado com a minimização de Dissonância Sensorial para tons musicais, ou seja, como o conceito de derivar escalas de um espectro sonoro harmônico corresponde à Afinação Justa. Conseqüentemente, também demonstramos como o Limite de Afinação Justa depende da complexidade do conteúdo espectral. Em outras palavras, estudamos a influência do número de harmônicos nas Curvas de Dissonância Sensorial. Conceitos básicos e importantes para o estudo aqui apresentado encontram-se nos Anexos I e II. O Anexo IV traz uma análise a mais, que é complementar ao estudo aqui apresentado. Por fim, o Anexo V.2 – *Divisões da Corda* apresenta informações de outro procedimento de gerar escalas.

### 3.1 Espectros Harmônicos de um a seis parciais

Os gráficos gerados nesta subseção retratam o comportamento das Curvas de Dissonância Sensorial em relação ao número de componentes espectrais. É possível, assim, relacionar os parciais com as Curvas de Dissonância Sensorial e encontrar intervalos musicais como pontos mínimos na curva (i.e. vales), que correspondem ao alinhamento desses parciais. A seguir, relatamos este estudo a partir de ondas sonoras sintéticas em espectros sonoros harmônicos. Logo, as Curvas de Dissonância Sensorial associadas a essas formas de ondas servem como exemplo da relação entre espectro de tons harmônicos e Afinação Justa.

O objetivo é demonstrar, passo a passo, como espectros harmônicos geram pontos mínimos nas Curvas de Dissonância Sensorial em intervalos justos, ou ainda, avaliar a influência do número de harmônicos nas análises e reportar como o conceito de Limite da Afinação Justa se relaciona com a complexidade de um espectro sonoro. Expomos, aqui, formas de onda que variam de um a seis parciais harmônicos (correspondendo aos primeiros termos da Série Harmônica), cujas amplitudes decaem na taxa de 88%, formando a seqüência de valores de Amplitudes Relativas: 1.000 – 0.880 – 0.774 – 0.681 – 0.599 – 0.527 (ver Figura 3.1). Essa taxa de decaimento resulta em uma forma de onda parecida com a *dente-de-serra* (ver Figura 3.2). A diferença é que ela possui um pouco mais de energia nos parciais. As Curvas de Dissonância Sensorial foram elaboradas no registro de 500Hz a 1.030Hz. Enquanto um tom é mantido fixo, o outro tom varia em passos ascendentes de 1 cent. A curva possui 1.250 cents (pontos de valores de Dissonância Sensorial), o que equivale em cents a 12 Semitons mais um Quarto de Tom. A primeira forma de onda apresentada é uma *senóide* (tom puro), que possui um único parcial de amplitude relativa igual a 1.

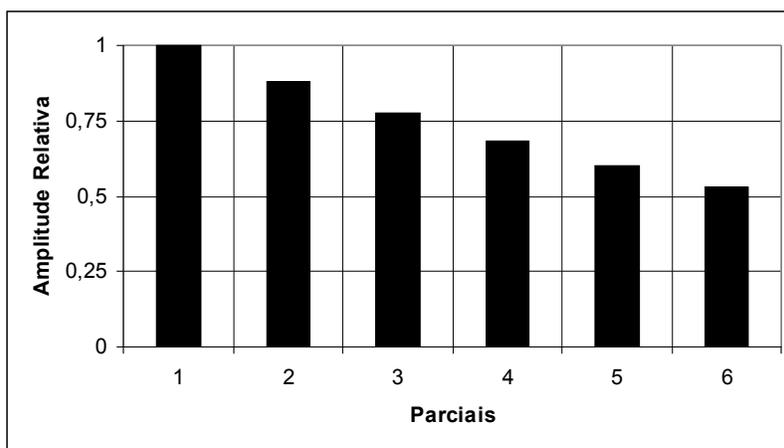


Figura 3.1 – Espectro sonoro harmônico com parciais que decaem na taxa de 88%.

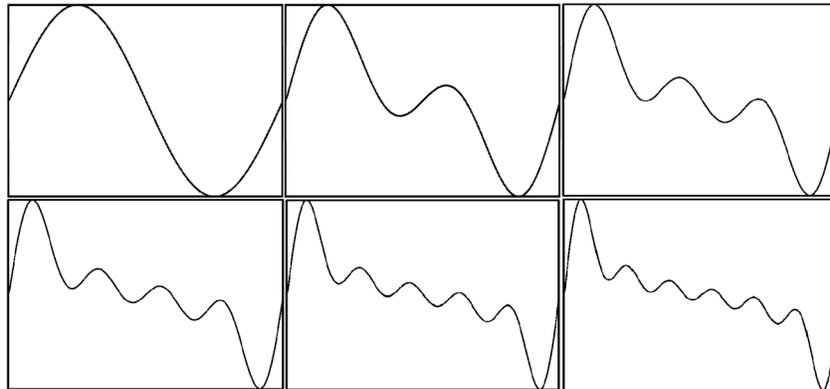


Figura 3.2 – Seguindo o Modelo da Figura 3.1, formas de onda de um a seis parciais, 1 a 3 da esquerda para a direita na linha de cima, e 4 a 6 na de baixo, de acordo com as amplitudes relativas da Figura 3.1.

O gráfico apresentado na Figura 3.3a mostra a Curva de Dissonância Sensorial, que retrata apenas a Dissonância Sensorial entre dois tons senoidais, sob influência da Banda Crítica (em torno de uma Terça Maior no registro de 500Hz) tal qual apresentado, no Capítulo 2, na Figura 2.13. Quando o intervalo musical excede a faixa de frequência da Banda Crítica, um nível mínimo de Dissonância Sensorial se estabiliza.

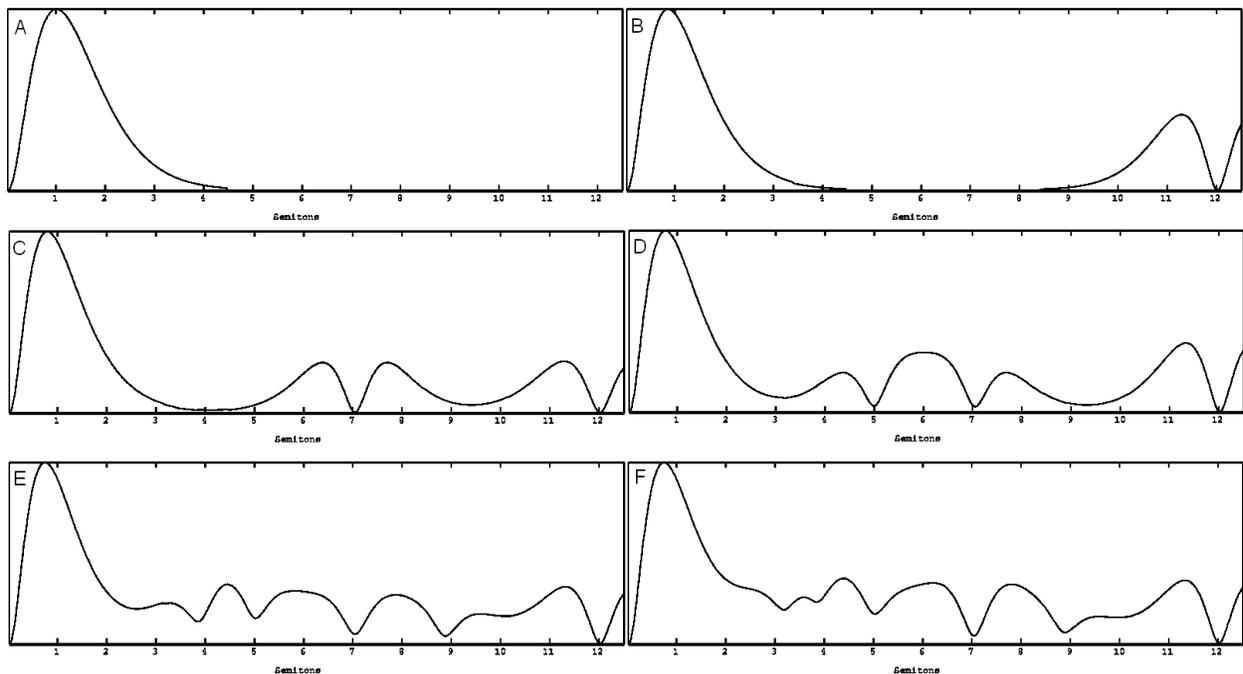


Figura 3.3 – Curvas de Dissonância Sensorial de um a seis parciais. Dissonância Sensorial na Vertical, e Semitons na horizontal.

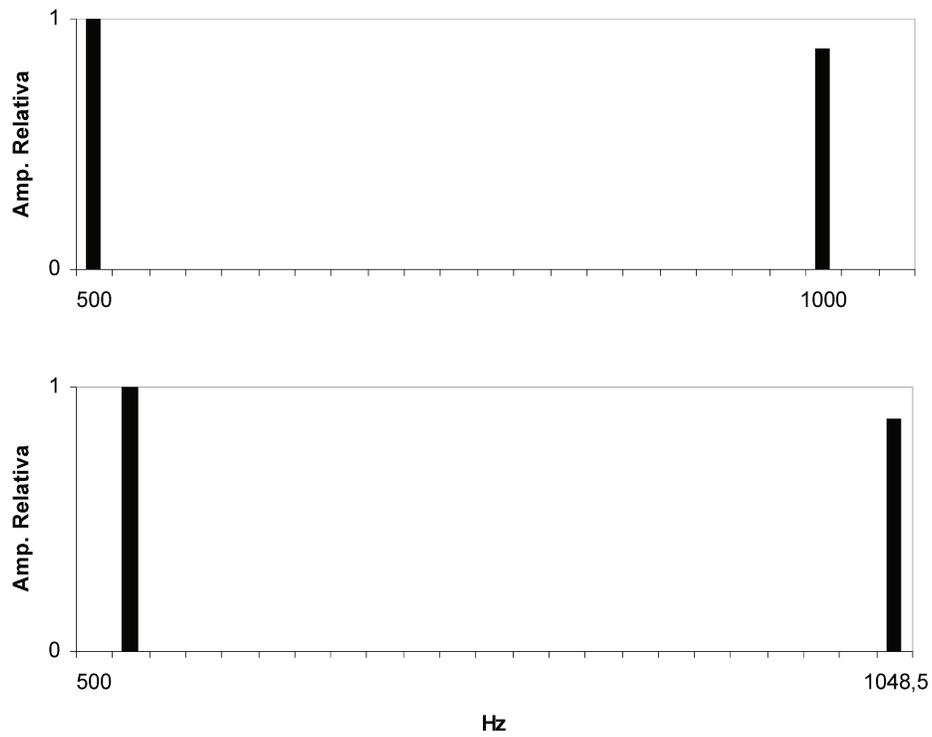


Figura 3.4 – Interação dos parciais no pico de 82 cents da Figura 3.3b. Ambos os parciais estão sob influência da banda crítica.

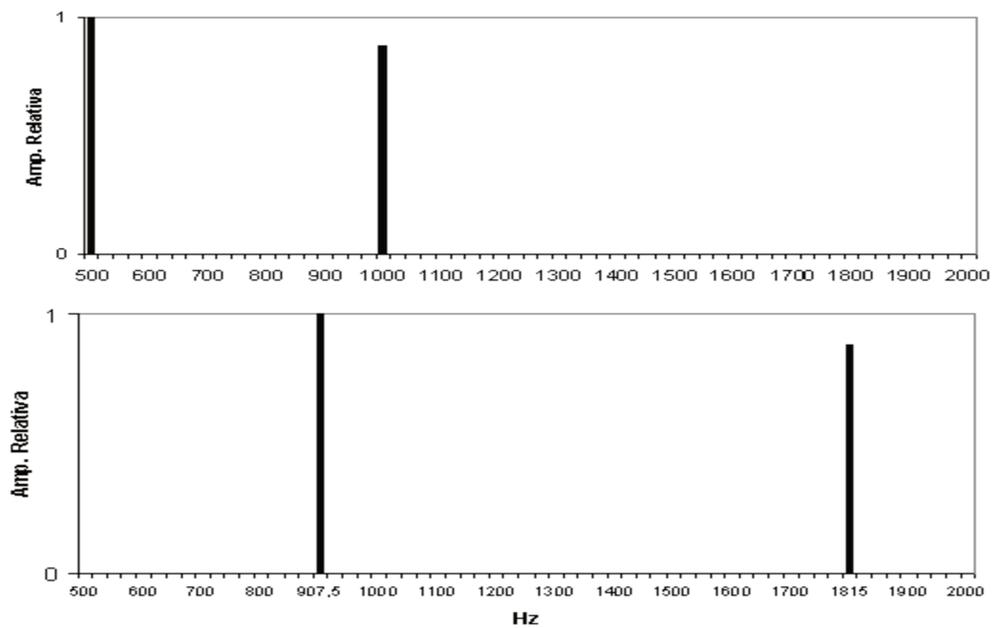


Figura 3.5 – Interação entre o segundo parcial de um tom com o primeiro parcial de outro tom no segundo pico da Figura 3.3b.

Em 3.2b, o primeiro pico (intervalo de 82 cents) é maior que o segundo porque retrata a influência da Banda Crítica em ambos os pares de parciais neste intervalo (Figura 3.4), enquanto o segundo pico (intervalo de 1.032 cents) apenas representa a influência da Banda Crítica entre o segundo parcial do tom fixo e o primeiro parcial do tom variante (Figura 3.5). O vale (valor mínimo de dissonância da Curva), exatamente em 1.200 cents (intervalo da Oitava), ocorre pelo alinhamento dos parciais no intervalo justo de [2:1]. Já o registro entre 400 e 900 cents, livre de Dissonância Sensorial, explica-se pelo afastamento entre os parciais de ambos os tons, que ultrapassam O intervalo de frequência da Banda Crítica – apesar de não haver Dissonância Sensorial, a distribuição espectral em diversos pontos desse registro resulta em um som inarmônico. Sob o ponto de vista dos conceitos de Fusão Tonal, *Virtual Pitch* e *Toneness* (ver subseção 2.2), a percepção desse tom é mais dissonante/difusa que um tom complexo harmônico ([3:2] por exemplo).

Na Figura 3.3c, encontramos um novo vale em relação à 3.3b, que corresponde ao alinhamento dos parciais no intervalo justo de uma Quinta [3:2]. Pelo mesmo motivo já descrito, os dois trechos de dissonância mínima (entre 400 e 500 cents e entre 900 e 1.000 cents) se dão pelo afastamento dos parciais acima do valor de uma Banda Crítica, e não pelo alinhamento de parciais. As proporções desses intervalos justos indicam, de fato, como se dá o alinhamento dos componentes harmônicos. [3:2], por exemplo, indica um alinhamento entre o terceiro e o segundo harmônico – vide exemplo abaixo, cujas linhas representam os componentes em Hertz de dois tons na relação de [3:2], e o padrão, que se repete periodicamente, do alinhamento do terceiro harmônico da primeira linha com o segundo da segunda.

100	200	<b>300</b>	400	500	<b>600</b>
	150	<b>300</b>		450	<b>600</b>

O mesmo modelo se aplica a outros exemplos, de modo que, no intervalo de [4:3], há um padrão de alinhamento periódico do quarto harmônico de um tom e o terceiro de outro. Logo, quanto maior os números inteiros de uma razão (intervalo justo), menor a periodicidade, e menos relevante ou significativo é o alinhamento de parciais. Por consequência desse fator, menor é o contraste de um ponto mínimo nas análises em Curvas de Dissonância.

Dependendo do número de parciais harmônicos, os vales da Curva de Dissonância serão formados por intervalos justos dentro de um Limite específico (vide conceito de Limite no Anexo I.d). Tendo em vista o último exemplo de 3.3c, um espectro com três parciais harmônicos produz vales nas Curvas em intervalos justos no Limite-3. Os espectros sonoros exemplificados nesse

subseção variam progressivamente de um até seis parciais e, por isso, propiciam alinhamentos de parciais em intervalos até o Limite-5.

Uma discussão sobre a relevância musical na adoção de Limites-7 e superiores encontra-se no Anexo II.d, e implica um olhar sobre o conteúdo espectral de tons musicais que, por sua vez, está presente no Anexo IV. O espectro de diferentes instrumentos musicais varia muito em complexidade. Por ora, podemos dizer que esse último exemplo apresentado (3.3c, um tom complexo com três parciais harmônicos), apesar de extremamente simples, não difere muito do comportamento espectral da Flauta Doce (ver Figura 3.6, 3.7 e 3.8).

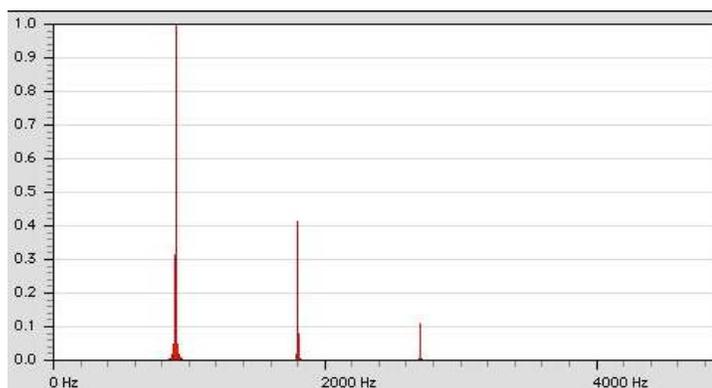


Figura 3.6 – Espectro sonoro do Lá central (440Hz) na Flauta Doce. Apenas os três primeiros parciais harmônicos se destacam nessa análise. Amplitude Relativa no eixo vertical, e eixo horizontal em Hertz.

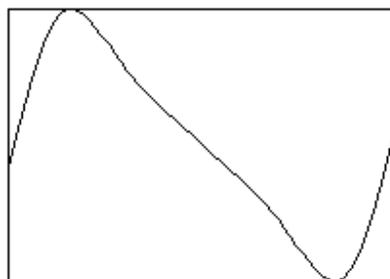
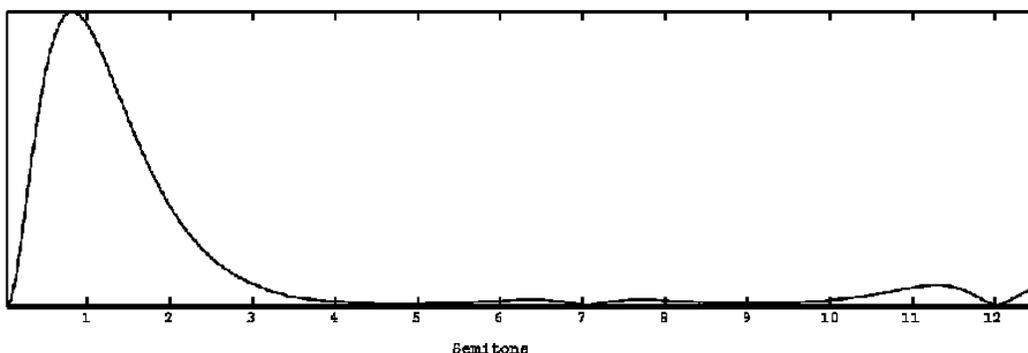


Figura 3.7 – Forma de onda do espectro sonoro da flauta doce, parciais em amplitude relativa: 1 – 0.4 – 0.1.

Todavia, mesmo no caso de um tom complexo o suficiente para promover alinhamento em intervalos justos no Limites-7, vimos que, dado os números inteiros relativamente grandes dessas proporções, o alinhamento de parciais que ocorre para esses intervalos é bem menos significativo. Na próxima subseção, veremos análises de espectros mais complexos. No caso do espectro da Flauta Doce, uma discussão sobre intervalos no Limite-5 e superiores é impertinente no que diz respeito ao alinhamento de parciais, mas pode estar em linha com a questão da periodicidade do sinal, relacionada ao conceito de *Virtual Pitch*.



3.8 - Curva da Flauta Doce

Progredindo na complexidade espectral destes exemplos, a forma de onda 4 gera um novo vale na curva que corresponde ao intervalo de Quarta [4:3] (vide Figura 3.3d). Entre o vale da Quarta Justa e da Quinta Justa há um pico, pois nesse pequeno registro de um Tom não há o afastamento de parciais acima de uma Banda Crítica, como ocorre em torno de 312 e 927 cents.

É fácil compreender, a partir destes exemplos, como espectros de tons musicais harmônicos promovem alinhamento de parciais em intervalos justos que são formados pelas relações numéricas desses parciais. Por exemplo, dois tons musicais harmônicos, que contêm somente os parciais correspondentes aos quatro primeiros termos da Série Harmônica, apenas propiciam alinhamentos de seus parciais nas relações numéricas de um a quatro: [1:1], [2:1], [3:2], [4:3], [3:1], [4:1] – que promove, por serem formadas até o número quatro, estão no Limite-3. Dessa maneira, a forma de onda 4 promove, dentro de um registro de uma Oitava, alinhamento de parciais apenas nos intervalos de Uníssonos [1:1], Quarta [4:3], Quinta [3:2] e Oitava [2:1]. Mesmo no caso de tons complexos com mais de 4 parciais harmônicos, ainda há um maior alinhamento (vales mais significativos) nesses intervalos (como vemos nas Figuras 3.3e e 3.3f).

Porém, isso não implica que um Sistema de Afinação Justa deva apenas conter esses intervalos. O procedimento comum para desenvolver Sistemas de Afinação é transpor essa mesma estrutura de intervalos em pontos como a Quinta [3:2] e a Quarta [4:3]. No caso do Limite-3, novos intervalos musicais surgirão como superposições de Quartas [4:3] e Quintas [3:2]. Um exemplo dessa estruturação de intervalos no Limite-3 é a Afinação Pitagórica, cuja escala diatônica (Dó-Ré-Mi-Fá-Sol-Lá-Si) é formada pelos seguintes intervalos [1:1 – 9:8 – 81:64 – 4:3 – 3:2 – 27:16 – 243:128] (vide Anexo II).

Em 3.3e, novos vales correspondem aos intervalos de [5:4] 386 cents e [5:3] 884 cents (Terça Maior e Sexta Maior respectivamente). A partir desse ponto de complexidade espectral (e energia de Amplitudes Relativas), não há mais regiões de dissonância mínima por afastamento dos parciais acima da Banda Crítica. Esses intervalos novos estão no Limite-5. Apenas esses vales ([1:1 – 5:3 – 4:3 – 3:2 – 5:3 – 2:1]) também são insuficientes para gerar uma escala diatônica. Essa

estrutura de intervalos pode ser decomposta em duas tríades maiores, uma a partir do tom inicial [1:1 – 5:4 – 3:2] e outra a partir da Quarta Justa [4:3 – 5:3 – 2:1] (ver Figura 3.9).

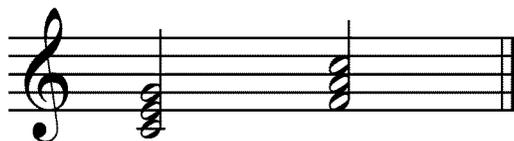


Figura 3.9 – A partir de uma fundamental [1:1] em Dó, a estrutura de uma tríade maior [1:1 – 5:4 – 3:2] no primeiro acorde (Dó – Mi – Sol), e transposta uma Quarta acima [4:3 – 5:3 – 2:1] no segundo (Fá – Lá – Dó).

Transposições dessa estrutura de tríades formam diversos Sistemas de Afinação no Limite-5. Se uma nova tríade for transposta uma Quinta acima, temos a tríade [3:2 – 15:8 – 9:8], e os novos intervalos de [15:8] e [9:8] no nosso Sistema de Afinação, que, incorporados no conjunto de intervalos dos vales da Curva, forma a escala diatônica de Zarlino no limite-5: [1:1 – 9:8 – 5:4 – 4:3 – 3:2 – 5:3 – 15:8 – 2:1] (Dó – Ré – Mi – Fá – Sol – Lá – Si – Dó)<sup>29</sup>.

Na figura 3.3f aparece um novo intervalo de [6:5], que não é um vale tão significativo<sup>30</sup>, porque ainda está sob certa influência da Banda Crítica, mas ainda promove, mesmo que de maneira singela, um alinhamento de parciais. Os vales dessa curva ainda estão no limite-5. Com a inclusão de um sétimo parcial no espectro sonoro, novos vales aparecerão no limite-7. A inclusão até o décimo parcial ainda gera apenas intervalos no limite-7. Exemplos com essa complexidade espectral serão abordados na subseção seguinte.

Esta subseção demonstrou como pontos mínimos nas Curvas de Dissonância Sensorial (i.e. vales) dependem do conteúdo espectral analisado. Nesse contexto, a Afinação Justa é um modelo que visa minimizar a Dissonância Sensorial de intervalos musicais para tons complexos harmônicos, pois em tons harmônicos há um alinhamento de parciais em intervalos justos. Também foi evidenciado que intervalos justos correspondem às relações numéricas de parciais harmônicos e, de fato, indicam o alinhamento desses próprios parciais. Por exemplo, [2:1] representa o alinhamento entre o 2º parcial de um tom com o 1º do outro tom, e esse padrão se repete como já foi descrito no Capítulo passado pela Figura 2.9.

### 3.2 Escalas de Ondas Quadradas

Os exemplos a seguir continuam a explorar as Curvas de Dissonância Sensorial como um meio de evidenciar a relação entre Sistemas de Afinação e Espectros Sonoros. Esta subseção

<sup>29</sup> O Anexo II *Apanhado Histórico* retoma o Sistema de Zarlino em um contexto histórico.

<sup>30</sup> Bons exemplos de vales significativos (que implica um nível baixo de dissonância sensorial em comparação com o registro em que se encontra) são os intervalos de [2:1] e [3:2] na Figura 3.3c.

também apresenta o conceito de gerar uma escala que corresponde aos vales das Curvas de Dissonância Sensorial a partir de espectros sonoros. Nesse caso, os exemplos são escalas de formas de ondas quadradas.

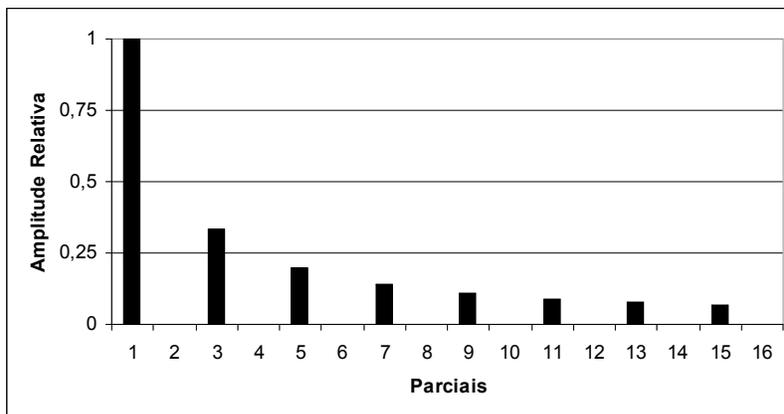


Figura 3.10 – Espectro Sonoro de uma onda quadrada com 16 parciais, apenas harmônicos ímpares possuem energia.

Analizamos espectros sonoros de ondas quadradas com 8, 12 e 16 parciais. Uma onda quadrada possui Amplitude Relativa igual a zero em parciais pares, e os parciais ímpares possuem Amplitudes Relativas que decaem na taxa de  $1/p$ , onde “p” corresponde ao número do parcial (ver Figura 3.10). Para as ondas formadas por 12 e 16 parciais, as Tabelas 3.1 e 3.2 dispõem, respectivamente, a Dissonância Sensorial em porcentagem relativa dos intervalos que representam os valores mínimos obtidos (i.e. vales), representados como razões de números inteiros (intervalos justos) e em cents.

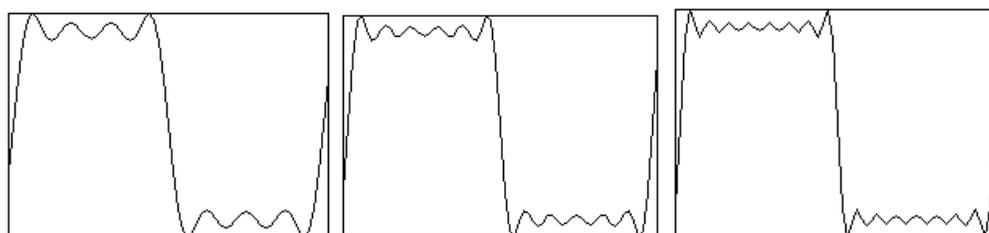
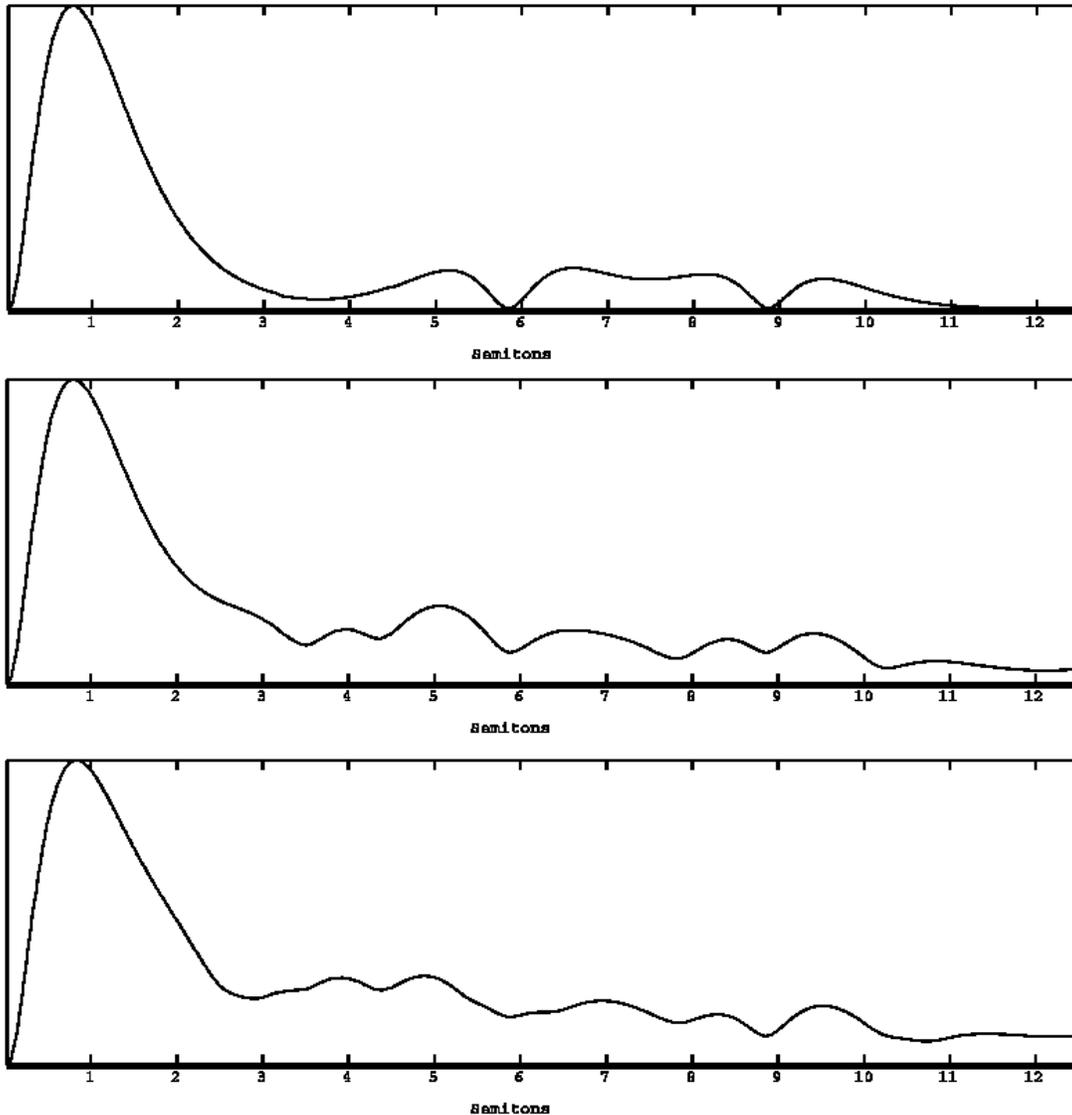


Figura 3.11 – Formas de onda quadrada com 8, 12 e 16 parciais, respectivamente.



De cima para baixo, Figuras 3.12 a), b) e c) – Curva de Dissonância Sensorial de 500 Hz a 1.030 Hz de uma onda quadrada com 8, 12, e 16 parciais. Notar a falta de um alinhamento significativo no intervalo de Oitava, pela simples ausência de harmônicos pares nesse espectro.

Na Figura 3.12a, apenas os intervalos de  $[7:5]$  (585 cents) e  $[5:3]$  (884 cents) aparecem como vales. As Tabelas 3.1 e 3.2 trazem os vales das Figuras 3.12b e 3.12c. Como os componentes espectrais da onda quadrada são harmônicos, os vales coincidem com os intervalos justos, formados pelas relações numéricas desses harmônicos. E, como são ímpares, é apenas possível vales nas relações numéricas desses mesmos números ímpares (por exemplo:  $[9:7]$ ,  $[5:3]$ , etc.). Entretanto, no caso de 3.12c, a energia do 15º harmônico é tão baixa que nenhum alinhamento foi possível com ele. Assim como foi exposto anteriormente, os vales da Curva apontam uma estrutura de intervalos que pode ser transposta de modo a gerar um Sistema de Afinação. No caso da onda quadrada, com componentes até o 15º harmônico, essa estrutura de intervalos está no Limite-13.

**Tabela 3.1** – Vales de 3.12b

<b>Cents</b>	<b>Razão</b>	<b>DS relativa</b>
348	[11:9]	13%
432	[9:7]	15%
585	[7:5]	11%
780	[11:7]	9%
884	[5:3]	11%
1.024	[9:5]	6%

**Tabela 3.2** – Vales de 3.12c

<b>Cents</b>	<b>Razão</b>	<b>DS relativa</b>
287	[13:11]	39%
348	[11:9]	42%
435	[9:7]	42%
782	[11:7]	28%
884	[5:3]	23%
1.071	[13:7]	21%

Ao analisar a variação de Dissonância Sensorial para esse espectros sonoros, podemos ver o quanto “significativos” são esses vales. Apesar dos termos distantes na Série Harmônica, essa forma de onda não possui uma complexidade espectral tão grande pela falta de harmônicos pares. Outro fator é que a energia dos parciais decresce em uma taxa alta ( $1/p$ ), que é maior do que a dos exemplos do subitem anterior (que decaem na taxa de 88%). Logo, há um grande pico correspondente à Banda Crítica, após o qual um nível de Dissonância Sensorial médio, relativamente baixo, se estabiliza.

Conclui-se, novamente, que os componentes espectrais influenciam na percepção de consonância dos intervalos musicais que correspondem às relações desses componentes. O conceito de Limite depende do número de harmônicos, mas também de quais termos harmônicos se encontram no espectro complexo – visto que a análise de ondas quadradas não apontaram consonâncias em intervalos como Oitava [2:1], Quinta [3:2] e Quarta [4:3]. Entretanto, notamos, também, que nem todas as combinações de parciais aparecem como vales, porque a energia desses não foi o suficiente para promover um alinhamento perceptivamente significativo. O Anexo IV é

uma continuidade do trabalho aqui apresentado, e traz uma análise do Sistema de Harry Partch pelo Modelo de Rugosidade.

### 3.3 Escalas de Espectros Inarmônicos

Por outro lado, se analisarmos espectros inarmônicos, encontramos níveis mínimos de dissonância, que correspondem a um alinhamento nas mesmas relações inarmônicas desses componentes espectrais. Dependendo do caso, podemos demonstrar que relações harmônicas são percebidas como mais dissonantes que outros intervalos inarmônicos. Por Exemplo, na Figura 3.13a, o intervalo de uma Oitava [2:1] é mais dissonante que o intervalo em torno de uma Sétima Maior [1.86:1]. Nesse exemplo, o espectro é formado apenas por dois parciais que estão na relação de [1.86:1]. Outro exemplo similar (Figura 3.13b) mostra a Curva de dois parciais na relação [1.15:1].

Como são formados por relações inarmônicas<sup>31</sup>, os vales da Figura 3.13 ocorrem em intervalos completamente diferentes das análises dos tons harmônicos. Portanto, o critério de minimização de Dissonância Sensorial é mais abrangente que o modelo de Afinação Justa, que só corresponde a tons musicais. Esse critério também se reflete no caso das orquestras de Gamelão de Java, cuja afinação contem intervalos inarmônicos que correspondem aos modos de vibração inarmônicos desse metalofone.

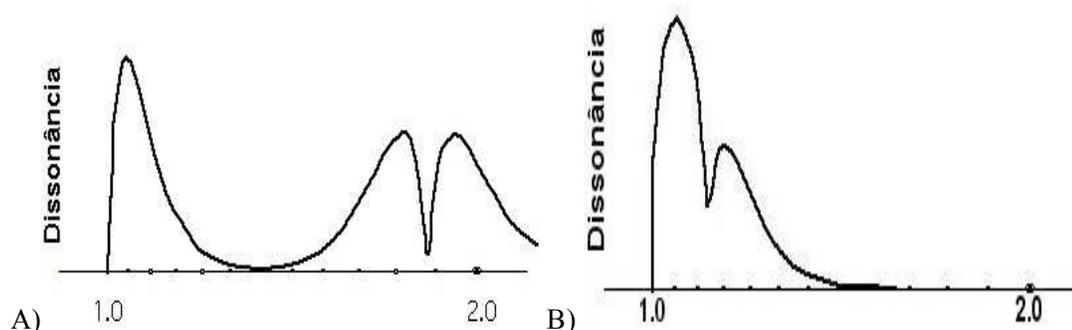


Figura 3.13 – Curvas de espectros Inarmônicos

### 3.4 Escalas a Partir de Máximos e Mínimos

Derivar escalas de espectros sonoros a partir de vales gera uma estrutura de intervalos que pode ser transposta, pois os vales acabam por corresponder a poucos intervalos no espaço de uma

<sup>31</sup> Mesmo descrevendo as relações desses parciais em números racionais, os consideramos “inarmônicos”, porque tal relação numérica corresponde a termos muito distantes da Série Harmônica ([93:50] em 3.3a e [23:20] em 3.3b) e são, na verdade, uma aproximação de uma proporção irracional.

Oitava, como demonstram as análises deste Capítulo. Porém, podemos imaginar outro critério que comporta também os “picos” (i.e. pontos máximos de Dissonância Sensorial) para gerar escalas com mais intervalos. Nesse âmbito, teremos uma divisão do espaço de frequências alternadamente em pontos mais consonantes e mais dissonantes. Na Figura 3.14, geramos uma escala derivada de uma onda *dente-de-serra*, com um pequeno desajuste inarmônico, a partir desse critério.

Esse critério foi implementado no programa de computador desenvolvido em pesquisa, e permite encarar o espaço de alturas de uma maneira livre. Dessa forma, pode-se caminhar pelo espaço de alturas por *glissandos* e destacar tais pontos da escala, sendo assim um trabalho que visa explorar a variação da sensação de Rugosidade. A percepção de Rugosidade é tida como essencial na elaboração de Sistemas de Afinação, tal como foi demonstrado nos exemplos deste Capítulo. O modelo de Rugosidade será ainda retomado no Próximo Capítulo – que apresenta uma aplicação do sistema computacional desenvolvido durante a pesquisa em *puredata*.

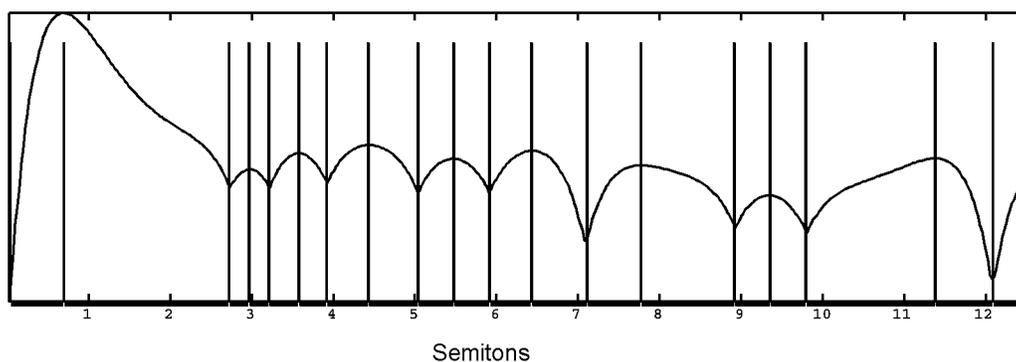


Figura 3.14 – Escala de um espectro ligeiramente inarmônico (notar o vale logo acima de uma oitava).

As análises deste Capítulo são de espectros sintéticos e estáticos, uma análise de um espectro extraído de uma FFT de um instrumento harmônico se encontra no Anexo IV, como complemento a esse estudo, e discute mais detalhadamente a relação entre Afinações em Limites superiores e instrumentos musicais, tendo como base o Sistema de Harry Partch.

# CAPÍTULO 4:

## Processos Criativos

---

Q: What is your interest in the idea to break the scale into quarter-tones or smaller intervals? Is it philosophical, is it technical or what?

A: "It sounds marvellous."

— Karlheinz Stockhausen, entrevista com Richard Dufallo (1987).

Este capítulo tem por objetivo apresentar os estudos de processos composicionais que foram desenvolvidos durante a pesquisa e deram origem às obras apresentadas no Portfolio Composicional (mais informações no Anexo V). Na primeira seção, apresenta-se um estudo sobre sonoridades de harmônicos de instrumentos de cordas. Tal procedimento deu origem a um conjunto de obras que foram editadas em partituras (4.1.1 Processos Acústicos), assim como um *Tape* que foi elaborado via uma colagem derivada de material pré-gravado (4.1.2 Expansão Eletroacústica).

A abordagem apresentada, na segunda subseção, foca processos eletrônicos e trata-se de uma construção de material digital derivado diretamente de processos de síntese sonora aditiva. Nesse contexto, buscamos possibilidades de manipulação de parâmetros microtonais como meio de obtenção de novas sonoridades. A sonoridade resultante vem por meio da utilização da superposição de ondas senoidais.

A terceira seção apresenta um processo baseado no modelo de Dissonância Sensorial estudado. Trata-se de um sistema computacional interativo, realizado em Pd (*puredata*). Nesse ambiente, muitas das questões teóricas desenvolvidas nos capítulos anteriores estão incluídas. O Processo Criativo em si como fim está concentrado na própria exploração do ambiente computacional. Dessa forma, a utilização criativa do mesmo, bem como o desenvolvimento e exploração idiomática do ambiente, são etapas que se iniciam nesta dissertação, mas que devem evoluir e transpor o limite deste texto

## 4.1 Processo Acústico

### 4.1.1 Estudos de Harmônicos

Estes estudos são focados em dois princípios psicoacústicos que influenciam relações de consonância e dissonância, ligados, como exposto no Capítulo 2, ao conceito de “Afinação”. Os princípios são: a) componentes espectrais muito próximos geram a percepção de Batimentos e Rugosidade e b) a relação entre componentes espectrais influencia a *Clareza de Percepção de Altura (Toneness)*. A partir desses dois princípios, exploraram-se os harmônicos naturais dos instrumentos de cordas, que são caracterizados por uma relativa simplicidade espectral.

Por meio da combinação de tons em relações não harmônicas, ou pelo menos em relações harmônicas de termos distantes na Série Harmônica, é possível gerar tons complexos de baixo *Toneness* (alturas difusas, ambíguas, que não promovem uma Fusão Tonal) e produzir sensações de Batimentos e Rugosidade pela superposição de componentes espectrais dentro do registro de uma Banda Crítica. Em síntese, a estratégia composicional adotada nesse processo criativo acústico foi explorar princípios que definem a percepção de dissonância por meio das relações resultantes da superposição entre harmônicos naturais de instrumentos de corda, percepção essa que define a sensação de “quanto” dois tons estão afinados entre si. Logo, a partir do material de harmônicos naturais, pode-se gerar objetos sonoros “afinados” e “desafinados”, ou consonantes e dissonantes, de acordo com os princípios desenvolvidos no Capítulo 2.

Dado que relações de harmônicos naturais são as mesmas de intervalos justos, podemos considerar, nesse processo, uma aplicação do estudo de Afinação Justa (vide Anexo I). Todavia, essa aplicação de Afinação Justa não se prende a um Sistema de Afinação fixo, pois não há uma elaboração particular, como no trabalho de Harry Partch (1974). A adoção de harmônicos naturais, com relações de números inteiros pequenos, pode gerar resultados de mínima Dissonância Sensorial. Por extensão, é possível gerar resultados opostos, a partir de relações de números inteiros relacionados aos harmônicos superiores. Para mapear as possibilidades de execução dos harmônicos naturais em instrumentos de cordas, foram geradas tabelas. O artigo de Warfield (1974) serviu como modelo e ponto de partida para elaborar tabelas, que foram, significativamente, mais detalhadas com informações sobre o intervalo justo equivalente a cada nodo (divisão da corda) de harmônicos naturais, assim como seus valores em cents e notação microtonal aproximada. As tabelas encontram-se em Anexo e foram elaboradas na pauta tradicional (Vide Anexo *V.2.1 – Tabelas de Harmônicos no Pentagrama*).

Não obstante, o uso de outras técnicas de execução (como sul ponticello, sul tasto, trêmulo, entre outros) foram incorporadas nestes estudos para alterar, drasticamente, o conteúdo espectral dos sons. Ao adotar certas técnicas, é possível gerar uma alta complexidade e, até mesmo, um ruído

com nenhum *Toneness*. Logo, não apenas as relações intervalares subsidiam a exploração dos princípios da percepção de dissonância, pois há outros fatores da técnica do instrumento que geram variações espectrais. Esses outros recursos sonoros foram considerados pertinentes, ao encararmos o material microtonal também como um recurso de expansão sonora, que incorpora o repertório de técnicas estendidas de instrumentos musicais (como discutido no Capítulo 1).

As peças acústicas, em forma de miniaturas, denotam um caráter de Estudo. Nelas são explorados pequenos gestos, algumas progressões, adensamentos e relaxamentos a partir dos princípios psicoacústicos aqui pesquisados. É fato que o uso de harmônicos<sup>32</sup> é prática comum em diversos estilos musicais, visto que são facilmente encontrados em peças instrumentais. Diversas passagens com sons de harmônicos podem ser encontradas no repertório da música ocidental sem que esse recurso implique em uma sonoridade alternativa que entre em choque com a idéia de Temperamento e da Música Tonal. Todavia, é possível extrapolar o uso comum dessas técnicas e obter resultados mais peculiares, como o buscado no processo aqui descrito.

O uso de harmônicos naturais nestes estudos de composição se configura, teoricamente, como uma adoção da Afinação Justa. Contudo, via um procedimento que difere dos princípios da Afinação Justa, a manipulação dos intervalos da Série Harmônica (via harmônicos naturais) foi aplicada para obter os seguintes resultados:

- a sonoridade das relações intervalares da Série Harmônica, que são naturais e não temperadas, constituindo-se assim em uma “Afinação Alternativa”.
- a sonoridade singela e delicada dos harmônicos de instrumentos de cordas, resultado das vibrações menos complexas da corda.
- variação de dinâmica limitada, que gera um fluxo textural constante.
- harmonias “puras” e consonantes – Fusão Tonal, alto *Toneness* e ausência de Batimentos e Rugosidade (sons afinados).
- harmonias “dissonantes”, resultado da superposição de harmônicos com diferenças de “Comas” e outros microintervalos, ou seja, sensações de Batimentos e Rugosidade, baixo *Toneness* e Fusão Tonal (sons desafinados), assim como sons “inarmônicos”, no sentido de relações harmônicas que não as de números inteiros pequenos.

Esses objetivos denotam um pendor à Abordagem Contínua, apesar de também, em menor grau, reterem a um caráter de Abordagem Discreta. O princípio de explorar o material no nível

---

<sup>32</sup> O termo harmônico é aqui utilizado no sentido de descrever o som gerado pela execução sobre um nodo da corda do instrumento. Trata-se do resultado sonoro.

espectral, próprio da Abordagem Contínua, foi realçado com recursos de técnicas de execução do instrumento. Tais procedimentos foram utilizados para manipular o conteúdo espectral dos sons, e também quebrar a estrutura discreta da Série Harmônica. Os harmônicos naturais fogem do Temperamento Igual. No caso dos instrumentos de corda, que são afinados em relações de Quintas (ou Quartas no caso do Contrabaixo), a estrutura da Afinação Justa é formada pela gama dos harmônicos possíveis de serem obtidos em cada corda, que em alguns casos chega ao 11º harmônico<sup>33</sup> [WARFIELD 1974]. A sucessão de Quintas é descrita pela relação intervalar abaixo:

$$C / G / D / A / E$$

$$1:1 / 3:2 / 9:8 / 27:16 / 81:64$$

Para encontrar as construções sonoras desejadas, e traçar os caminhos para condução de vozes e modulação de blocos sonoros, foi elaborada uma tabela (Ver Tabela 4.1) com os harmônicos de todas as cordas de todos os instrumentos (Contrabaixo, Violoncelo, Viola e Violino). Foi marcado na tabela o valor em cents de cada harmônico precedido do número da Oitava (Dó central = 3.0).

**Tabela 4.1** – Harmônicos de Instrumentos de Cordas

<b>Violino</b>	<b>2°</b>	<b>3°</b>	<b>4°</b>	<b>5°</b>	<b>6°</b>	<b>7°</b>	<b>8°</b>	<b>9°</b>	<b>10°</b>	<b>11°</b>
corda E	5.408	5.1108	6.408	6.794	6.1108	7.177	7.204			
corda A	4.906	5.408	5.906	6.092	6.408	6.675	6.906		7.092	
corda D	4.204	4.906	5.204	5.590	5.906	5.1173	6.204		6.590	
corda G	3.702	4.204	4.702	4.1088	5.204	5.471	5.702		5.1088	
<b>Viola</b>	<b>2°</b>	<b>3°</b>	<b>4°</b>	<b>5°</b>	<b>6°</b>	<b>7°</b>	<b>8°</b>	<b>9°</b>	<b>10°</b>	<b>11°</b>
corda A	4.906	5.408	5.906	6.092	6.408	6.675	6.906	6.1110	7.092	
corda D	4.204	4.906	5.204	5.590	5.906	5.1173	6.204	6.408	6.590	
corda G	3.702	4.204		4.1088	5.204	5.471	5.702	5.906	5.1088	6.053
corda C	3.0	3.702	4.0	4.386	4.702	4.969	5.0	5.204	5.386	5.551
<b>Violoncelo</b>	<b>2°</b>	<b>3°</b>	<b>4°</b>	<b>5°</b>	<b>6°</b>	<b>7°</b>	<b>8°</b>	<b>9°</b>	<b>10°</b>	<b>11°</b>
corda A	3.906	4.408	4.906	5.092	5.408	5.675	5.906	5.1110	6.092	6.257
corda D	3.204	3.906	4.204	4.590	4.906	4.1173	5.204	5.408	5.590	5.755
corda G	2.702	3.204	3.702	3.1088	4.204	4.471	4.702	4.906	4.1088	5.053
corda C	2.0	2.702	3.0	3.386	3.702	3.969	4.0	4.204	4.386	4.551
<b>Contrabaixo</b>	<b>2°</b>	<b>3°</b>	<b>4°</b>	<b>5°</b>	<b>6°</b>	<b>7°</b>	<b>8°</b>	<b>9°</b>	<b>10°</b>	<b>11°</b>
corda G	2.702	3.204	3.702	3.1088	4.204	4.471	4.702	4.906	4.1088	5.053
corda D	2.204	2.906	3.204	5.590	3.906	3.1173	4.204	4.408	4.590	4.755
corda A	1.906	2.408	2.906	3.092	3.408	3.675	3.906	3.1110	4.092	4.257
corda E	1.408	1.1108	2.408	2.794	2.1108	3.177	3.408	3.612	3.794	3.959

<sup>33</sup> Em laboratório de execução, entretanto, conseguimos obter intervalos ainda mais distantes na Série Harmônica, compilados em bancos de sons e adotados no processo criativo seguinte.

As células da Tabela 4.1 em branco (11º harmônico no Violino, por exemplo) indicam que tal produção de harmônico é mais teórica que viável. Por meio dessa organização ficou fácil construir relações diversas entre tons. Como entre o 7º harmônico da corda Ré no violoncelo (4.1173) e o 8º harmônico da corda Dó na viola (5.0), uma diferença teórica de 27 cents, da qual não se espera o reconhecimento e percepção de tal diferença exata, mas sim a sensação de Batimentos e Rugosidade. Também foram calculados intervalos ligeiramente dissonantes, por fugirem das relações simples dos primeiros termos da Série Harmônica. Por exemplo, o Sol como 7º Harmônico de Lá no contrabaixo (3.675) – em vez do 4º Harmônico na corda Sol do Contrabaixo (3.702) – que não forma um intervalo de Quinta Justa [3:2] em relação ao Dó central – 4º harmônico da corda Dó do Violoncelo (3.0) – e sim o intervalo de [189:128]. Essa construção amplia a sensação de Batimentos e Rugosidade e compromete, principalmente, a percepção de *Toneness*, pois gera um resultado sonoro difuso e inarmônico.

Esse procedimento se configurou como uma busca por sonoridades relacionadas ao material de Afinação Natural (Afinação Justa e Harmônicos) que seriam dificilmente obtidas pelo uso da notação tradicional, dado a falta de conhecimento dessa prática pelos músicos em geral, assim como a limitação de diversos instrumentos musicais quanto a esse material. Tal procedimento é, portanto, uma alternativa viável na obtenção de microintervalos e relações intervalares bem distintas do Temperamento Igual (como nas relações entre termos distantes da Série Harmônica).

**Tabela 4.2** – Exemplos de relações e acordes extraídos da Tabela 4.1:

=====	
VIOLINO G – 2º 3.702	// 4º 4.702
VIOLA C – 7º 4.969	
CELLO C – 2º 2.0 4º 3.0	
BAIXO E – 4º 2.408	// 8º 3.408
=====	
VIOLINO E – 5º 6.794	// G – 8º 5.702
VIOLA – 7º 6.675	
CELLO G – 2º 2.702	// A – 7º 5.675
BAIXO E – 5º 2.794	
=====	
VIOLINO D – 7º 5.1173	
VIOLA C – 8º 5.0	
CELLO D – 7º 4.1173	// A – 5º 5.092
BAIXO G – 5.053	
=====	

Buscou-se, a partir deste processo, construir relações tonais de acordo com os parâmetros psicoacústicos. O passo seguinte nestes estudos foi marcar as relações possíveis e desejadas a partir da Tabela 4.1, e escrever passagens na partitura ao desenvolver caminhos entre essas relações previamente definidas. Essas foram marcadas também em outras tabelas (vide Exemplo na Tabela 4.2), a partir da informação da Tabela 4.1. Outro material de apoio extremamente importante foram as tabelas de harmônicos em partituras encontradas em Anexo (vide Anexo V.2.1 – *Tabelas de Harmônicos no Pentagrama*), que fornecem as posições dos nodos de harmônicos nas cordas.

A Tabela 4.2 demonstra três exemplos de combinações de harmônicos entre instrumentos de corda explorados durante o processo de composição. O processo consiste em selecionar blocos, como esses três, e adota-los como material de apoio na escrita das partituras, com o auxílio das tabelas elaboradas em notação tradicional. Tanto no CD-ROM em Anexo, em formato *.pdf*, como na subseção do Anexo V.3, encontra-se a Partitura da peça  $\mu$  (Micra), que se trata de uma compilação, em apenas uma obra conjunta, de cinco dentre as 14 miniaturas compostas durante o mestrado.

#### **4.1.2 Expansão por meio de Eletroacústica**

O material adotado neste processo parte dos mesmos princípios apresentados em 4.1.1, mas há uma expansão/derivação dos mesmos. Para tal, foi criado um banco digital de sons que, em sua maior parte, são arquivos gravações de harmônicos de instrumentos de corda. Essas amostras foram gravadas a partir de diretrizes que estão vinculadas à natureza acústica do processo de geração de sons dos instrumentos musicais. As tabelas elaboradas para os processos acústicos serviram de guia nas sessões de gravação. Uma ampliação oportuna desse processo criativo em relação ao apresentado em 4.1.1 foi a busca de sons e gestos inusitados/particulares, gerados por meio do acaso a partir de diretrizes fixas (*guias de improvisação*). Uma exploração livre do modo de vibração das cordas, por exemplo, pôde ser gravada para, posteriormente, ser empregada de um modo controlado e meticuloso, via colagem e edição em *software* das várias faixas/canais de áudio.

Esse procedimento se configurou como uma busca por sonoridades relacionadas ao material de Afinação Natural (Afinação Justa e Harmônicos), que seriam dificilmente obtidas pelo uso da notação tradicional, pois vários efeitos e gestos peculiares foram produzidos, e, certamente, esses seriam muito complicados de serem reproduzidos em um ambiente de performance ao vivo. Mais ainda porque a coleta desse material foi superposta em um cuidadoso e artesanal processo de colagem, mediado por computador. Trata-se, portanto, de uma expansão do processo acústico via recursos de edição eletroacústica. Nele, o compositor utiliza a edição digital, que possibilita um cuidado estrutural mais apurado, como um escultor que aglutina a argila, que corta o mármore.

Inicialmente, foi gerada uma série de improvisos para catalogação e edição posterior. Fugiu-se, assim, de uma abordagem escalar/discreta. No processo de pesquisa, gravação e produção, além de simples harmônicos, outros efeitos sonoros foram gravados e catalogados. O parâmetro da altura foi considerado *gestualmente mutante*, e o *Toneness* é baixo, beirando o ruído em muitos casos. Essa exploração abre espaço para metáforas como a idéia do monocórdio, ou ainda de filtros. Uma corda vibrante possui vários modos de vibração. Quando colocamos um dedo sobre um nodo da corda para gerar um harmônico, seleciona-se um modo de vibração da corda e inibem-se outros. Essa modificação no modo de vibração da corda implica, metaforicamente, uma filtragem do espectro sonoro da mesma. Nesse caso, mesmo adotando as Tabelas de harmônicos em notação tradicional como apoio (vide Anexo V.2.1), a livre exploração permitiu encontrar novas sonoridades entre esses nodos, outros harmônicos superiores, ruídos, e, até mesmo, multifônicos (harmônicos simultâneos de uma mesma corda).

A manipulação sonora dos instrumentos de corda, em improvisações, gera sonoridades adversas e inusitadas. É uma maneira de explorar e manipular as vibrações complexas de uma corda, de modo a extrair dela novas configurações sonoras e, conseqüentemente, outros comportamentos espectrais. A exploração desses recursos estendidos em instrumentos de corda foi realizada tanto por intérpretes, quanto pelo próprio autor. Por se buscar uma sonoridade inusitada, mesmo sem um bom nível técnico de execução no instrumento, o compositor pode buscar resultados sonoros satisfatórios para posterior edição. Em contrapartida, intérpretes como Tânia Neiva (Violoncelo), Marcelo Martinez Vieira (Violoncelo) e Flávio Lira (Contrabaixo) contribuíram com um nível técnico profissional, levando, inclusive, à expansão da própria técnica interpretativa individual.

O material foi catalogado e adotado de acordo com a proposta, já apresentada no Capítulo 1, denominada Abordagem Contínua. A relação entre microtons e o universo de técnicas estendidas e efeitos sonoros tornou-se explícita via indicações da tabela de diretrizes para improvisação (vide Tabela 4.3). Analogamente, o conteúdo gravado foi catalogado por nomes que representavam o conteúdo, como: *glissando / harmônicos agudíssimos / som sujo e rasgado / trêmulo / golpe de arco / ricochet / col legno / multifônicos*. Além de um catálogo de harmônicos propriamente ditos, como por exemplo: a descrição de todos os harmônicos da corda Sol do Contrabaixo. Também foram catalogados trechos sonoros mais extensos, como improvisações em arpejos de harmônicos nas cordas. Exemplos: a) um trêmulo entre duas cordas, cujos harmônicos produziam uma diferença em Quartos de Tom. b) Vários harmônicos em torno de Ré em todas as cordas. c) Diferenças de Sextos de Tom. d) Diferenças de Semitons. Outro exemplo de improviso é, enquanto Flávio Lira arpejava com o arco arpejava sobre as cordas, tanto ele quanto o compositor, à três mãos, executavam

glissandos de harmônicos sobre as quatro cordas do contrabaixo. Abaixo, na Tabela 4.2, encontra-se um trecho do que foi enviado a todos os intérpretes para a geração de material. Vide arquivo completo (*Diretrizes de Improvisação.doc*) na pasta 4.1.2 – *Eletroacústico*, no CD-ROM em anexo, apresentado no Anexo V. Os intérpretes escolhiam um ou mais parâmetros para construir gestos a partir de variações independentes dos mesmos. Duas peças consideradas mais importantes, elaboradas via esse processo, encontram-se no CD-ROM em Anexo na pasta 4.1.2 – *Eletroacústico*. São elas: *Trem Fantasma* e *Lado B*.

**Tabela 4.3** – Guias para Explorar os parâmetros de gravação

- Velocidade do Arco
- Pressão do arco
- Sul Tasto e Sul Ponticello (AST – ST – Nat – SP – ASP)
- Pressão do dedo
- Trêmulo (/ // /// ////)
- Tempo
- Dinâmica (p – f)
- Tocar com o dedo / palheta
- col legno
- Ricochet
- Golpes de arco variados

## 4.2 Processo Eletrônico

Ainda seguindo certos princípios em comum, o material sonoro elementar deste processo, elaborado no software *Csound*, é uma superposição de senóides. Ou seja, um princípio de Síntese Aditiva e construção de sonoridades, que, de certa maneira, dialoga e remete aos estudos apresentados anteriormente, com harmônicos naturais de instrumentos de cordas. Partindo-se de uma visão reducionista (ou minimalista no sentido de economia de recursos), uma referência importante deste processo é encontrada no trabalho de La Monte Young, cujas instalações também se baseiam em superposições de senóides e possuem um caráter minimalista [GRIMSHAW 2005].

Arbitrariamente, foi adotado o Sistema de Afinação de Harry Partch (1974). Assim, da mesma maneira que nos processos apresentados em 4.1, as construções tonais são feitas em intervalos justos, promovendo um fluxo dinâmico sobre princípios de *Toneness* e sensações de Batimentos e Rugosidade. Por possuir 43 notas por Oitava, o Sistema de Harry Partch fornece uma boa gama de opções de escolha, e é arbitrário na medida em que esses intervalos não possuem, necessariamente, uma característica fundamental para o objetivo buscado, uma vez que foge, de

fato, da característica essencial de sua elaboração por Partch (possibilidade de transpor uma mesma estrutura modal em diversos Tonalidades). Mais informações sobre o Sistema de Partch se encontram no Anexo IV.

**Tabela 4.4** – Estrutura do acorde com notas da Escala de Harry Partch (1974).

Passo na Escala	Intervalo Justo	Cents	Nome <sup>34</sup>
<b>33</b>	12:7	933.129	Sexta maior Septimal
<b>32</b>	27:16	905.865	SextaMaior Pitagórica
<b>31</b>	5:3	884.359	Sexta Maior Justa
<b>30</b>	18:11	852.592	Sexta Neutra Undecimal
<b>29</b>	8:5	813.686	Sexta Menor
<b>28</b>	11:7	782.916	Sexta Menor Septimal
23	16:11	648.682	Quinta Semi-Diminuta Undecimal
22	10:7	617.488	Tritono de Euler
21	7:5	582.512	Tritono Septimal
20	11:8	551.318	Quarta Semi-Aumentada Undecimal
19	27:20	519.551	Quarta Acuta
<b>8</b>	9:8	203.910	Tom Maior
39	15:8	1088.269	Sétima Maior Clássica
38	11:6	1049.363	Sétima Neutra Undecimal
37	20:11	1034.996	Sétima menor larga
36	9:5	1017.596	Sétima Menor Justa
35	16:9	996.090	Sétima Menor Pitagórica
34	7:4	968.826	Sétima Harmônica
<b>25</b>	3:2	701.955	Quinta Perfeita Pura
16	9:7	435.084	Terça Maior Septimal
15	14:11	417.505	Terça Maior Undecimal
14	5:4	386.314	Terça Maior
13	11:9	347.408	Terça Neutra Undecimal
12	6:5	315.641	Terça Menor
11	32:27	294.135	Terça Menor Pitagórica
10	7:6	266.871	Terça Menor Septimal
<b>0</b>	1:1	0	Unísono

<sup>34</sup> Vide nomenclatura em <<http://www.xs4all.nl/~huygensf/scala/>>, de acordo com o banco de dados do software *Scala*.

Apesar do caráter de Abordagem Discreta desse Sistema de Afinação, o *Csound* permite variações em glissandos entre os passos escalares microtonais, cada qual em seu ritmo particular, criando breves momentos de Sustentação e Variação. Três parciais são mantidos fixos suportando uma estrutura harmônica básica: as relações de [1:1], [3:2] e [9:8] – uma sucessão de Quintas Justas, ou ainda a Fundamental, Quinta justa, e Nona Maior de um acorde. Os outros parciais corresponderiam às Terças, Sétimas, Décimas Primeiras e Décimas Sextas dessa estrutura harmônica, e variam dentro desse âmbito categórico (Ver discussão sobre Percepção Categórica no Capítulo 2).

Mais do que uma estrutura de acorde, o resultado sonoro é de uma *Massa Harmônica*<sup>35</sup>, um *timbre* disposto num espectro harmônico. O caráter do objeto sonoro nessa obra é estático. Da mesma forma que em 4.1, o principal elemento a ser trabalhado nessa criação sonora é justamente a questão do espectro harmônico e seus Batimentos/Rugosidade, o único parâmetro de desenvolvimento.

A obra configura-se como um projeto de instalação, em que a idéia é distribuir os parciais em diferentes alto-falantes (8 no total) em um espaço com projeção de imagens, de modo que um ouvinte possa se deslocar no meio influenciado, de acordo com sua posição, na sensação de Batimentos. Os parciais também serão espacializados de maneira instável, por fim, um sensor de posição (antena) como uma forma de interagir na evolução sonora. A idéia é que as pessoas entrem na sala, interajam com o ambiente, e permaneçam enquanto o ambiente favorecer a sua percepção e exploração sonora. O esboço da partitura foi descrito à mão no caderno, e depois transcrito para um arquivo de *Csound*. (vide pasta 4.3 – *Eletrônico*, para acessar os Scripts de *Csound* e trechos sonoros da Instalação no CD-ROM em Anexo).

### 4.3 – Ambiente Composicional Interativo em Puredata

A estrutura desenvolvida para este Processo Criativo está vinculada a um sistema computacional, batizado como *DISSENS* e implementado em *puredata* (descrito em mais detalhes no Anexo III). Como ferramenta composicional, esse ambiente gráfico permite gerar escalas a partir de espectros sonoros utilizando-se do mecanismo de análise apresentado no final do Capítulo 3: pontos de máximos e mínimos da Curva de Dissonância Sensorial. Essa informação foi utilizada, nesta pesquisa, como meio de controlar módulos de Afinação Adaptativa como discutido por Sethares (2005). A variação temporal, que controla a convergência para uma dada afinação, é um parâmetro controlado pelo compositor. Ou seja, dada uma nota qualquer, que não pertença a uma

---

<sup>35</sup> Adoção do termo e teoria de Schaeffer (1966) para a descrição, em seu Tratado, do *Caráter Tipomorfológico*.

determinada escala, o programa (denominado *patch* no jargão de usuários de Pd) busca um ajuste de acordo com um passo específico da escala, com o objetivo de encontrar na Curva o vale mais perto, o pico mais perto, ou o passo mais perto. Esse processo de otimização, ou correção de altura, é realizado numa taxa temporal dada em segundos ou cents por segundos.

#### **4.3.1 Texturas por meio de Movimento em Torno de Antenas**

Esta subseção discute o mecanismo interacional da obra “*Walking Tune*”, que é uma proposta de performance interativa, e utiliza o sistema computacional desenvolvido, o material sonoro de harmônicos de cordas (discutido na subseção 4.1) e a interação com um conjunto de cordas e três antenas (que funcionam como sensores de movimento dos intérpretes, no princípio do Theremin).

O elemento novo e interativo deste processo, que funciona como controlador de alturas, são sensores na forma de antenas baseadas no trabalho de Andrei Smirnov <[http://asmir.theremin.ru/tsensors\\_sch.htm](http://asmir.theremin.ru/tsensors_sch.htm)>. Cada antena controla uma entrada de altura no sistema, e o valor de entrada é dado em cents em relação a uma frequência fundamental. As três antenas acopladas ao sistema equivalem a três vozes, sendo duas ligadas a dois módulos, que se adaptam de acordo com uma terceira voz (a fundamental), controlada pela terceira antena.

Experimentamos amostras de sons de harmônicos de instrumentos de corda como o Violino e a Viola. Tais amostras foram transformadas em *wavetables*. Consideramos que combinar *wavetables* com formas de onda, provenientes de amostras de harmônicos de instrumentos de corda, poderia ser uma forma muito rica de gerar texturas sonoras.

Esse conceito também remete à premissa da Música Espectral, que funde os conceitos de timbre e harmonia, apresentada e discutida no Capítulo 1. No Processo Criativo descrito nesta subseção, partindo da premissa espectral, aplicamos o sistema computacional não apenas na geração de intervalos para criar acordes, mas também como ferramenta para gerar estruturas mais complexas. A variação das alturas captadas nas antenas foi utilizada para criar um movimento dinâmico de blocos sonoros fluindo para pontos dissonantes e consonantes, de acordo com o processo de adaptação implementado, a partir do modelo de Dissonância Sensorial.

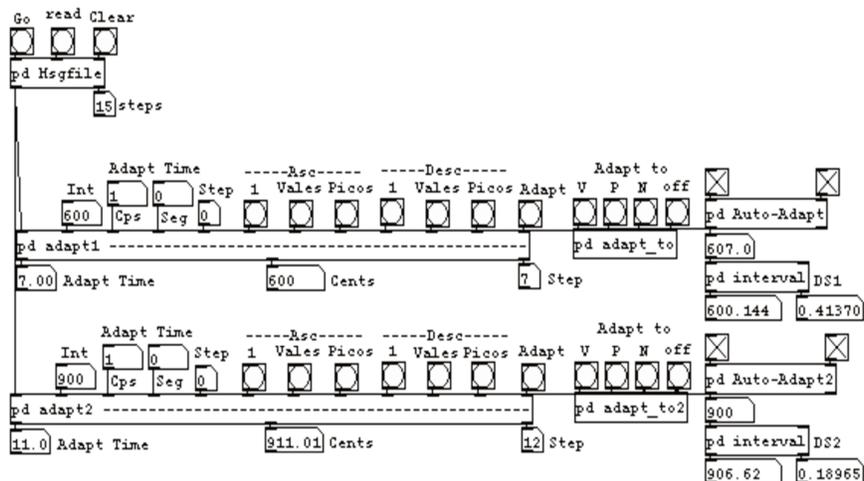


Figura 4.1 – Módulos adaptativos, mais informação sobre o *patch* no Anexo III.

O fluxo sonoro contínuo só é possível porque as *wavetables* enviam um sinal para a saída de áudio do computador ininterruptamente, ou seja, cada uma delas executa um “loop”. Quando esses são modulados em frequência pelo controle das antenas, o intérprete que controla o computador, variando parâmetros do *patch*, decide se:

- a) haverá ou não uma nova adaptação;
- b) a mesma será automática ou não
- c) o sinal de entrada levará o sistema adaptar-se na direção de um ponto de dissonância mínimo (i.e. um vale na curva) ou ponto de dissonância máximo (i.e. um pico).

Esse ciclo interativo de tomadas de decisão é que define, em tempo real, a estrutura do material sonoro resultante. O sistema pode ser utilizado como um dispositivo genérico análogo ao Theremin. Todavia, nesse caso, o músico/instrumentista é capaz de controlar qualquer parâmetro sonoro, usando o computador como um sintetizador ou gerador dinâmico de som. No caso de controle do parâmetro altura, é possível mudar a afinação do Theremin, relacionando-a com uma escala estabelecida *a priori*. Tal procedimento é totalmente factível de ser realizado em tempo real, o que facilita a técnica de entonação. Outra função importante é que, via o modelo de Dissonância Sensorial, é possível derivar uma escala a partir de componentes espectrais dados.

Como demonstrado na Figura 4.2, três antenas são distribuídas no espaço da performance, que não precisa ser muito grande, porque cada antena é sensível em um diâmetro de dois metros. Dois ou três instrumentistas de cordas (Violino ou Viola) interagem com o sistema ao moverem-se pelo espaço, e improvisam sons de acordo com o material gerado, interativamente, pelo sistema e

pela ação do intérprete do Computador. O material gerado pelos músicos deve ter a mesma natureza das amostras que estão nas *wavetables*. Assim, os intérpretes devem tocar harmônicos naturais e artificiais, que se misturam com o material gerado pelo computador, interferindo e transformando a dinâmica textural da obra.

O conceito de improvisação é simples, o fluxo da textura sonora varia em torno de aglomerados consonantes a outros dissonantes. Cada fluxo terá velocidade diferente, que é determinada pelo executante do computador, que controla o ritmo do processo e os músicos respondem a ele. Ao moverem-se pelo espaço, os músicos produzem uma variação de indutância nas antenas que, por sua vez, promovem variação nos parâmetros do sistema de controle textural. Logo, o controle da textura é dado pelos seus movimentos e posicionamento em relação às antenas. Quando os músicos interrompem o seu movimento, repousando em um ponto particular da sala, o controlador do *patch* adaptará a textura, gerando glissandos em passos consonantes ou dissonantes. Os músicos, então, improvisam, produzindo uma resposta dissonante se a textura for consonante ou vice-versa. Em um momento desejado, os músicos iniciam um novo ciclo, ao moverem-se novamente. Esse processo se repete, interativamente, até o final de *Walking Tunes*, que segue um formato de decrescendo lento, com a saída em série dos intérpretes, com um apelo cênico. Vide mais informações sobre o *patch* no Anexo III.

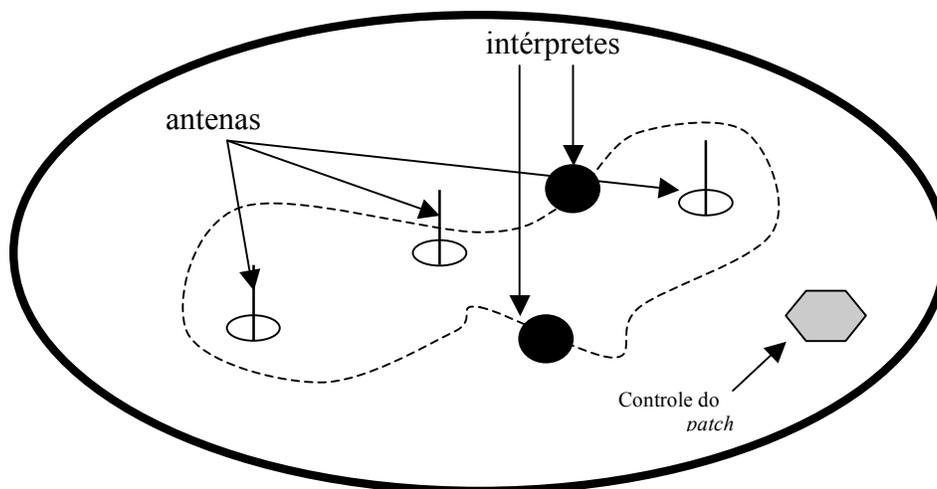


Figura 4.2 – diagrama da performance em tempo real da peça “Walking Tune”, para computador e cordas.

## CONCLUSÃO

---

"What we now call our Tonal System is nothing more than a set of "signs"; an ingenious device to grasp somewhat of that eternal harmony; a meagre pocket-edition of that encyclopedic work; artificial light instead of the sun"

— Ferruccio Busoni (1866 - 1924), *Sketches of a new Esthetics of Music* (1911).

Esta dissertação, que estudou o desenvolvimento de "Processos de Composição Microtonal por meio do Modelo de Dissonância Sensorial", partiu do princípio de que é possível construir um sistema composicional coerente, pela utilização criativa de um modelo de Dissonância Sensorial, que foi utilizado para gerar material microtonal na composição de texturas. O segundo ponto de estudo apontou para a interação entre o material e o processo de superposição de camadas, como meio de construir e interferir no espectro sonoro. Esses dois pressupostos motivaram o trabalho de pesquisa, que se vinculou aos seguintes aspectos:

- Abordagem Discreta e Contínua a partir de microtons, apresentada no Capítulo 1
- Dissonância Sensorial e Clareza de Percepção de Altura, apresentadas no Capítulo 2
- Relação entre Escala e Espectro, apresentada no Capítulo 3

O Primeiro Capítulo deve aos dois seguintes uma boa fonte de informação, que enriquece o debate sobre as duas abordagens composicionais apresentadas. Desse estudo, entendemos que, na Abordagem Discreta, a minimização da Dissonância Sensorial é essencial para criar diversas Afinações Alternativas, como a pesquisa em aproximações de Limites superiores ao Limite-5. Por outro lado, a adoção de uma subdivisão do Tom Igualmente Temperamento é motivada mais por uma conveniência histórica e prática do que psicoacústica. Logo, microintervalos, como alterações do Temperamento Igual em Quarto de Tom, não se justificam fortemente no modelo de Dissonância Sensorial, mas sim como um recurso extra, uma expansão do Temperamento Igual de 12 notas por Oitava. Na Abordagem Contínua, a relação entre Escala e Espectro e os princípios psicoacústicos fornecem um meio eficaz para manipular aglomerados sonoros. Pode-se, assim, exercer um controle minucioso do parâmetro altura aplicado aos elementos constituintes da superposição de camadas texturais.

Ressaltamos a Dissonância Sensorial que, dentre os conceitos apresentados, embasou um ambiente computacional de análise, a partir da sensação de Rugosidade. Análises a partir dessa ferramenta demonstraram a relação entre a construção de Sistemas de Afinação e Espectro sonoro no Capítulo 3. Ou seja, pode-se desenvolver um estudo que relaciona afinação, componentes espectrais, com um método para minimizar a Dissonância Sensorial, e o mesmo pode ser utilizado para gerar escalas.

Em síntese, o foco da pesquisa foi o estudo de um modelo de Dissonância Sensorial aplicado a processos composicionais. Levando-se em conta a visão poética do pesquisador, esse material foi utilizado como meio de manipular texturas. No decorrer do mestrado, o autor, gradativamente, buscou modelos teóricos vinculados à psicoacústica, entrelaçando-os com suas estratégias criativas. O pesquisador procurou, de forma sistemática, vincular os resultados obtidos, o modelo teórico e a sua intuição.

O Portfolio Composicional foi desenvolvido a partir de estudos que exploraram a visão teórica, a escritura musical, Síntese Aditiva em Csound, gravação de um banco de harmônicos de instrumentos de corda e material instrumental (a partir de instruções de geração sonora) e improvisação (utilizando o ambiente interativo *DISSENS*). Se o modelo teórico fomentou procedimentos e estratégias aparentemente formais, a exploração livre desses conceitos levou ao aprendizado do potencial musical e ao entendimento do processo criativo como um todo integrado. O ambiente computacional desenvolvido em Pd e o modelo de Dissonância Sensorial são resultados expressivos do trabalho. As possíveis projeções deste trabalho são apresentadas a seguir:

A) Do ponto de vista teórico:

O modelo, baseado no estudo e resultado de Plomp e Levelt (1965), foi expandido com a pesquisa sobre o trabalho de Sethares (2005), Parncutt (1993), Barlow (1980), e Vassilakis (2001). Geramos um modelo de Dissonância Sensorial original, caracterizado por melhorias de modelos pré-existentes. Os resultados obtidos com este modelo foram apresentados em três eventos nacionais e dois internacionais. O modelo foi caracterizado por equações e diagramas no Capítulo 2, e simulado por um *patch* em Pd, como apresentado no Capítulo 4 e Anexo III.

A percepção de Rugosidade tem sido comumente relacionada a uma dimensão de dissonância (Dissonância Sensorial), o que é apontado como problemático por Vassilakis (2001). Conceitos de dissonância musical são abstrações que estão relacionados parcialmente com princípios psicoacústicos, de natureza inata. A sensação de *Rugosidade* é um atributo perceptivo definido como correlato fisiológico de Flutuações de Amplitude. A crítica de Vassilakis (2001) é que o mapeamento da valoração de dissonância não é suficientemente explicado somente por este

modelo. Portanto, uma nova estimativa mais objetiva sobre a percepção de Rugosidade poderia ser desenvolvida em pesquisas futuras, gerando, assim, novos resultados que atualizariam o clássico de Plomp e Levelt (1965).

Os estudos sobre modelagem psicoacústica de Rugosidade nos indicam que muitos avanços, tanto conceituais quanto científicos, ainda estão por serem desenvolvidos. Trata-se de um campo promissor de pesquisa que pode levar ao desenvolvimento de novos modelos para a composição musical, como demonstrado nesta dissertação. Cabe ressaltar a aplicabilidade desses procedimentos em composição, como o compositor Clarence Barlow já o tem feito. Ainda é um campo emergente que depende dos últimos avanços em Psicoacústica e Musicologia Cognitiva. As projeções para novos desenvolvimentos do modelo aqui estudado são as seguintes:

- inclusão do efeito de mascaramento;
- inclusão da variação temporal/dinâmica dos parciais do som;
- aumento nas dimensões da curva de Dissonância Sensorial de modo a incluir mais do que 2 tons simultâneos;
- análise de sons com componentes espectrais diferentes (Piano e Flauta, por exemplo).

Entretanto, o maior desenvolvimento para o modelo seria uma vinculação do mesmo com outro, o modelo da Clareza de Percepção de Altura (Huron 2001), que foi apresentado no segundo Capítulo.

#### B) Do ponto de vista composicional:

As composições apresentadas no Capítulo 4 foram elaboradas a partir de três processos composicionais, descritos a seguir.

- Processo Acústico: desdobrado em dois estudos: Estudos de harmônicos e Expansão Eletroacústica.
  - O resultado do primeiro estudo demonstrou que há um potencial de escritura musical, que poderá ser expandido por meio da interação, na forma de Ateliê, com intérpretes e grupos de câmara. As Tabelas de Harmônicos e o cálculo das relações entre os mesmos se configuram como um manual de técnica estendida para instrumentos de corda, que servem tanto ao compositor, no desenvolvimento de estratégias de escrita microtonal, quanto aos intérpretes, no estudo e execução das composições. Por intermédio desse processo, o compositor opera, diretamente, no

campo variacional da Afinação, instruindo o intérprete a gerar material de acordo com as sonoridades desejadas.

- Na Expansão Eletroacústica dos Estudos Harmônicos (via edição e colagem digital) ocorreu um desvio, pois o material pré-gravado congela o controle interpretativo do músico. Todavia, o resultado sonoro preservou a sua referência com a fonte acústica, mesmo tendo sido levemente manipulado e editado por computador. O objetivo de se obter um resultado textural coerente foi realizado, e a exploração dos harmônicos levou à utilização de vários recursos instrumentais como *glissandos*, *multifônicos*, *filtragem espectral* – *via controle do arco* – *contrastes com ruídos para obscurecer a percepção de altura*, entre outros.
- Processo Eletrônico:
  - Nesse processo, o princípio organizador é a Síntese Aditiva, em que se combinam formas de ondas senoidais, para gerar uma textura única. O compositor fez uma analogia entre a superposição de camadas dos Estudos Harmônicos com esse método de síntese. O resultado sonoro demonstrou que os princípios psicoacústicos estudados, durante a pesquisa, funcionam para formas de onda de baixa complexidade. Entretanto, utilizar, exclusivamente, esse material senoidal tem um caráter reducionista, em termos de palheta sonora e expressividade. Não obstante, foi pertinente a proposta de instalação sonora descrita no Capítulo 4, pois a espacialização das diversas fontes sonoras e a interação com o movimento do ouvinte, no espaço, promovem situações inusitadas, que ampliam o escopo musical do trabalho.
- Ambiente Composicional Interativo em Pd:
  - Nesse processo, buscou-se uma aplicação interativa com base no o *DISSENS*, exemplo de “Walking Tunes”. A geração de escalas a partir de um dado espectro é o principal processo desenvolvido e se caracteriza como o de maior confluência dos elementos estudados. Esse sistema promove a possibilidade de improvisação sobre os parâmetros da Curva de Dissonância Sensorial, principalmente, pelos módulos de Afinação Adaptativa. Resulta daqui, Não apenas a escritura de uma peça individual, mas sim do desenvolvimento de um sistema que poderá ser explorado e aplicado de diversas maneiras, tanto para criação quanto análise sonora.

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

## LIVROS

---

- ABDOUNUR, O. J. *Matemática e Música: O pensamento analógico na construção de significados*. 3 ed. São Paulo: Escrituras, 2003.
- BARBOUR, J. M. *Tuning and Temperament – A Historical Survey*, Michigan State Collage Press, 1951.
- BEAMENT, J. *How We Hear Music*, The Boydell Press, 2001.
- FLETCHER, H. *Speech and hearing in communication*. New York: Van Nostrand, 1953.
- GRIFFITHS, P. *Enciclopédia da Música do Século XX*. Rio de Janeiro, Martins Fontes, 1995.
- HÁBA, A. *Nuevo Tratado de Armonía*, Madrid, Real Musical S.A., 1984.
- HARNOCOURT, N. *O Discurso dos Sons*. Rio de Janeiro, Jorge Zahar Ed., 1998.
- HELMHOLTZ, H.L.F. (1877) *On the Sensations of Tone as a Psychological basis for the Theory of Music*. New York, NY: Dover Publications. 2ª edição (1954)
- HINDEMITH, P. *The Craft of Musical Composition, Book 1: Theoretical Part*. New York: Associated Music Publishers, Inc., 1945.
- MÖLLENDORF, W. *Music With Quarter-Tones*. F. E. C. Leuckart, Leipzig, 1917.
- NOVARRO, A. *Sistema Natural de la musica – Sistema Natural base Del natural-aproximado*. México D.F. 1927.
- PARTCH, H. *Genesis of a Music*, Da Capo Press, New York, 1974.
- ROEDERER, J. G. *Introdução à Física e Psicofísica da música*, São Paulo, SP, Editora da Universidade de São Paulo-EDUSP, 1998.
- SALINAS, F. (1577). *De musica libri septem. Mathias Gastius*, Salamanca, 1577, 1592. Reedição M.S. Kastner (ed.), Documenta Musicologica I no. 13, Bärenreiter, Kassel, 1958.
- SCHAEFFER, P. *Traité des objets musicaux*. Paris: Seuil, 1966.
- SETHARES, W.A. (1999) *Tuning, Timbre, Spectrum, Scale*. London: Springer-Verlag. 2ª Ed. com CD-ROM, 2005.
- STUMPF, C. *Tonpsychologie*, Leipzig: S. Hirzel, 2 Volumes, 1883, 1890.
- TENNEY, J. *A History of 'Consonance' and 'Dissonance'*. White Plains, NY: Excelsior, 1988.
- von BÉKÉSY, G. *Experiments in hearing*. New York: McGraw-Hill, 1960.

## ARTIGOS

---

- BARLOW, C. Bus journey to Parametron. *Feedback Papers* vol. 21-23, Feedback Studio Verlag, Köln, 1980.
- de BEER, A. *The Development of 31-tone Music* Sonorum Speculum vol. 38, Amsterdã pp. 3-16, 1969.
- CAZDEN, N. (1945). Musical consonance and dissonance: A cultural criterion. *Journal of Aesthetics and Art Criticism*, 4 (1), 3-11, 1940.

- FALLAS, L.A. La Analogía Pitagórica; Estudio interpretativo del pensamiento de Arquitas de Tarento. *Revista de Filosofía de la Universidad de Costa Rica*, número extraordinario, 1992.
- FLETCHER, H; Munson, W.A. (1933), Loudness, its definition, measurement and calculation. *Journal of the Acoustical Society of America* N. 5, 82-108, 1933.
- FLETCHER, H. Auditory Patterns. *Reviews of Modern Physics*, 12, 47–65, 1940.
- GEORGE A. Miller. The Magical Number Seven, Plus or Minus Two. *The Psychological Review*, vol. 63, pp. 81-97, 1956.
- GREENWOOD, D. D. Auditory masking and the critical band. *Journal of the Acoustical Society of America*, 33(4), 484–502, 1961a.
- \_\_\_\_\_. Critical bandwidth and the frequency coordinates of the basilar membrane. *Journal of the Acoustical Society of America*, 33(4), 1344–1356, 1961b.
- \_\_\_\_\_. A cochlear frequency-position function for several species—29 years later. *Journal of the Acoustical Society of America*, 87(6), 2592–2605, 1990.
- HURON, D. Tone and Voice: A Derivation of the Rules of Voice-Leading from Perceptual Principles. *Music Perception* Fall, Vol. 19, No. 1, 1–64, 2001.
- HUTCHINSON, W; KNOPOFF, L. The Acoustic Component of Western Consonance, *Inteface* 7: 1-29, 1978.
- IYER, I.; AARDEN, B.; HOGLUND, E.; HURON, D. Effect of intensity on sensory dissonance. *Journal of the Acoustical Society of America*, 106(4), 2208–2209, 1999.
- KAMEKOA, A.; KURIYAGAWA, M. Consonance theory. Part I: Consonance of dyads. *Journal of the Acoustical Society of America*, 45, 1451–1459, 1969a.
- \_\_\_\_\_. Consonance theory. Part II: Consonance of complex tones and its calculation method. *Journal of the Acoustical Society of America*, 45, 1460–1469, 1969b.
- KRINGLEBOTN, M.; Gundersen, T.; Krokstad, A.; Skarstein, O. Noise-induced hearing losses. Can they be explained by basilar membrane movement? *Acta Oto-Laryngologica Supplement*, 360, 98–101, 1979.
- MAYER, M. Researches in Acoustics. *Philosophical Magazine*, No. IX, Vol. 37, pp. 259-288, 1894.
- McLAREN, B. History of Microtonality in the 20<sup>th</sup> Century. Xenharmonikon, 1998.
- MILLER, G. A. The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63, 81-97, 1956.
- PLOMP, R.; LEVELT, W.J.M. Tonal Consonance and Critical Bandwidth. *Journal of the Acoustical Society of America* N. 38, 548-568, 1965.
- SCHOUTEN, J. F. The residue, a new component in subjective sound analysis. *Proceedings Koninklijke Nederlandse Akademie Wetenschappen*, 43, 356–365, 1940.
- TERHARDT, E. Pitch, Consonance and harmony. *Journal of the Acoustical Society of America* 55 pp. 1061-1069, 1974.
- \_\_\_\_\_. On the perception of spectral information in speech. *Hearing Mechanisms and Speech* (Creutzfeldt, O., Scheich, H., Schreiner, C., eds.), Springer, Berlin/Heidelberg, 281-291, 1979.

- TERVANIEMI, M. et al. Pitch discrimination accuracy in musicians vs nonmusicians: an event-related potential and behavioral study. *Exp Brain Res*, 161, 1-10, 2005.
- TRAUNMÜLLER, H. Analytical expressions for the tonotopic sensory scale. *Journal of the Acoustical Society of America*. N°88: 97-100, 1990.
- von BÉKÉSY, G. Über die Resonanzkurve und die Abklingzeit der verschiedenen Stellen der Schneckentrennwand. *Akustische Zeitschrift*, 8, 66-76; traduzido como: On the resonance curve and the decay period at various points on the cochlear partition. *Journal of the Acoustical Society of America*, 21, 245-254, 1943/1949.
- WARFIELD, G. The Notation of Harmonics for Bowed String Instruments) *Perspectives of New Music*, Vol. 12. No. 1/2 pp. 331-343, Autumn, 1973 – Summer 1974.
- WOLF, D. J. Alternative tunings, alternative tonalities, *Contemporary Music Review* vol.22 no. 1-2, pp. 3-14, Março-Junho 2003.
- WRAIGHT, D. The cimbalò cromático and other Italian string keyboard instruments with divided accidentals, *Schweizer Jahrbuch für Musikwissenschaft*, Neue Folge 22, 105-136, 2003.
- WYSCHNEGRADSKY, I. Musique et pansonorité, *La Revue Musicale* vol. 9, Paris, December 1927, pp. 143. Reimpresso em *Premier Cahier Wyschnegradsky*, Paris pp. 41-52, 1985.
- \_\_\_\_\_. Quartertonal music, its possibilities and organic sources, *Pro Musica Quarterly*, New York, pp. 19-31, October 1927.
- ZWICKER, E.; FLOTTORP, G.; STEVENS, S.S. Critical Band Width in Loudness Summation. *Journal of The Acoustical Society of America* N° 29, 548-557, 1957.
- ZWICKER, E. Subdivision of the audible frequency range into critical bands (Frequenzgruppen), *Journal of the Acoustical Society of America*. 33: 248, 1961

## TESES

---

- VASSILAKIS, P. N. Perceptual and Physical Properties of Amplitude Fluctuation and their Musical Significance. *Tese de Doutorado*. UCLA, 2001.
- GRIMSHAW, J. Music of a 'More Exalted Sphere': Compositional Practice, Biography, and Cosmology in the Music of La Monte Young. *Tese de Doutorado*, Eastman School of Music. Ann Arbor: UMI/ProQuest. 2005.

## INTERNET

---

- ALLA, T. *Partiels de Grisey*. Disponível em: <<http://webtab.ac-bordeaux.fr/Pedagogie/Musique/grisey.html>>. Acesso 11/2007.
- DARREG, I, The Quarter Tone Question. Disponível em: <<http://sonic-arts.org/darreg/DAR2.HTM>>. Acesso em 11/2007.
- MONZO, J. Encyclopedia of Tuning, Tonalsoft Inc, 2004. Disponível em: <<http://tonalsoft.com/enc/encyclopedia.aspx>> Acesso: 11/2007.
- \_\_\_\_\_. Chronological List of Works of Alois Hába, Joe Monzo, 1999. Disponível em: <<http://sonic-arts.org/monzo/haba/haba-worklist.htm>> Acesso: 04/2005.
- PARNCUTT, R. *Parncutt's implementation of Hutchinson & Knopoff roughness model*, 1993. Disponível em: <<http://www-gewi.uni-graz.at/staff/parncutt/rough1doc.html>>.

SCHUBERT, E.; PARNCUTT, R. Comunicação: *A Psychoacoustic approach to tuning*, Sonic Connections. Wollongong, Austrália, 2006. Apresentação disponível em <[http://www-gewi.uni-graz.at/staff/parncutt/publications/SchuPa06\\_Sonic.ppt](http://www-gewi.uni-graz.at/staff/parncutt/publications/SchuPa06_Sonic.ppt)>. Acesso em 11/2007.

## **PARTITURAS**

---

GRISEY, G. *Partiels Pour 18 Musiciens* (1975). Partitura, Ricordi.

HÁBA, A. *Quartetto d'Archi - No XIV (in sistema di Quarto di Toni)* (1963). Partitura, Panton – Praha.

SCELSI, G. *Elegia Per Ty – 3 Mouvements. Trio a Cordes* (1958-1966). Partitura, Salabert.

FERNEYHOUGH, B. *Unity Capsule* (1975-1976). C.F. Peters. Partitura.

NONO, L. *A Carlo Scarpa Architetto, Ai Suoi Infiniti Possibili per Orchestra a Microintervalli* (1984). Partitura, Casa Ricordi.

PENDERECKI, K. *Threnody to the Victims of Hiroshima* (1960). Partitura, Edwin F. Kalmus.

XENAKIS, I. *Ikhoor* (1978). Partitura, Salabert.

\_\_\_\_\_. *Nomos Alpha* (1966). Partitura, Boosey & Hawkes.

WYSCHNEGRADSKY, I. *Opus 53 trio a cordes* (1979). Partitura, Belaieff.

## **GRAVAÇÕES**

---

Partch, H. *A Quarter-Saw Section Of Motivations And Intonations*. Enclosure II, Innova Recordings (Innova 401), 4-CDs, 2006.

## **ANEXO I:**

### **Afinação Justa**

---

"Imagine looking at home movies when the person running the projector suddenly improves the focus. It is a pleasant but definite shock to see how much clearer the images are now even though we had accepted them before the adjustment ... This is what Just Intonation is, at its simplest."

— Ben Johnston (1926-), *Maximum Clarity (1996) / Contemporary Composers on contemporary Music* [pp.431].

Este Anexo contém alguns fundamentos dos Sistemas de Afinação Justa. Há uma conexão entre este e o Capítulo 3, que considera a Afinação Justa como um sistema que minimiza a Rugosidade de tons musicais (complexos e harmônicos). Esse aspecto a evidencia como ponto de partida para o estudo de Sistemas de Afinação. A relação entre Afinação Justa e o comportamento espectral dos instrumentos musicais se desdobra em uma outra relação de cada um com a Série Harmônica. Portanto, a Série Harmônica pode ser tomada como ponto de partida no desenvolvimento de um modelo básico e teórico de Afinação Justa, tal como apresentado neste Anexo.

Os Sistemas de Afinação Justa são assim chamados por causa da natureza dos intervalos musicais com os quais são construídos, os ditos “intervalos justos”. A terminologia “justo” vincula-se à representação das relações intervalares por números inteiros, e daí advém o conceito implícito que os mesmos possuem relações harmônicas (correspondentes às proporções numéricas dos termos da Série Harmônica). Partindo do ideal que instrumentos musicais produzem vibrações complexas e harmônicas (um tom fundamental e seus múltiplos), há uma maior coincidência de parciais representados por intervalos musicais formados por relações harmônicas e, conseqüentemente, um decréscimo da sensação de Batimentos e Rugosidade. Esse conceito pode ser visualizado pelas Curvas de Dissonância Sensorial (análises obtidas por modelos de Rugosidade), em que pontos mínimos de Dissonância Sensorial coincidem com intervalos justos para um tom complexo harmônico, como no Capítulo 3. Porém, o Capítulo 3 apresenta apenas espectros sintéticos e estáticos, uma análise mais profunda dessa questão é apresentada no Anexo IV.

Neste anexo, tratamos, primeiramente, da representação de intervalos musicais em razões e da sua quantização em cents. O Sistema Igualmente Temperado não será estudado aqui a fundo, e é apenas citado para contrapor e realçar as qualidades de um Sistema de Afinação Justa, como apontado na subseção I.b *Afinação Justa e Temperamento*. Basicamente, o Temperamento prevaleceu por uma questão prática da construção e execução de instrumentos musicais. Por isso, autores que criticam o uso do Temperamento, como Harry Partch, o fazem por não concordar com esse sacrifício perceptivo, o Anexo IV traz ainda mais algumas discussões sobre esse problema.

Em I.c *Intervalos Justos e Série Harmônica*, discorremos sobre a relação entre o modelo de Afinação Justa e os termos da Série Harmônica, que exemplifica, detalhadamente, a noção de que ela serve de base para construção de Sistemas de Afinação. Essa noção é enriquecida com o conceito de Limite de Sistema de Afinação Justa (subseção I.d), que serve como um método de categorização de intervalos justos, relacionado aos termos numéricos primos da Série Harmônica (no Capítulo 3, analisamos a relação entre Limite de Sistema de Afinação e complexidade de conteúdo espectral).

Por fim, em I.e *Diagramas reticulares*, aplicamos o conceito de Limite de Sistemas de Afinação em um mecanismo de representação de Sistemas de Afinação. Tratam-se de gráficos, na forma de rede, cujos pontos representam intervalos justos, e cada dimensão dela representa um Limite. Essa rede também foi utilizada na dissertação em algumas Figuras no Anexo II *Apanhado Histórico*, que possui alguns fundamentos de questões abordadas no Capítulo 1 (sobre Recursos Microtonais na Música do Século XX). O estudo sobre os modos de vibração da corda, intervalos justos e Série Harmônica é aplicado a um processo composicional, que parte da utilização de harmônicos e foi apresentado na subseção 4.1.

## **I.a Representação de Intervalos Musicais**

Um intervalo musical entre dois tons “A” e “B” pode ser representado por uma fração numérica entre as frequências, que representam a percepção de altura de “A” e “B”. Representar intervalos como uma razão é muito mais específico do que um nome como “Segunda Maior” ou “Terça Maior”, pois esses termos se referem a uma Percepção Categórica<sup>36</sup> de intervalos. Há infinitas relações proporcionais, mas com pequenas diferenças microtonais entre si, que podem ser descritas por esses termos mais genéricos (Segunda, Terça, etc.), enquanto que a descrição matemática é única. Aqui, apresenta-se o primeiro ponto de estudo: várias representações numéricas de um intervalo musical são associadas ao mesmo intervalo.

---

<sup>36</sup> A teoria de Percepção Categórica foi apresentada em 2.2.3 *Percepção de Intervalos Musicais*.

**Tabela I.1 – Relações Intervalares**

<b>Intervalo 1</b>	<b>Intervalo 2</b>	<b>Relação Matemática</b>
270hz – 150Hz	1.242Hz – 690hz	$(9\div 5) = 1.8$
300hz – 150Hz	1.000Hz – 500hz	$(2\div 1) = 2$
141.4142...hz – 100Hz	353.55Hz – 250hz	$(2^{1/2} \div 1) = 1.4142...$

Neste trabalho, representamos as relações matemáticas entre frequências a partir de suas razões no formato **[x:y]**, onde o Numerador é o tom mais agudo. Logo, os exemplos da Tabela I.1 (independente das frequências envolvidas) ficam assim descritos: [9:5], [2:1] e [2<sup>1/2</sup>:1]. Sempre quando possível, os valores absolutos de frequência devem ser fatorados para chegar aos menores números inteiros que expressam a fração. Os termos de números inteiros (como os exemplos [9:5] e [2:1] acima) podem ser relacionados aos termos da Série Harmônica. Por exemplo, a relação [9:5] corresponde ao intervalo formado entre o 9º e o 5º harmônico da Série Harmônica.

Como se trata de uma relação proporcional, a melhor maneira de ler um intervalo não é como se fosse uma divisão, de modo que [9:5] deve ser compreendido como “nove para cinco”, e não “nove dividido por cinco”. Essa maneira de ler a proporção deixa mais claro o conceito que estamos trabalhando – que, enquanto um tom musical vibra nove vezes, outro tom musical vibra cinco vezes, no mesmo período, já que relações entre tons descritas por números inteiros (racionais) formam ondas sonoras periódicas, como discutido no Capítulo 2.

Entretanto, [2<sup>1/2</sup>:1] é uma relação proporcional irracional que não pode ser representada por números inteiros, “2<sup>1/2</sup>” é, matematicamente, igual à “raiz quadrada de dois”. A melhor forma de ler esta proporção é “raiz quadrada de dois para um”, e essa relação irracional significa que não há periodicidade na resultante interação tons. Veremos, logo a seguir, outras implicações de uma proporção ser racional ou irracional. Vimos, na subseção 2.2.3 *Percepção de Intervalos Musicais*, que extrair a raiz quadrada equivale a uma divisão geométrica em duas proporções iguais, isso implica que a divisão geométrica produz relações irracionais. Mais exemplos encontram-se no Anexo V.2.

Um cent (centésimo) equivale a uma Divisão Geométrica da Oitava em 1.200 partes, ou ainda a Divisão Geométrica do Semitom do Temperamento Igual em 100 partes. O cent é, portanto, uma unidade de medida de intervalos musicais que tem como base o Temperamento Igual. Uma vez que o Temperamento Igual é uma Divisão Geométrica da Oitava em 12, os intervalos do Sistema Temperado são descritos por relações irracionais – como [2<sup>1/2</sup>:1] que, como já foi pronunciado, equivale a uma divisão da Oitava em duas partes iguais, ou seja, o Trítone Temperado. O valor em

cents de uma razão  $R$  pode ser adquirido pela expressão da Equação 6<sup>37</sup>. Seguindo com os exemplos da Tabela I.1, para as razões  $[9:5] = 1.8$  e  $[2:1] = 2$ , temos:

$$\text{Log}_2(1.8) \times 1.200 = 0.848333... \times 1.200 = 1.018 \text{ cents}$$

$$\text{Log}_2(2) \times 1.200 = 1 \times 1.200 = 1.200 \text{ cents}$$

Quanto à representação em cents do intervalo irracional  $[2^{1/2}:1]$ , como se trata de uma Divisão Geométrica da Oitava, há um outro método de calcular diretamente em cents. A representação em cents é, por natureza, geométrica, logo, a Divisão Geométrica em dois pode ser obtida por uma Divisão Aritmética em cents. Como a Oitava contém 1.200 cents, a sua metade equivale à Divisão Aritmética em dois, portanto, 600 cents. Pela medida em cents, podemos aferir, com boa precisão, as diferenças entre diversos intervalos musicais ou Sistemas de Afinação. Por exemplo, o intervalo justo de uma Quinta  $[3:2]$  tem, aproximadamente, 702 cents, enquanto a Quinta do Temperamento Igual equivale a 700 cents.

**Tabela I.2** – Intervalos musicais em cents.

<b>Temperamento Igual:</b>	<b>Intervalos microtonais temperados comuns:</b>	<b>Intervalos Justos:</b>
C - 0 cents		$[16:15] = 111.73... \text{ cents}$
C# - 100 cents		$[9:8] = 203.91 \text{ cents}$
D - 200 cents		$[8:7] = 231.17... \text{ cents}$
E $\flat$ - 300 cents	1/3 de tom = 66.66 cents	$[7:6] = 266.87... \text{ cents}$
E - 400 cents	1/4 de tom = 50.00 cents	$[6:5] = 315.64... \text{ cents}$
F - 500 cents	1/5 de tom = 40.00 cents	$[11:9] = 347.4... \text{ cents}$
F# - 600 cents	1/6 de tom = 33.33 cents	$[5:4] = 386.31... \text{ cents}$
G - 700 cents	1/8 de tom = 25.00 cents	$[9:7] = 435.08... \text{ cents}$
G# - 800 cents	1/12 de tom = 16.66 cents	$[21:16] = 470.78... \text{ cents}$
A - 900 cents		$[4:3] = 498 \text{ cents}$
B $\flat$ - 1.000 cents		$[7:5] = 582.51... \text{ cents}$
B - 1.100 cents		$[3:2] = 702 \text{ cents}$
C - 1.200 cents		

## I.b Afinação Justa e Temperamento

Os Sistemas de Afinação Justa são formados apenas por intervalos justos (esses formados por razões de números inteiros como na Série Harmônica). Em contrapartida, intervalos temperados não podem ser representados por relações de números inteiros (e também não podem ser encontrados na Série Harmônica). Partindo, ainda, do ideal de que instrumentos musicais geram

<sup>37</sup> Cents = 1.200  $\text{Log}_2(R)$ , apresentada no Capítulo 1.

vibrações complexas e harmônicas, intervalos temperados geram mais Batimentos e Rugosidade do que intervalos justos, pois não há como coincidir parciais harmônicos em relações inarmônicas. A diferença na sonoridade de intervalos justos e temperados se baseia, principalmente, nessa questão do alinhamento dos parciais em espectros harmônicos, que está, intimamente, ligada ao conceito de Dissonância Sensorial (apresentado no Capítulo 2). Temperar significa, portanto, “desajustar” um intervalo justo, de modo que ele seja uma boa aproximação do mesmo, logo, um temperamento não deixa de estar relacionado ao modelo de Afinação Justa. Na Tabela I.3, ressaltamos as diferentes propriedades entre intervalos justos e temperados.

**Tabela I.3 – Intervalos Justos *versus* Temperados**

<b>Justos</b>	<b>Temperados</b>
Racionais / Possuem relações de números inteiros	Irracionais / Não possuem relações de números inteiros
São harmônicos / Pertencem à Série Harmônica	São inarmônicos / Não pertencem à Série Harmônica
Alinhamento de parciais em espectros harmônicos – Menos Batimentos/Dissonância Sensorial	Desalinhamento de parciais em espectros harmônicos – Mais Batimentos/Dissonância Sensorial
Formam ondas sonoras periódicas	Não formam ondas sonoras periódicas
Divisões Aritméticas e Harmônicas	Divisões Geométricas (proporcionalmente iguais)

Todavia, instrumentos musicais não produzem tons musicais com espectros idealmente harmônicos, sempre há um leve índice de inarmonicidade. Por esse motivo e outros fatores constituintes do som como transientes e formantes, intervalos ligeiramente inarmônicos (que são, na verdade, aproximações de intervalos justos) não comprometem, significativamente, o alinhamento de parciais e a percepção de Dissonância Sensorial. Esse comprometimento já foi discutido por Plomp e Levelt (1965) e foi estudado em detalhes no Capítulo 3, o Anexo IV ainda traz mais uma discussão sobre esse assunto, envolvendo o Sistema de Afinação de Partch.

Não obstante, o modelo de Afinação Justa é altamente correlacionado ao comportamento espectral dos tons musicais e, de fato, um nível mais baixo de Dissonância Sensorial é obtido nesses intervalos justos, fato pelo qual esse modelo tem sido empregado como estrutura elementar, no decorrer da História (Vide Anexo II *Apanhado Histórico*).

### **I.c Intervalos Justos e Série Harmônica**

Esta subseção depende, em boa parte, da representação gráfica da Figura I.1. Nela, temos o modelo da Série Harmônica representado na pauta tradicional, como um mecanismo para compor e decompor intervalos justos. Fica implícito, assim, que o numerador e o denominador de um

intervalo justo podem ser representados pelos parciais da Série Harmônica – de modo que [6:5] é o intervalo entre o 6° e o 5° parcial (Terça Menor entre Mi e Sol na Figura I.1).



Figura I.1 – Série Harmônica com os termos e seus valores em cents, comparados com intervalos temperados microtonais. As aproximações microtonais são representadas por frações do Tom Temperado. Por exemplo, “-1/12”, no quinto termo, significa Mi abaixado um Doze Avos de Tom. Abaixo do valor em cents, a diferença, também em cents, do termo na Série Harmônica e sua aproximação na pauta. Ainda no exemplo do quinto termo, sua aproximação um Doze Avos de Tom abaixo possui 384 cents, sendo que seu valor real (386 cents) é 2 cents acima (+2).

Vemos, na Figura I.1, que a progressão geométrica de razão 2 (1 – 2 – 4 – 8 – 16 – 32) representa, claramente, uma progressão de Oitavas. Ou seja, as potências de 2 correspondem à fundamental da Série Harmônica, que é o ponto de partida de um Sistema de Afinação Justa. Por esse motivo, na Figura I.1, o valor em cents dos termos da série harmonia em potência de dois é zero. Outros termos da Série Harmônica em relação geométrica de razão dois, como (3 – 6 – 12 – 24) e (5 – 10 – 20), possuem o mesmo valor em cents, por também estarem em relação de Oitava.

Um intervalo musical (razão numérica) pode ser composto pela superposição de outros intervalos (uma razão composta por outras), como a Nona Maior [9:4] que pode ser decomposta em duas Quintas [3:2] x [3:2]. Os únicos intervalos musicais que não podem ser decompostos são os formados por números primos (destacados em asterisco na Figura I.1).

Por praticidade, adotamos uma equivalência de Oitavas e os termos são descritos por seus valores em cents relacionados às potências de 2 (Oitavas da fundamental) anteriores. Nesse procedimento, o número primo 5 (quinto múltiplo em relação à fundamental), em vez de ter seu valor em cents igual a duas Oitavas mais uma Terça Maior [5:1] (2.786 cents), é representado em cents pela sua relação com a potência de dois anterior – o 4º termo da série, duas Oitavas acima da fundamental – formando uma Terça Maior [5:4] de 386 cents (relação entre Mi e o Dó central na Figura I.1).

Da mesma maneira, os números primos 3 e 7, implicitamente, correspondem aos intervalos de [3:2] (Quinta – 702 cents) e [7:4] (Sétima Menor – 969 cents). Assim, cada número primo representa um intervalo musical único, sendo que os outros intervalos são formados pela superposição desses números primos. Por exemplo, o 15º termo (representado pela Sétima Maior [15:8] – 1.088 cents), pode ser decomposto pelos números primos 3 e 5, o que significa que é a superposição de uma Quinta [3:2] (intervalo do número primo 3) e uma Terça Maior [5:4] (intervalo do número primo 5), ou seja, [3:2] x [5:4] = [15:8].

É preciso deixar claro que “somar” intervalos significa multiplicar suas razões, uma vez que estamos trabalhando com relações logarítmicas e não lineares. Logo, duas Oitavas [4:1] é resultado da multiplicação das proporções da Oitava [2:1] x [2:1]. Da mesma maneira, “subtrair” intervalos implica dividir as razões. Assim, [4:3] (Quarta Justa) é resultado da divisão da Oitava pela Quinta ([2:1] ÷ [3:2] = [2:1] ÷ [2:3] = [4:3]). Por fim, uma razão, por si mesma, já representa uma “subtração” ou uma “diferença”, afinal, a razão “seis para cinco” [6:5] pode ser lida como a fração “seis dividido por cinco”, e é, no contexto de relações na Série Harmônica, o mesmo que “seis menos cinco”, ou a diferença entre o 6º e o 5º termo da Série Harmônica. Para encontrarmos o valor em cents desse intervalo, basta subtrair o valor em cents do sexto termo e do quinto termo (702 - 386 = 316).

Esse mesmo intervalo [6:5] decomposto em números primos – desconsiderando, por praticidade, o fator primo 2 (Oitava) – é formado pelos fatores 3 e 5. O numerador 6 é a Oitava acima de 3 (Quinta Justa), e o denominador 5 é a Terça Maior. Logo, trata-se da diferença entre a Quinta Justa e a Terça Maior, ou ainda, Uma Quinta Justa menos uma Terça Maior, que resulta em uma Terça Menor ( $[3:2] \div [5:4] = [3:2] \times [4:5] = [6:5]$ ).

Outro exemplo: na Sétima Menor [9:5], o numerador 9 representa uma superposição de Quintas ( $3 \times 3$ ), logo, trata-se da diferença entre duas Quintas (Uma Nona Maior) e uma Terça Maior ( $[3:2] \times [3:2] \div [5:4] = [9:4] \div [5:4] = [9:4] \times [4:5] = [9:5]$ ). Um outro caminho para compor esse intervalo é partir de uma Terça Menor [6:5] e somar uma Quinta [3:2] a ele ( $[6:5] \times [3:2] = [9:5]$ ). Isso significa que podemos combinar e compor intervalos musicais de diversas maneiras, sendo que algumas delas resultam na mesma razão. Os diversos caminhos de composição e decomposição ficarão mais claros com a explicação dos Diagramas Reticulares (subseção I.e).

## I.d Limite de Afinação Justa

A Tabela I.4 traz os números primos da Figura I.1 e seus respectivos intervalos, a maioria dos Sistemas de Afinação são formados por combinações de Oitavas, Quintas, e Terças Maiores, respectivamente os números primos 2, 3 e 5. Os outros se tornam raros na medida em que se tornam maiores, culminando em, praticamente, uma abstração teórica a partir do número primo 17.

**Tabela I.4** – Intervalos justos representados por Números Primos

2 – Oitava	[2:1]	1.200 cents
3 – <i>Quinta</i>	[3:2]	702 cents
5 – <i>Terça Maior</i>	[5:4]	384 cents
7 – Sétima Menor	[7:4]	969 cents
11 – “ <i>Quarta Aumentada</i> ”	[11:8]	551 cents
13 – “ <i>Sexta Neutra</i> ”	[13:8]	840 cents
17 – “ <i>Semitom</i> ”	[17:16]	117 cents
19 – “ <i>Terça Menor</i> ”	[19:16]	297 cents
23 – “ <i>Tritono + 1/6 de Tom</i> ”	[23:16]	628 cents
29 – “ <i>7m + 1/6 de Tom</i> ”	[29:16]	1.029 cents
31 – “ <i>Quarto de Tom abaixo</i> ”	[31:16]	1.145 cents

Um Sistema de Afinação Justa contém apenas intervalos justos. Esses Sistemas, como são inúmeras as possibilidades de combinações e agrupamentos de intervalos justos, podem ser categorizados de acordo com os números que formam as razões/intervalos. Uma maneira de categorizá-los é pelo do conceito de Limite .

O Limite de um intervalo é seu fator primo mais alto, assim, a proporção [21:10] – que contém os fatores primos 3, 5 e 7 – está no Limite-7. Um sistema de Afinação Justa pode conter intervalos em Limites diferentes (como no Limite-3, Limite-5 e Limite-7), porém, dentre os intervalos de um Sistema de Afinação, apenas o intervalo com o Limite mais alto é que define o Limite de um Sistema de Afinação Justa, como no exemplo da Tabela I.5, que está no Limite-7.

**Tabela I.5** – Exemplo da Afinação *Centaur*, de Kraig Grady

<u>Nota</u>	<u>Cents</u>	<u>Razão</u>	<u>Limite</u>
C	0	[1:1]	Limite-1
<b>C#</b>	<b>84</b>	<b>[21:20]</b>	<b>Limite-7</b>
D	204	[9:8]	Limite-3
<b>D#</b>	<b>267</b>	<b>[7:6]</b>	<b>Limite-7</b>
E	386	[5:4]	Limite-5
F	498	[4:3]	Limite-3
<b>F#</b>	<b>583</b>	<b>[7:5]</b>	<b>Limite-7</b>
G	702	[3:2]	Limite-3
<b>G#</b>	<b>765</b>	<b>[14:9]</b>	<b>Limite-7</b>
A	884	[5:3]	Limite-5
<b>A#</b>	<b>969</b>	<b>[7:4]</b>	<b>Limite-7</b>
B	1.088	[15:8]	Limite-5
C	1.200	[2:1]	Limite-2

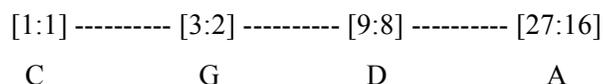
A relação entre Dissonância Sensorial, intervalos justos e seus Limites foi exemplificada no Capítulo 3. O sistema de Afinação Justa é tido como “puro” porque, para tons musicais, as relações harmônicas de números inteiros pequenos resultam em consonâncias perfeitas, enquanto que números maiores (ou proporções numéricas mais complexas) geram dissonâncias.

## **Le Diagramas Reticulares de Afinação Justa**

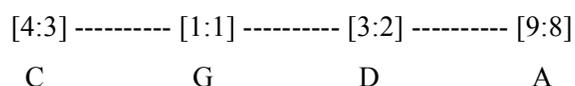
Um Sistema de Afinação Justa pode ser representado em um Diagrama Reticular, que é um gráfico n-dimensional, no qual **n** é o número de Limites representados pelo Diagrama. Por praticidade, desconsideramos o Limite-1 (Unísono) e o Limite-2 (Oitava), o que significa novamente que estamos considerando apenas intervalos transpostos dentro de uma Oitava, ou seja, partimos da idéia que Sistemas de Afinação se repetem igualmente a cada Oitava. Considerando apenas o Limite-3, o seu diagrama reticular resultará em um gráfico unidimensional, enquanto que um Sistema de Afinação no Limite-7 – com intervalos musicais no Limite-3, Limite-5 e Limite-7 – resultará em um gráfico tri-dimensional.

O gráfico, em forma de rede, tem como ponto de partida a proporção [1:1] – o Unísono – que é o tom inicial de qualquer Sistema de Afinação e corresponde à Fundamental (1º termo) do modelo da Série Harmônica. Tomando como exemplo uma Afinação Justa no Limite-3 (formado

por sucessões de Quintas), cada ponto seguinte do ponto de partida [1:1] corresponde a uma superposição de Quintas, de modo que a rede, com quatro pontos, se configura da seguinte maneira:



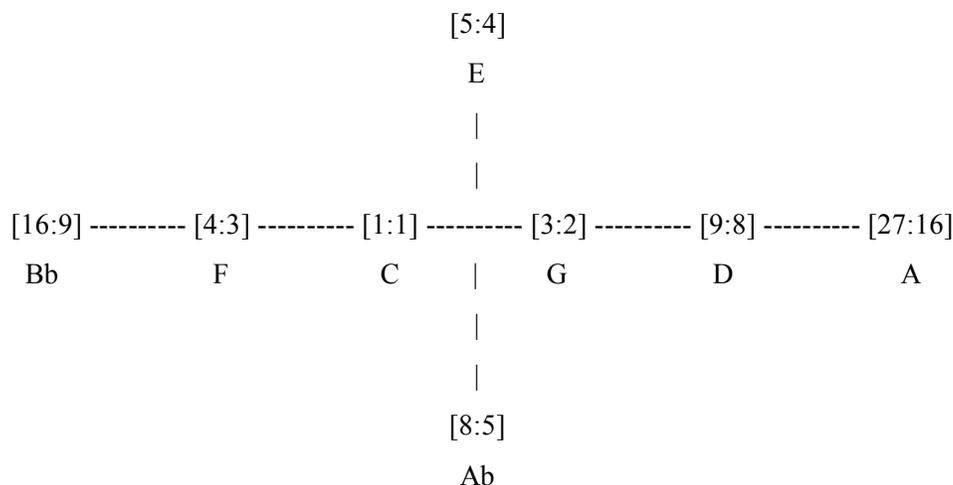
A relação entre os pontos adjacentes é sempre de [3:2]. Podemos mudar o ponto de partida deste gráfico, para que o tom G (Sol) seja representado pela proporção [1:1], o resultado é o seguinte:



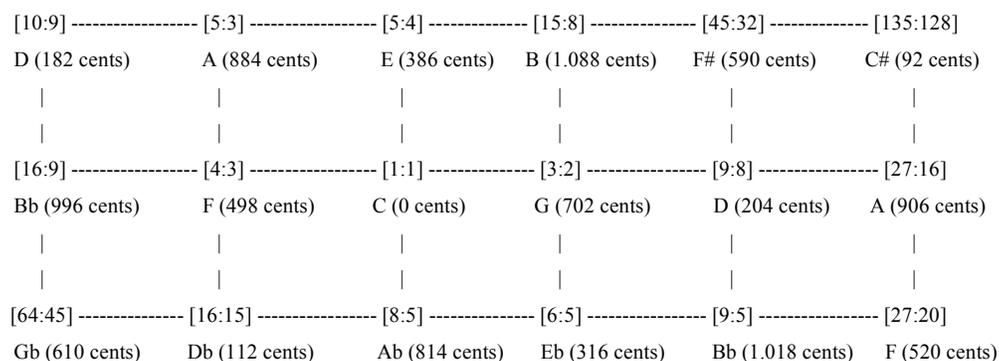
A relação entre C e G continua sendo de uma Quinta [3:2], mas tendo o G como ponto de partida, o C está em uma relação de Quarta Justa [4:3] em relação ao G. A Quarta Justa [4:3] é o intervalo invertido na Oitava da Quinta Justa [3:2]. Logo, temos dois sentidos para seguir do ponto de partida, um será uma sucessão de Quintas e o outro uma sucessão de Quartas. O sentido das Quintas é “positivo”, ao caminhar nesse sentido estaremos acrescentando Quintas, já o sentido das Quartas é negativo, e significa o mesmo que subtrair Quintas ou acrescentar Quartas. Nos diagramas aqui apresentados, arbitrariamente, o sentido da direita foi escolhido como a sucessão de Quintas (positiva), e o da esquerda (negativa), a sucessão de Quartas. O próximo exemplo possui seis pontos:



Ainda tendo esse último diagrama como referência, adicionaremos uma nova dimensão a ele. Essa nova dimensão representará intervalos no Limite-5, assim, o Limite-3 continua representado pela dimensão horizontal, e o Limite-5 pelo eixo vertical. Da mesma maneira, um sentido será positivo e outro negativo. Escolhemos que a direção para cima seja a positiva (Sucessão de Terças Maiores) e, para baixo, negativa (Sucessão de Sextas Menores, inversão da Terça Maior). O exemplo seguinte acrescenta dois pontos partindo de C, uma Terça Maior acima, e uma Terça Maior abaixo.



O diagrama seguinte acrescenta pontos acima e abaixo de todos os pontos do último diagrama. Para obtermos uma maior precisão dos pontos, o próximo diagrama contém também os valores em cents dos intervalos.



O gráfico, agora, possui 6 pontos em cada uma das três linhas horizontais, e seis colunas verticais. Ao percorrermos a rede nas linhas horizontais, ainda estamos operando na dimensão das Quintas, como [15:8], que está uma Quinta acima de [5:4], e assim por diante. Uma propriedade dos diagramas é que se invertemos o sentido de um caminho qualquer, partindo de [1:1], chegamos ao seu intervalo invertido<sup>38</sup>. O caso mais simples já foi descrito – F [4:3] é a inversão de G [3:2]. Outro exemplo: F# [45:32] é a inversão de Gb [64:45], Eb [6:5] é a inversão de A [5:3], etc.

Os nomes tradicionais dos tons, representados por letras, são de caráter demonstrativo, para dar uma idéia aproximada (relacionada à percepção categórica) do valor, em relação ao nosso Sistema Temperado. Para uma precisão mais acurada, temos os valores em cents. Assim, podemos

<sup>38</sup> Para encontrar o valor em cents da inversão de um intervalo, apenas subtraímos seu valor em cents de 1.200 (valor da Oitava).

comparar os intervalos de [9:5] e [16:9] (ambos denominados de “Bb”) e aferir a diferença de 22 cents<sup>39</sup> entre eles.

A propriedade mais interessante dos Diagramas Reticulares é a de apontar o “caminho” que compõe um intervalo. Seguindo o exemplo que já trabalhamos anteriormente, [6:5] (Terça Menor) pode ser claramente compreendido como somar uma Quinta [3:2] e subtrair uma Terça Maior [5:4]. Fica óbvio, também, que o caminho para [6:5] pode ser o de primeiro subtrair uma Terça Maior (chegando em [8:5]) e depois somar uma Quinta.

O próximo Diagrama (Figura I.2) representa um Sistema de Afinação no Limite-7 (Sistema de Afinação da Tabela I.5), um gráfico tridimensional, em que o eixo vertical e horizontal correspondem exatamente ao nossos diagramas no Limite-5, e o novo eixo do Limite-7 segue em apenas um sentido, o positivo.

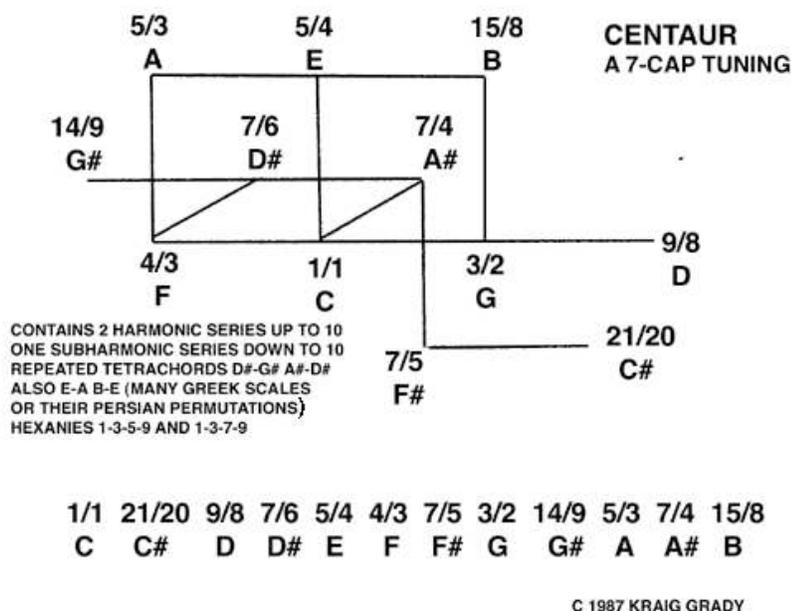


Figura I.2 – Diagrama da Afinação *Centaur* de Kraig Grady.

O próximo Diagrama é bidimensional, porém, está no Limite-7. Acontece que os intervalos no limite-5 não foram utilizados, assim, temos apenas duas dimensões – o eixo horizontal (Limite-3) e o eixo vertical (Limite-7). Este diagrama representa o Sistema de Afinação Justa de La Monte Young para sua obra *The Well Tempered Piano*. Os nomes tradicionais das notas representam as

<sup>39</sup> No Anexo II *Apanhado Histórico*, veremos que essa diferença corresponde à Coma Sintônica ou Ptolemaica.

teclas do piano, que foram afinadas de acordo com as respectivas proporções, tendo como ponto de partida o Eb.

[49:32]	-----	[147:128]	-----	[441:256]	-----	[1323:1024]		
<b>B</b>		<b>F#</b>		<b>C#</b>		<b>G#</b>		
[7:4]	-----	[21:16]	-----	[63:32]	-----	[189:128]	-----	[567:512]
<b>C</b>		<b>G</b>		<b>D</b>		<b>A</b>		<b>E</b>
[1:1]	-----	[3:2]	-----	[9:8]				
<b>Eb</b>		<b>Bb</b>		<b>F</b>				

Esse modelo de elaboração de Sistemas de Afinação é um procedimento usual na teoria de Afinação Justa (vide Anexo II *Apanhado Histórico*). Partindo de intervalos justos encontrados na Série Harmônica, podemos combiná-los de acordo com os números primos. O conceito de Limite e o Diagrama Reticular provêm uma forma de categorizar e representar intervalos justos. Dessa maneira, cada sistema de Afinação Justa está em um determinado Limite e possui seu respectivo Diagrama Reticular. Em outra instância, o próprio esquema do Diagrama Reticular serve como ferramenta de elaboração de Afinações Justas, ao inserir e excluir pontos em uma rede. No Anexo II, traçaremos um panorama dos Sistemas de Afinação, tendo como fio condutor o conceito de Limite. O Anexo II se vale dos princípios apresentados neste Anexo para traçar um panorama histórico sobre Sistemas de Afinações – um embasamento para questões discutidas no Primeiro Capítulo. O Anexo IV traz uma última discussão sobre Afinação Justa, e a relação entre Escala e Espectro, a partir do trabalho de Harry Partch (1974).

Diagramas com mais de três dimensões, como é o caso do Diagrama Reticular do Sistema de Partch no Limite-11, deixam de ser uma representação visual simples. O exemplo a seguir, na Figura I.3, é o Diagrama desenvolvido por Joe Monzo<sup>40</sup>. Cada uma das quatro dimensões (Limites) é representado por um ângulo no gráfico. Tomemos uma linha horizontal para demarcar o ângulo de 0 graus, no ponto que corresponde às 9 horas de um relógio e, no sentido horário, contamos os graus dos ângulos que correspondem às dimensões e Limites. Assim, a dimensão das Quintas (Limite-3) se encontra em um eixo em torno de 120°, a de Sétimas (Limite-7) em torno de 205°, a de Terças Maiores (Limite-5) em torno de 220°, e a de Décima Primeira (Limite-11) em torno de 260°.

<sup>40</sup> Disponível em: <<http://www.tonalsoft.com/monzo/partch/43lattice.htm>>.

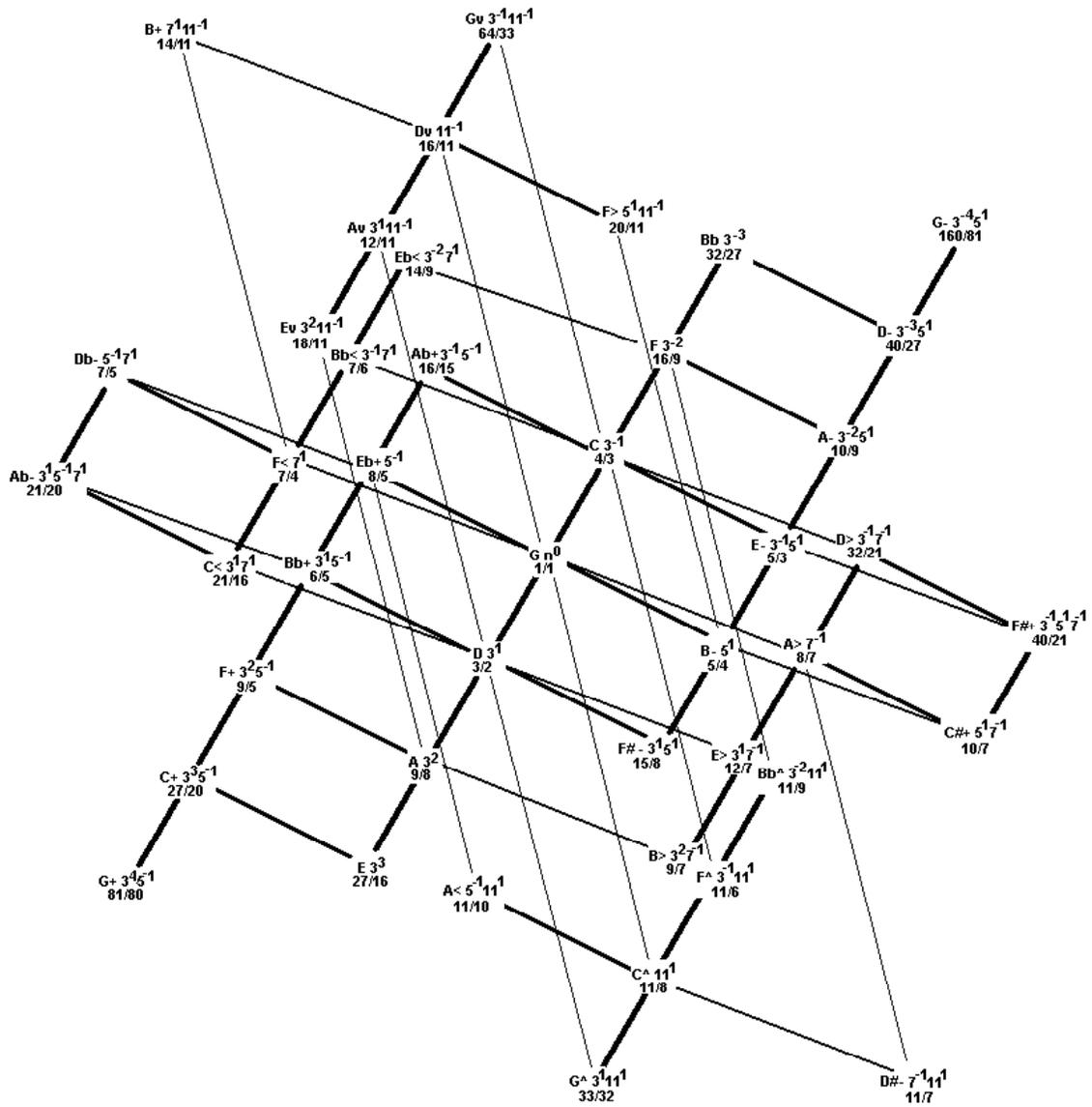


Figura I.3 – Diagrama do Sistema de Partch.

## **ANEXO II:**

### **Apanhado Histórico**

---

"And above all, this [Equal Tempered] scale is not the last word, the ultimate goal of music, but rather a provisional stopping place. The overtone series, which led the ear to it, still contains many problems that will have to be faced. And if for the time being we still manage to escape those problems, it is due to little else than a compromise between the natural intervals and our inability to use them — that compromise which we call the tempered system, which amounts to an indefinitely extended truce. This reduction of the natural relations to manageable ones cannot permanently impede the evolution of music; and the ear will have to attack the problems, because it is so disposed."

— Arnold Schönberg (1874 - 1951),  
Harmonielehre, (1911) [p. 25]

Neste Anexo, apresentamos um apanhado histórico que expõe a evolução dos Sistemas de Afinação Justa e aproximações por temperamento até o Século XX. O conceito de Limite é adotado para descrever o desenvolvimento de Sistemas de Afinação. Logo, embutido neste texto, está a questão da minimização da Dissonância Sensorial. A relação entre Limite e Dissonância Sensorial foi mais bem detalhada na análise do Capítulo 3. Os processos criativos desenvolvidos na pesquisa, em parte, se baseiam em conceitos de Afinação Justa.

#### **II.a Afinação Justa, da Grécia ao Renascimento**

A Afinação Justa é o modelo principal de afinação, tido como o “clássico” na História. Como muitos acreditam, pode se especular que seja uma questão psicoacústica (como foi descrito no Segundo Capítulo) o que levou esse modelo a prevalecer na origem de Sistemas de Afinação na cultura ocidental. Todavia, a informação que encontramos sobre teoria musical na época da Grécia Antiga até a Idade Média se baseia, acima de tudo, em uma grande abstração teórica, matemática.

Além de que, ao contrário do que se imagina, a Afinação Pitagórica não era a base única dos Sistemas de Afinação da Grécia Antiga, tampouco o modelo “oficial”. Temos conhecimento de alguns Sistemas de Afinações conceitualmente diferentes [BARBOUR 1951], mas, de qualquer maneira, faltam registros que possam dar margem a uma análise profunda da prática musical que, de fato, ocorreu na época. É clara, pelo menos, a abstração filosófica dos pitagóricos que relacionaram a perfeição do universo às relações de números inteiros, razão pela qual a Afinação Pitagórica é baseada em relações de números inteiros pequenos – [2:1] Oitava, [3:2] Quinta e [4:3] Quarta, estética essa influente até o fim da Idade Média.

Os intervalos de [2:1], [3:2] e [4:3] definiam a estrutura básica do sistema escalar grego, o Tetracórdio (instrumento em forma de lira com 4 cordas). O registro de um Tetracórdio (intervalo entre a primeira e a última corda) era sempre o de uma Quarta Justa [4:3]. A distribuição dos outros dois intervalos nesse espaço de uma Quarta é o que define os possíveis gêneros do Tetracórdio: Diatônico, Cromático ou Enarmônico. Dois Tetracórdios podiam ser superpostos, recomeçando o ciclo um Tom [9:8] acima, ou separados por um Tom [9:8], ambos os métodos fecham um ciclo no intervalo de uma Oitava.

O Tetracórdio Diatônico continha dois Tons e um Semitom (nessa respectiva ordem), o Cromático dois Semitons e uma Terça Menor (idem), enquanto o Enarmônico possuía dois intervalos em torno de um Quarto de Tom e uma Terça Maior (idem). A Afinação Pitagórica, em vigor na Idade Média, era apenas uma das variações do gênero diatônico na Grécia Antiga. Outras variações dos Tetracórdios continham intervalos no Limite-11 e, até mesmo, intervalos não representados por proporções de números inteiros, mas sim como divisões em segmentos da corda. Essa foi a escola de Aristoxenus, que divergia da escola Pitagórica e se opunha à necessidade de se basear em relações matemáticas harmônicas [BARBOUR 1951].

**Tabela II.1 – Afinação Pitagórica (Limite-3)**

Nota	C	C#	D	Eb	E	F	F#	G	G#	A	Bb	B	C
<b>Razão</b>	[1:1]	[2.187:2.048]	[9:8]	[32:27]	[81:64]	[4:3]	[729:512]	[3:2]	[6.561:4.096]	[27:16]	[16:9]	[243:128]	[2:1]
<b>Cents</b>	0	114	204	294	408	498	612	702	816	906	996	1.110	1.200

Apesar dos diferentes modelos, apenas a Afinação Pitagórica, baseada em superposições de Quintas Justas [3:2], tornou-se o padrão durante a Idade Média como herança da cultura grega. Uma vez que todas as razões possuem apenas os fatores 2 e 3 (Tabela II.1), essa afinação está no Limite-3. A Terça Maior Pitagórica é formada por uma sucessão de quatro Quintas (proporção de [81:64]), intervalo que produz mais Batimentos que a Terça Maior representada pela proporção [5:4] (Limite-5) e era, por isso, considerada instável. Quando a entonação de Terças no limite-5 começou a ser

utilizada como consonância estável, no final da Idade Média, foi preciso revisar o Sistema de Afinação em vigor.

Diagrama Reticular da Afinação Pitagórica:

[32:27] – [16:9] – [4:3] – [1:1] – [3:2] – [9:8] – [27:16] – [81:64] – [243:128] – [729:512] – [2.187:2.048] – [6.561:4.096]  
 Eb Bb F C G D A E B F# C# G#

Entretanto, substituir alguns intervalos no Limite-3 da Afinação Pitagórica por intervalos no limite-5 resolve problemas de entonação assim como provoca outros. Por exemplo, baseando-nos no modelo de Zarlino (Tabela II.2), temos, no modo de Ré, um grave problema de entonação com a Quinta (Lá), pois a Sexta Maior [5:3] não forma o intervalo de uma Quinta [3:2] com a Segunda Maior [9:8], e sim o intervalo dissonante de [40:27], que é 22 cents (uma Coma Sintônica) menor que uma Quinta Justa [3:2]. Portanto, o modelo de Zarlino tem uma limitação de modulação grave, e o recurso adotado para a revisão dos Sistemas de Afinação foi o Temperamento, elaborado, nesse caso, para encontrar boas soluções em aproximações de Afinações Justas no Limite-5.

**Tabela II.2 – Afinação Justa de Zarlino (Limite-5)**

Nota	C	D	E	F	G	A	B	C
Razão	[1:1]	[9:8]	[5:4]	[4:3]	[3:2]	[5:3]	[15:8]	[2:1]
Cents	0	204	386	498	702	884	1.088	1.200

Passos intervalares de Tons e Semitons na Escala de Zarlino:

**Dó - Ré - Mi - Fá - Sol - Lá - Si - Dó**  
 [1:1] [9:8] [5:4] [4:3] [3:2] [5:3] [15:8] [2:1]  
 \ / \ / \ / \ / \ / \ / \ / \ /  
 [9:8] [10:9] [16:15] [9:8] [10:9] [9:8] [16:15]

Diagrama Reticular de Zarlino:

[5:3] ---- [5:4] ---- [15:8]  
**A E B**  
 | | |  
 | | |  
 [4:3] ---- [1:1] ---- [3:2] ---- [9:8]  
**F C G D**

## II.b – Temperamentos e Sistema Tonal

O princípio básico do Temperamento é o de administrar os pequenos “desajustes” em intervalos justos, para que um Sistema de Afinação contenha boas aproximações dos mesmos.

Principalmente, se busca uma aproximação de intervalos com Limites inferiores, como os intervalos de Quintas [3:2] e Terças [5:4]. A noção de intervalos temperados já existia em instrumentos como os Alaúdes, que não têm como ser afinados em entonação justa por causa das trastes fixas.

No Período Barroco, temos os Temperamentos Mesotônicos, que possibilitam modulações restritas. O primeiro temperamento, denominado Mesotônico de um Quarto de Coma<sup>41</sup>, tempera as Quintas rebaixando-as em torno de 6 cents (um quarto da Coma Sintônica), para que a sucessão de quatro Quintas resulte em um intervalo justo de [5:4] – em vez da Terça Pitagórica [81:64]. Outros Temperamentos Mesotônicos dividem a Coma de outras maneiras (como um terço, dois nonos), e a sucessão de quatro Quintas, portanto, não resulta em uma Terça Maior Justa [5:4], e sim em um intervalo levemente “impuro”.

Os Temperamentos Mesotônicos, assim, favorecem Terças mais “puras”, com o custo de Quintas mais “impuras”. Ou seja, em favor do Limite-5 em vez do Limite-3. Neles, há a possibilidade de modulações, porém restritas. Não obstante, o desenvolvimento do sistema tonal (e sua prática de modulações em todas as tonalidades) acabou por, novamente, pedir uma revisão do Sistema de Afinação utilizado na época.

Os *Bem-Temperamentos*<sup>42</sup> do Século XVIII possibilitam o uso de todas as tonalidades, porém, por serem Temperamentos Desiguais, cada tonalidade possui uma distribuição própria de intervalos, fazendo com que haja uma variação do grau de consonância e dissonância desses intervalos em cada tonalidade, sendo que as mais próximas de Dó Maior têm sonoridades mais consonantes, ou menores desajustes dos intervalos justos de [3:2] e [5:4]. Esse jogo de contrastes entre as tonalidades é uma característica importante desse tipo de Temperamento.

Ao final do Século XIX, os *Bem-Temperamentos* se tornaram cada vez menos desiguais, e a diminuição da variação de contrastes contribuiu para a prática de modulações para tonalidades cada vez mais distantes, e o uso exacerbado de cromatismos. Isso culminou na padronização do Temperamento Igual no Século XX, que possibilita a modulação para todos os tons, sendo que todos possuem a exata mesma distribuição de intervalos, e nenhum contraste.

O desenvolvimento dos Temperamentos acompanha o do sistema tonal e, ironicamente, o que iniciou como uma prática para favorecer intervalos no Limite-5 resultou em uma boa aproximação do Limite-3 (Afinação Pitagórica), uma vez que a Terça Maior do Temperamento Igual (400 cents) não é uma boa aproximação do intervalo de [5:4] (386 cents). Já a Quinta do

---

<sup>41</sup> Quando o tipo de Coma não é mencionado na literatura, como neste caso, está implícito que trata-se da Coma Sintônica ou Ptolemaica, que é a diferença entre a Terça Maior Pitagórica [81:64] e a Terça Maior Justa [5:4].

<sup>42</sup> Tradução literal do inglês *Well-Temperaments*, que implica o julgamento de valor de “Temperamentos Bem Feitos”.

Temperamento Igual (700 cents) é muito próxima de [3:2] (702 cents). A explicação é que a necessidade de modular foi mais importante do que a necessidade de possuir bons intervalos no Limite-5 (Terças e Sextas). Logo, um motivo mais prático que psicoacústico.

## **II.c – Divisões Múltiplas - O Berço da Microtonalidade.**

A maior dificuldade nos Temperamentos é o equilíbrio de desajustes em apenas 12 alturas. As Divisões Múltiplas da Oitava (divisão da Oitava em mais de 12 partes) são uma alternativa na solução dos problemas de entonação ao incluir mais notas às 12 já pré-estabelecidas. Essa prática não obteve relevância histórica, e é apenas citada por Barbour (1951) sem implicações em pesquisas atuais. Todavia, é a partir desse capítulo da História que partem alguns modelos de pesquisas microtonais no Século XX. Fato é que não foi tão incomum a construção de instrumentos de teclados com mais de 12 notas por Oitava. Esses, normalmente, possuíam uma divisão nas teclas pretas, que distinguem os acidentes de Bemóis e Sustenidos e, por isso, eram ditos Enarmônicos. Uma extensa lista de instrumentos de teclados históricos, com mais de 12 teclas por Oitava, pode ser encontrada, na seção de *download* do sítio de *internet* do construtor de instrumentos Denzil Wraight <<http://www.denzilwraight.com>>, assim como em seu artigo [WRAIGHT 2003]. Outra página da *internet* interessante, que traz diversas referências em ordem cronológica, é a da empresa do Professor e pesquisador de microtonalidade Aaron Andrew Hunt<sup>43</sup>, que produz Sintetizadores com interfaces formadas por Divisões Múltiplas da Oitava, com a possibilidade de serem afinados de diversas maneiras. A seguir, alguns exemplos de Divisões Múltiplas da Oitava, tidos nesta pesquisa como mais contundentes.

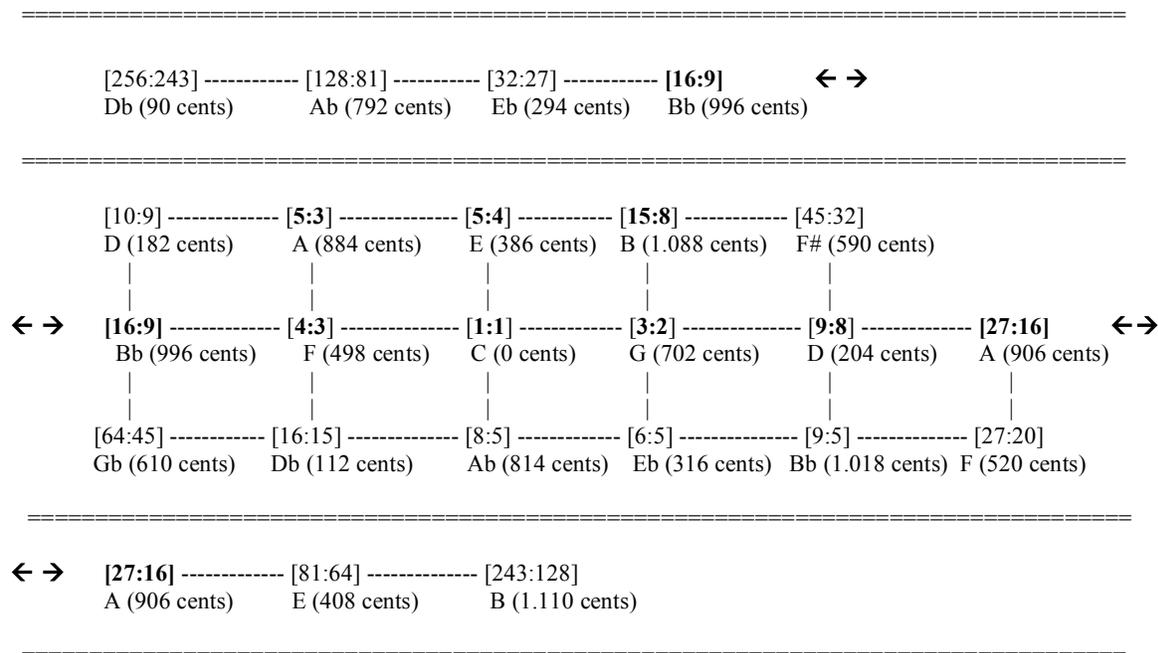
### - Ex 1) Afinação Justa da Música Clássica Indiana:

É interessante notar que as Divisões Múltiplas da Oitava, aqui no Ocidente, não partiram dos modelos de Afinação Justa, e sim de Temperamentos. A simples inclusão de intervalos no Limite-5, na Afinação Pitagórica, equivaleria ao modelo de Afinação da Índia. As escalas no sistema hindu são análogas às tonalidades maiores e menores, com 07 notas. Mas o sistema, ao todo, possui 22 notas por Oitava, os 22 “Srutis”. O Diagrama a seguir possui uma extensa sucessão de 11 Quintas (quase uma Afinação Pitagórica, que possui 12 sucessões de Quintas), que vai de Db até B, e tem em C o exato ponto médio. Por conter essa grande sucessão, o Diagrama Reticular foi desmembrado

---

<sup>43</sup> Disponível em <<http://www.h-pi.com/eop-keyboards.html>>, com um apanho desde o fim do Século XVI até a atualidade.

em três níveis, de cima para baixo, onde as setas “← →” indicam o ponto de junção dos níveis, e as razões em negrito demarcam um ponto comum entre o nível de cima com o de baixo. O nível do meio é o que possui pontos acima e abaixo no Limite-5.



- Ex 2) Vicentino e o Archicembalo:



Figura II.1 – Reprodução do Archicembalo da Universidade Técnica de Berlin.

Nicolas Vicentino (1511-1576) construiu o Archicembalo, um instrumento com seis níveis de teclas distribuídos em dois teclados (vide Figura II.2). O instrumento foi usado pelo seu criador para testar suas teorias de Afinação, primeiramente para explorar o antigo Gênero Enarmônico

grego, e era afinado em uma sucessão de 36 Quintas temperadas um Quarto de Coma abaixo, que quase fecha uma Oitava em uma sucessão de 31 Quintas, deixando 5 notas praticamente obsoletas. Por isso, apesar das 36 teclas por Oitava desse instrumento, ele é normalmente referido por ser afinado em um temperamento que divide a Oitava em 31 notas.

Vicentino encontrou no Archicembalo uma ótima ferramenta para acompanhamento musical, ela oferecia liberdade de modulação sem abrir mão das Terças Maiores [5:4], portanto, um Temperamento Mesotônico expandido, que oferecia uma boa aproximação do Limite-5.

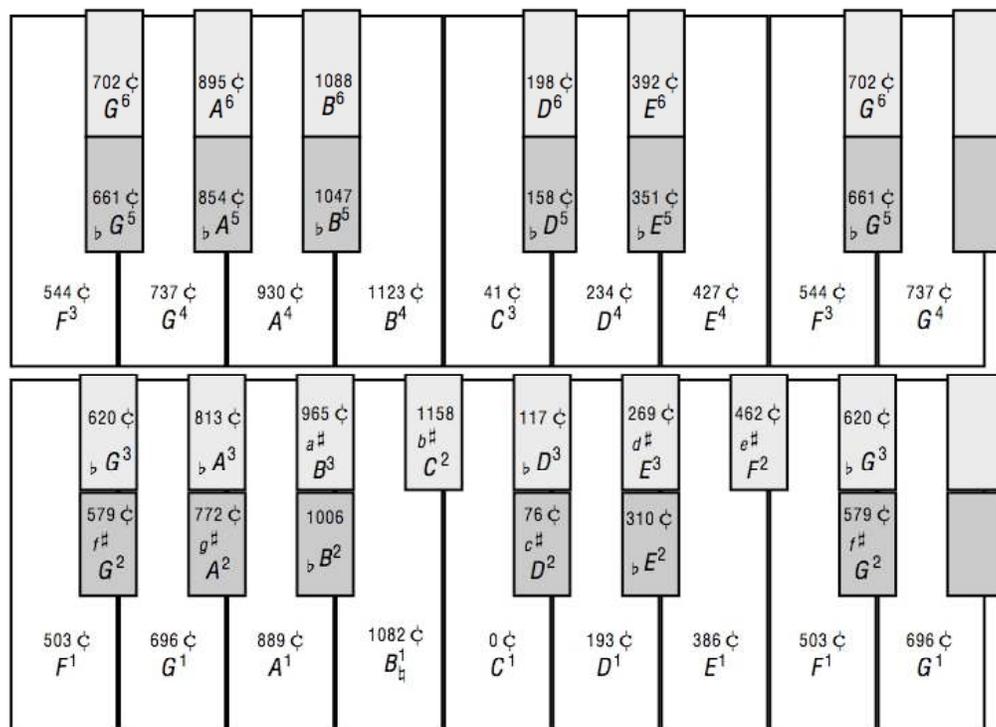


Figura II.2 – Afinção do Archicembalo em cents.

- Ex 3) Francisco de Salinas (1513 – 1590) e Gioseffo Zarlino (1517 – 1590):

Salinas e Zarlino foram os primeiros a descrever em detalhes o Temperamento Mesotônico. Salinas (1577) descreveu três tipos de Temperamento Mesotônicos (1/3, 1/4, e 2/7 de Coma), o primeiro é uma tentativa de mesclar os Gêneros gregos antigos Cromático e Enarmônico. O que Vicentino fizera com seu Archicembalo, Salinas encontrou em uma solução mais simples, com apenas 19 teclas por Oitava. A sucessão de 19 Quintas, temperadas um Terço de Coma abaixo, quase resulta em uma Oitava, ou seja, um ciclo que quase se fecha. Tal Temperamento também se caracteriza como uma aproximação do Limite-5.

De maneira análoga, Zarlino trabalhou com um Temperamento Mesotônico de 2/7 de Coma expandido em mais de 12 notas por Oitava. Zarlino desenvolveu planos de diferentes divisões da Oitava. Inclusive também em um ciclo de 19 Quintas, assim como Salinas. Em 1548, Domenico da Pesaro construiu um cravo para Zarlino numa versão com 24 notas por Oitava<sup>44</sup>. No que concerne a questão de Limites, não há indícios que ambos Salinas e Zarlino buscaram ir além do Limite-5.

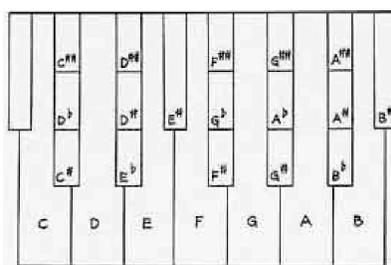


Figura II.3 – Teclado de 24 teclas de Zarlino (por Domenico da Pesaro, 1548).

#### - Ex 4) Cristiaan Huygens:

O holandês Cristiaan Huygens (1629-1695) chegou a um Temperamento similar ao de Vicentino, um ciclo fechado de 31 Quintas, em uma Divisão Geométrica (Temperamento Igual) da Oitava. Huygens demonstrou que a divisão proporcionalmente igual da Oitava em 31 notas contém intervalos muito similares ao Temperamento Mesotônico de 1/4 de Coma. Huygens também apontou como este Temperamento Igual possui uma boa aproximação de intervalos no Limite-7, o que levou Fokker a construir instrumentos nesse Sistema no Século XX (vide Figura II.6).

#### - Ex 5) 53 Notas por Oitava:

Mersenne (1588-1648) descreve o sistema de divisão da Oitava em 53 notas, proposta pelos autores gregos antigos, que é, literalmente, uma escala de Comas Pitagóricas ou uma expansão da espiral da Afinação Pitagórica<sup>45</sup>, Trata-se de uma Afinação Justa no Limite-3, porém, pelo grande número de intervalos, há uma boa aproximação do Limite-5. Essa descrição serviu de base para R. H. M. Bonaquet e Tanaka Shohé, que no fim do Século XIX construíram instrumentos afinados no Temperamento Igual de 53 alturas por Oitava, elaborados como uma boa aproximação do Limite-5.

<sup>44</sup> Disponível em: <<http://www.denzilwraight.com/24note.htm>>.

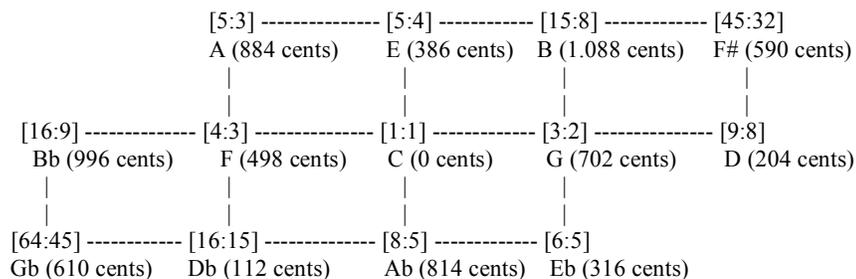
<sup>45</sup> A sucessão de 12 Quintas Pitagóricas [3:2] não resulta em uma Oitava [2:1], o que é óbvio, uma vez que, ao sobrepor (multiplicar) Quintas [3:2], nunca chegaremos a um valor de [2:1]. A cada grupo de 12 Quintas, entretanto, chegamos a um valor próximo, com diferença de 24 cents (intervalo denominado Coma Pitagórica). Estamos acostumados com um desenho do ciclo fechado de Quintas no Temperamento Igual. Isso não é possível com Quintas Justas [3:2], e o desenho se estende ao infinito em forma de espiral. No caso dessa divisão em 53 tons por Oitava, a espiral é formada por uma sucessão de 53 Quintas [3:2].



Figura II.4 – Harmônio de Bonaquet.

## II.d – Além do Limite-5

Paul Hindemith (1895-1963), no início do Século XX, comentou sobre intervalos no Limite-7, e concluiu que o uso desse material lideraria ao “caos” [HINDEMITH 1945]. Certamente, o compositor se referiu ao grande número de divisões da Oitava que um Sistema no Limite-7 implica, e dos problemas práticos embutidos. Hindemith era violinista, instrumento de livre entonação (não temperado), e descreveu seu sistema de entonação em um esquema particular, aqui transcrito em um Diagrama Reticular, no Limite-5 [HINDEMITH 1945].



Apesar da aproximação do Limite-7 com a divisão igual da Oitava em 31 notas, descrito por Huygens no século XVII, o uso de um Sistema de Afinação Justa superior ao Limite-5 (ou aproximação por temperamento) não foi adotado por nenhum compositor ocidental até o Século XX. Contudo, Giuseppe Tartini (1692-1770) desenvolveu uma notação especial para intervalos de

[7:4] (intervalo justo de Sétima Menor). Tartini, tal qual Hindemith, era violinista, mas, ao contrário de Hindemith, achou interessante explorar novas sonoridades com intervalos de Sétima Menor Justa. Outros compositores chamaram a atenção para esse intervalo, como Scriabin e Bartók. O compositor e etnomusicólogo húngaro Béla Viktor János Bartók de Szuhafő (1881-1945), assim como Tartini, marcava certos desvios de altura, ao transcrever música folclórica, que ele não considerava “desafinada”, e sim apenas fora do Sistema Temperado. Sua notação constava apenas de uma seta para cima e para baixo superior à cabeça da nota (vide Figura II.5). Bartók compreendia que divisões microtonais eram, muitas vezes, uma aproximação mais acurada do que ele ouvia (e era intencionalmente executado), e não um intervalo absoluto, necessariamente existente. Mais que advogar Sistemas Alternativos específicos, esse pensamento implica apenas que o sistema tonal é limitado em possibilidades expressivas.



Figura II.5 – transcrição de Bartók.

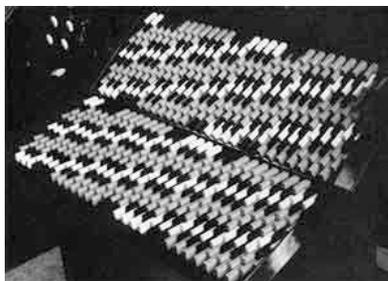


Figura II.6 – Órgão Construído por Fokker, baseado no Sistema de Huygens.

Uma verdadeira expansão de Limites está no trabalho do físico holandês Adriaan Fokker (1887-1972), que, impossibilitado de desenvolver novas pesquisas pelo regime nazista, se encontra no trabalho de seu antigo conterrâneo Huygens. Maravilhado com a possibilidade e descrição de um Sistema no Limite-7, Fokker mudou seu destino e hoje é mais conhecido por ser um incentivador de estudos microtonais. O pesquisador construiu um órgão no Temperamento Igual de 31 notas por Oitava, usado, agora, como uma aproximação do Limite-7. Não obstante, o compositor Americano Harry Partch (1901-1974) desenvolveu o Sistema de Afinação mais importante nesse sentido. Trata-se de um Sistema de Afinação Justa no Limite-11 com 43 notas por Oitava, para o qual Partch construiu diversos instrumentos. Mais sobre o Sistema de Partch se encontra no Anexo IV.



Figura II.7 – Partch e sua Marimba de Bambu, afinada no Limite-11.

No Século XX surgiram subdivisões do Tom igualmente Temperado, como Terços, Quartos, Quintos e Sextos de Tom. Porém, assim como o Temperamento Igual, estas subdivisões não são boas aproximações do Limite-5. Configurando-se apenas como expansões do Sistema Igualmente Temperado, por uma conveniente compatibilidade, esses microintervalos são muito comuns por apenas serem incluídos seguindo um padrão de divisões iguais, diferentemente de outros Sistemas de Afições alternativas como o de Harry Partch e Fokker. Todavia, é necessária uma divisão igual da Oitava em 72 partes (com passos de um Doze Avos de Tom), para que esses intervalos microtonais se aproximem bem aos intervalos no Limite-5. A divisão em Doze Avos de Tom compreende também subdivisões de Sextos e Quartos de Tom, que muito bem aproximam, respectivamente, intervalos no Limite-7 e Limite-11. Por esse motivo, Navarro (1927) apontou o sistema em Doze Avos de Tom como um modelo de aproximação de intervalos justos até o Limite-11. Mas um Sistema com tamanha divisão do Tom deixa de ser uma alternativa útil frente a um Sistema como o de Harry Partch, no Limite-11, com “apenas” 43 notas por Oitava.

A conclusão desse apanhado histórico é que Sistemas Microtonais, provenientes de subdivisões do Tom, aparecem mais por uma comodidade prática, do que uma questão acústica (Aproximação de Afição Justa/Minimização de Dissonância Sensorial). Essa questão abre o Capítulo 1, em que discutimos as abordagens de Sistemas Microtonais na música do Século XX. Neste breve apanhado, percebemos que até o Século XX, na Música Ocidental, os Sistemas de Afição Justa evoluíram de sistemas no Limite-3 (baseados em intervalos justos de Quintas) para sistemas no Limite-5 (baseados em intervalos justos de Quintas e Terças), o que gerou a necessidade do temperamento e Divisões Múltiplas.

## ANEXO III:

### Patch de Pd

---

"Probably, whenever the ear and imagination have matured enough for such [microtonal] music, the scale and the instruments will all at once be available."

— Arnold Schönberg (1874 – 1951), *Theory of Harmony* (1921) [pp. 25 – 26].

Este anexo descreve um *patch* desenvolvido em *puredata* que está centrado na implementação do modelo de Rugosidade (descrito em 2.2.1.1 *Modelo de Rugosidade*), e fornece mais detalhes como complemento do estudo ali apresentado. O modelo de Plomp e Levelt (1965) é a base de diversos modelos de Rugosidade como o de Sethares (2005), que foi adotado como ponto de partida do desenvolvimento de nosso modelo. Traduzimos a implementação fornecida por Sethares (2005) de *Matlab* para Pd (abreviação de *puredata*), porém, devido às alterações e melhorias, apenas rotinas de cálculos foram mantidas intactas. Em torno do modelo de Rugosidade, diversos módulos foram desenvolvidos. A Figura III.1 apresenta a tela inicial do *patch* e suas seções principais.

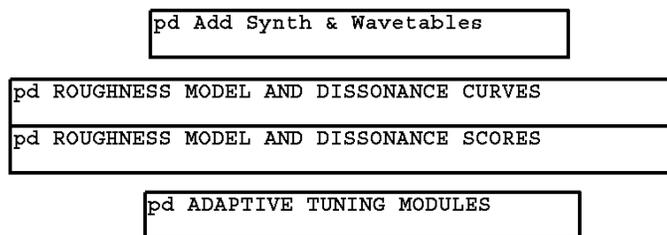


Figura III.1 – Tela Inicial do Patch em Pd

Temos, primeiramente, de cima para baixo, uma seção de síntese sonora por tabelas (*wavetables*, formas de onda ou amostras de som) e síntese aditiva. Logo abaixo, encontramos duas seções de análises: Geração de Curvas de Dissonância em *Roughness Model and Dissonance Curves*, e Análise de Rugosidade no tempo via FFT em *Roughness Model and Dissonance Scores*. Por fim, foi desenvolvida uma seção de Afinação Adaptativa, que permite ajustar a afinação de acordo com uma dada escala. A análise de Rugosidade no tempo (*Roughness Model and*

*Dissonance Scores*) é uma seção que não está diretamente vinculada às outras seções, que foram incorporadas no fluxograma da Figura III.7. O fluxograma descreve como o *patch* segue um caminho de gerar um espectro sonoro a partir da seção de síntese, gerar uma análise pelas Curvas de Dissonância e extrair uma escala do espectro, a partir de pontos máximos e mínimos (Vide Final do Capítulo 3), e, finalmente, inserir essa escala para performance nos módulos de Afinação Adaptativa.

A implementação das fórmulas descritas em 2.2.1.1 - Modelo de Rugosidade puderam simplesmente ser inseridas no algoritmo de Sethares (2005). Foram implementadas 5 conversões diferentes de Hertz para Barks em um objeto denominado *HzToCbrz*, que possui uma entrada de valores em Hertz e cinco saídas distintas, de acordo com cada procedimento de conversão. A saída mais à esquerda é a conversão sugerida por Clarence Barlow e adotada em nosso modelo. *HzToCbrz* é um de diversos conversores psicoacústicos estudados e implementados em uma biblioteca em *puredata* durante a pesquisa (vide pasta *Exemplos em Pd* no CD-ROM em Anexo).

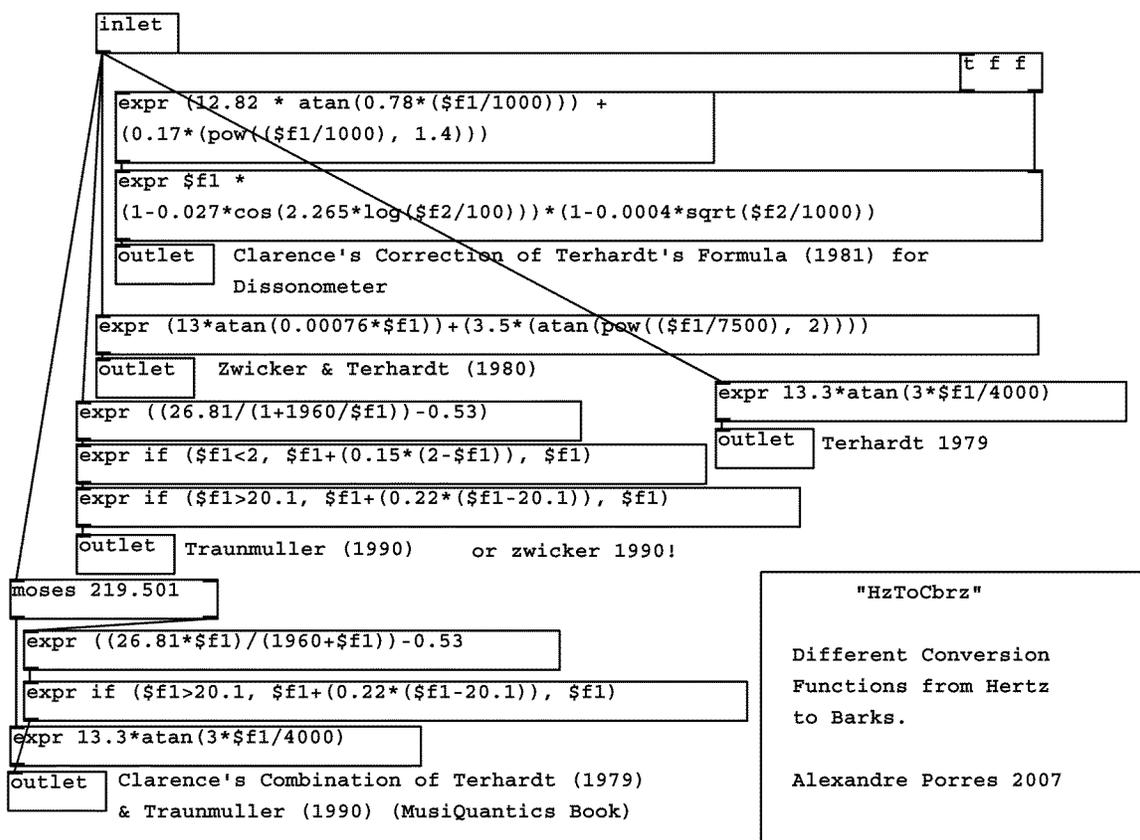


Figura III.2 – *HzToCbrz*, conversão de Hertz Para Barks no *patch*.

A conversão é necessária para acessar as aproximações da Curva de Plomp e Levelt por Sethares (2005) e Parncutt (1993), Equações 3 e 4, respectivamente, apresentadas no Capítulo 1. A Figura III.3 mostra a implementação das Equações 3 e 4 conectadas ao objeto de conversão *HzToCBRz*. Além dessas funções, adotamos a Eq. 7 de Vassilakis, cuja implementação também encontra-se na Figura III.3.

Já o trabalho de Fletcher e Munson (1933) foi implementado via uma tabela de referência que possui valores em dB e *midicents*. A tabela pode ser consultada e convertida em Amplitude Relativa com os objetos nativos do *puredata*: *f2om* e *rmstodb/dbtorms*. O diagrama da Figura 2.14 (no Capítulo 2) representa o fluxo de informação em nosso *patch*, que retorna  $R(f_1, f_2)$ , ou seja, o valor de Rugosidade para um par de frequências em Hz e suas respectivas amplitudes relativas. A partir desse modelo, é que calculamos a Rugosidade de um tom complexo, ao somar o valor de cada combinação de pares de frequências.

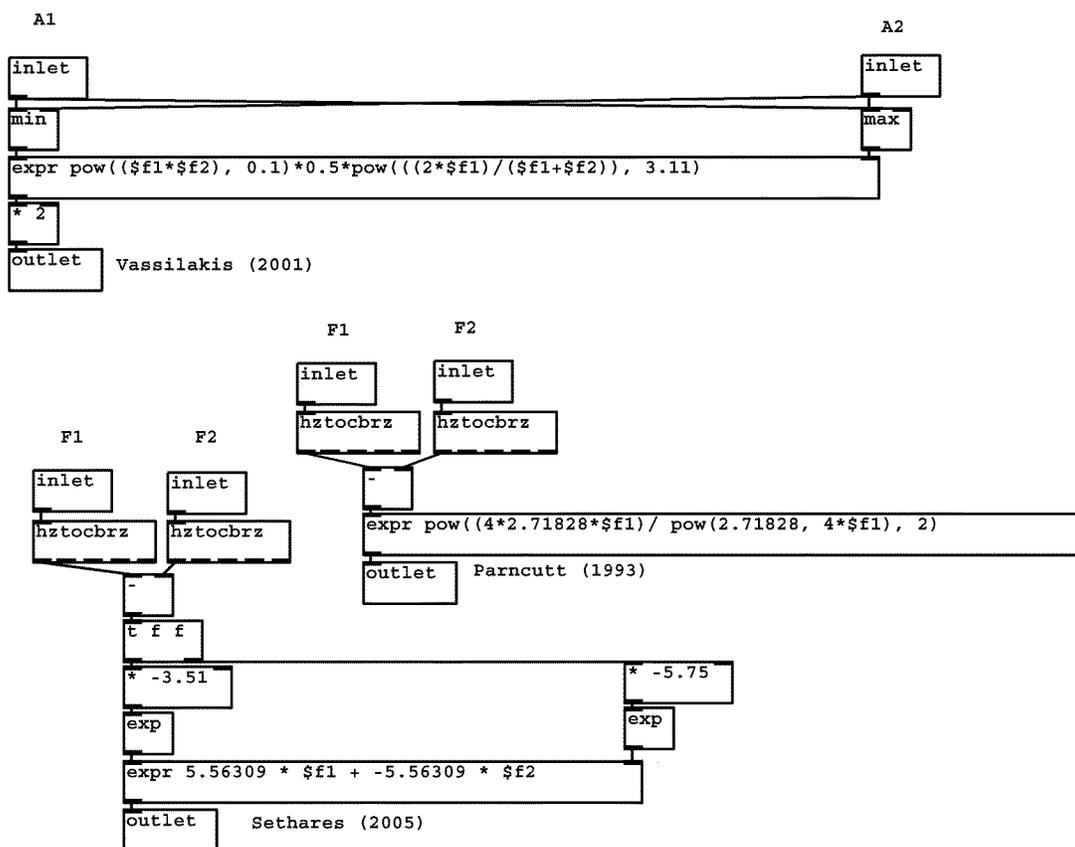


Figura III.3 – De cima para baixo, a implementação do trabalho de Vassilakis (2001), Parncutt (1993), e Sethares (2005) – como Descrito em 2.2.1.1.

É possível extrair listas de frequências e Amplitudes Relativas tanto via Síntese Aditiva quanto por amostras em *wavetables*, necessárias para dar entrada no modelo de Rugosidade. No

caso da Síntese Aditiva, 32 osciladores em paralelo fornecem a lista de Amplitudes Relativas, e geram automaticamente uma Série Harmônica (até o 32º termo) a partir de uma dada frequência fundamental. É possível, então, gerar, a partir de listas de Amplitudes Relativas, formas de onda como dente de serra e onda quadrada até 32 parciais. Pode-se, assim, escolher um *preset* de onda quadrada e limitar o conteúdo espectral de 1 a 32 parciais (vide botões relativos à presets de formas de onda, e a caixa numérica *Partial Limiter* na Figura III.4). Informações mais detalhadas encontram-se no manual do programa no CD-ROM em anexo.

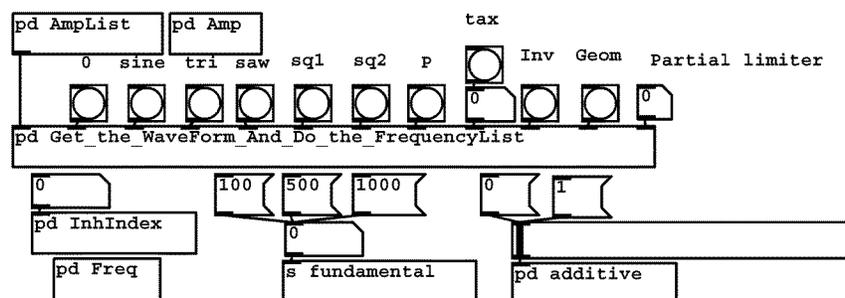


Figura III.4 – Seção de Síntese Aditiva

Outro procedimento aplica um índice de inarmonicidade que, a partir de um valor em cents, comprime (se negativo) ou expande (se positivo) o espectro original. É possível também gerar parciais em relações não harmônicas, mas em relações aritméticas e geométricas<sup>46</sup>. Os *subpatches Pd Freq* e *Pd Amp* permitem um ajuste fino da frequência e amplitude dos 32 osciladores via controle MIDI. Em última instância, uma lista de frequências e amplitudes pode ser inserida à mão. Na verdade, qualquer lista de frequências (até mais de 32 componentes) pode ser extraída de uma análise FFT e inserida na seção de síntese aditiva. Esse foi o caso da análise que está presente no Anexo IV, do espectro de um instrumento construído por Harry Partch. Em média, há um grande custo computacional para listas com mais de 32 parciais.

Tanto a seção de síntese quanto a seção de análise não fazem parte de um processo em tempo real, mas sim de um estágio de pré-processamento, que concerne o desenvolvimento de um banco de espectros sonoros e respectivas escalas derivadas. Na análise de Curvas, a lista do espectro é duplicada, e um deslocamento de uma dessas listas em cents é realizado pelo algoritmo. Isso significa que o espectro analisado pelo modelo de Rugosidade nas Curvas de Dissonância é, na

<sup>46</sup> Esse procedimento é bem incomum, e foi adotado como um meio de gerar conteúdo espectral inusitado, que remete a uma percepção de um espectro “inarmônico”. É possível também avaliar tais espectros como mais ambíguos em relação à percepção de *toneness*.

verdade, a soma de dois tons com mesmo conteúdo espectral, separados em diferentes intervalos<sup>47</sup>. A resolução da variação desses intervalos, assim como o registro, pode ser definido pelo usuário. Como *Default*, adotamos o registro de uma Oitava mais um Quarto de Tom e uma resolução de um cent, de modo que a curva possui 1.250 pontos<sup>48</sup>.

As Curvas são elaboradas a partir de um tom fixo em Hertz, que equivale à fundamental da lista de frequências do espectro. O registro do tom variante e a resolução dos passos em cents são parâmetros do *subpatch* que gera o gráfico em curvas. Um ponto inicial da análise em Semitons também pode ser definido como argumento e, se negativo, significa que o tom varia de um ponto mais grave. Por exemplo, se o registro da Curva possui 1.200 cents (uma Oitava), e o início da análise for definido como menos doze Semitons (também uma Oitava), o tom variante partirá de uma Oitava no grave até o Uníssonos em relação ao tom fixo. A análise da Figura 5 foi realizada com resolução de um cent, em um registro de 2.400 cents (duas Oitavas), e com o ponto inicial definido a menos doze Semitons. Logo, o tom variante parte de uma Oitava abaixo e percorre, em passos de um cent, até uma Oitava acima.

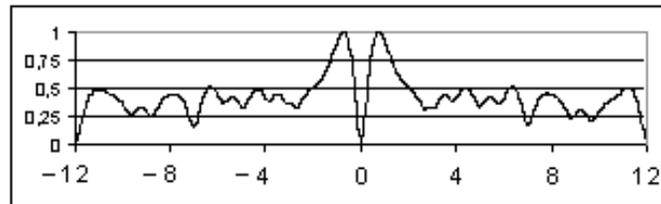


Figura III.5 – Curva de uma onda triangular com 07 parciais – o eixo X representa Semitons, e Y a Rugosidade relativa. O tom fixo é de 440Hz (no centro do gráfico), esse registro da Curva de Dissonância em duas Oitavas é de 220Hz a 880Hz – uma Oitava acima e abaixo de 440Hz.

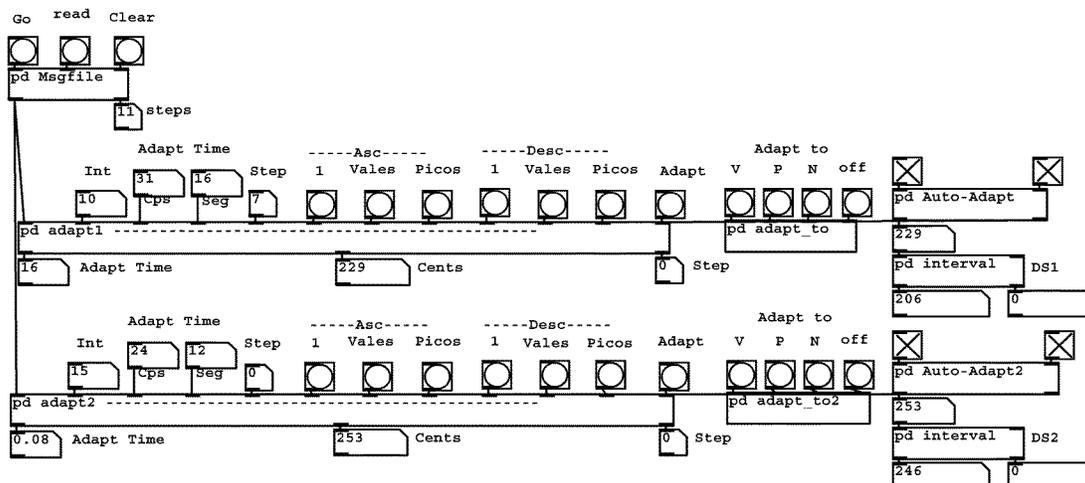


Figura III.6 – Dois módulos de Afinação Adaptativa.

<sup>47</sup> Nada impede uma alteração no algoritmo para permitir a análise de Rugosidade para dois tons de componentes espectrais distintos, como Flauta e Piano.

<sup>48</sup> Ou seja, 1.250 cents, como nas análises do Capítulo 3.

As escalas derivadas de espectros sonoros podem ser inseridas na seção de Afinação Adaptativa. Assim, um mesmo som gerado na seção de Síntese pode primeiro ter sua escala derivada pelo Modelo de Rugosidade, e depois ter sua afinação manipulada, em tempo real, pelos módulos de Afinação Adaptativa. Como controle de afinação para o processo criativo apresentado na subseção 4.4, adotamos antenas como sensores de proximidade (princípio do Theremin), baseado no trabalho de Smirnov <<http://asmir.theremin.ru/sensors.htm>>. Os parâmetros de reação do módulo são: ajustar para o passo mais próximo da escala, para o vale mais próximo, ou para o pico mais próximo.

Contudo, qualquer escala pode ser inserida nesses módulos, e não apenas as derivadas de espectros. Inclusive, uma adaptação para o banco de dados com mais de 3.000 escalas do software *Scala* <<http://www.xs4all.nl/~huygensf/scala/>> foi programada com uma rotina (em arquivo *.cmd*) de exportação do formato *.scl* para *.txt*, no formato de texto gerado pelo próprio *patch* para as escalas provenientes de análise de Rugosidade.

O conceito de Afinação Adaptativa pode, portanto, também ser independente do modelo de Rugosidade. O conceito pode ser definido como um “corretor de alturas”, que ajusta as frequências para uma escala dada. Os módulos possuem parâmetros de adaptação automática ou não. No caso de adaptações não automáticas, elas podem ocorrer em determinado tempo (em segundos) ou velocidade (cents por segundo). O fluxograma de informação do patch desenvolvido, com os controles de antenas, é representado na Figura III.7.

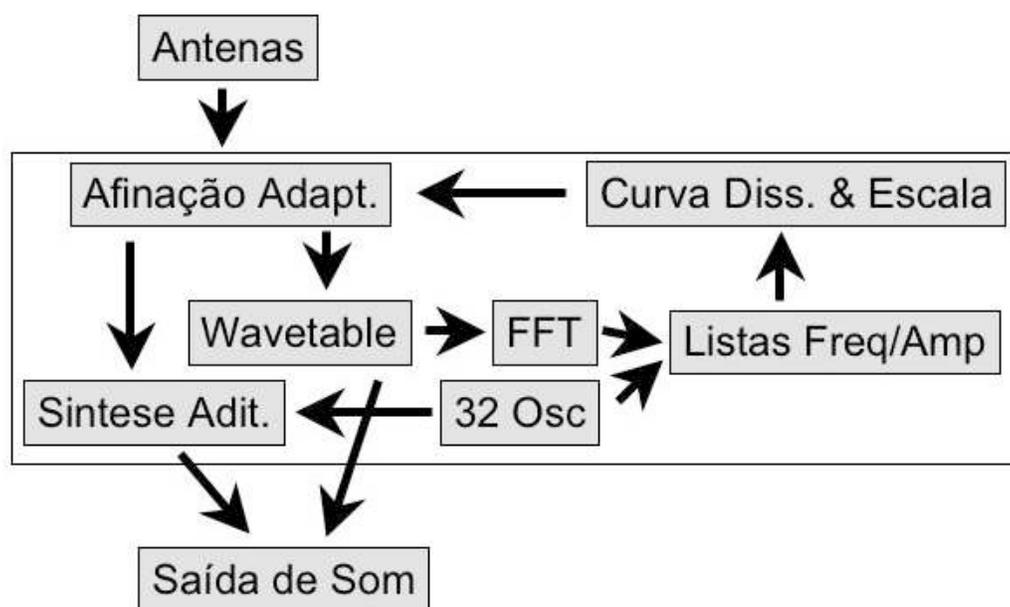


Figura III.7 – Fluxograma do *patch* de Pd, que envolve todas as seções do patch, menos as análises da seção *Roughness Model And Dissonance Scores*.

A última seção ainda não mencionada é a análise, em tempo real, de um arquivo digital (*Seção Roughness Model And Dissonance Score*). Trata-se de uma análise da Rugosidade de um som no tempo via uma FFT. Esse trabalho também se inspira no de Sethares (2005), que conduz o mesmo tipo de análise com seu modelo. O primeiro teste com a ferramenta foi feito com um arquivo de som contendo três tons complexos. O arquivo dura 30 segundos – 10 segundos para cada tom – (ver Figura III.8 e III.9), e cada tom é formado pela superposição de cinco senóides (ver Tabela III.1). O primeiro tom apresenta um conteúdo espectral mais espaçado, ou seja, um espectro mais aberto em um registro em torno de uma Sétima Maior. Esse registro diminui para uma Sexta Maior, no segundo tom, e para uma Quarta Aumentada no terceiro. Essa progressão de espectros “abertos” para “fechados” implica em um adensamento do conteúdo espectral, e quanto menores as relações intervalares entre os componentes espectrais, maior será a percepção de Rugosidade e Batimentos. Dessa maneira, com a dada progressão de tons, esperávamos um resultado crescente de Dissonância Sensorial. Tal resultado foi obtido e pode ser verificado na Figura III.8.

**Tabela III.1** – Três Tons Complexos formados pela somatória de 5 senóides.

Tom 1		Tom 2		Tom 3	
<u>Razão</u>	<u>Cents</u>	<u>Razão</u>	<u>Cents</u>	<u>Razão</u>	<u>Cents</u>
[40:21]	1.115	[27:16]	905	[11:8]	551
[18:11]	852	[40:27]	680	[5:4]	386
[11:8]	551	[9:7]	435	[7:6]	266
[7:6]	266	[9:8]	204	[12:11]	151
[1:1]	0	[1:1]	0	[1:1]	0

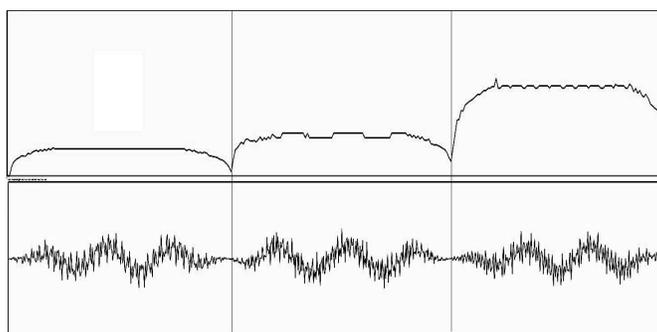


Figura III.8 – Análise da Seção *Roughness Model And Dissonance Scores*. Abaixo, representação digital do sinal sonoro analisado (tons da Tabela III.1). Acima, os resultados do modelo.

Outro exemplo é uma sucessão e superposição de senóides. Quatro senóides aparecem em seqüência, sendo sobrepostas em um trecho de transição. O modelo deveria acusar um resultado de Rugosidade apenas nos trechos de sobreposição, tal qual ocorreu e é demonstrado pela Figura III.9. Nessa Figura, temos em “b” uma representação do sinal digital sonoro, e em “a” o resultado retornado pelo modelo. Ambos os últimos exemplos encontram-se disponíveis no patch em CD-ROM, consulte o manual no CD-ROM em Anexo.

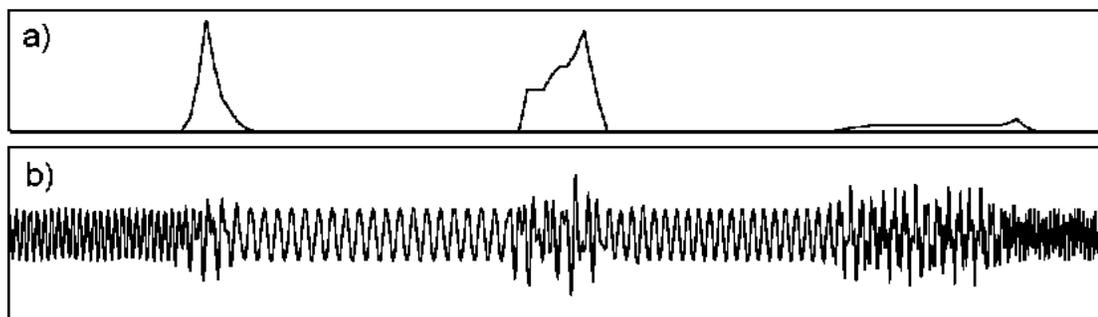


Figura III.9 – Outra análise da seção *Roughness Model And Dissonance Scores*.

Além da versão disponível no CD-ROM em Anexo (vide Anexo V), eventuais versões atualizadas do patch podem ser encontradas no endereço <<http://porres.googlepages.com/home>>. Além do *patch*, encontram-se também no CD-ROM um instalador gratuito do *software* livre *puredata*, um manual de usuário, e documentação em vídeo e foto dos primeiros experiemntos com sensores de antenas.

## ANEXO IV:

### A Escala do Chromelodeon: *DISSENS Versus One Footed Bridge*

---

"... after all, I do not know that it was so necessary to sacrifice correctness of intonation to the convenience of musical instruments"

- Hermann von Helmholtz (1821 - 1894),  
[1877 - p.327].

Este Anexo é uma Análise complementar do Capítulo 3, que retratou a relação entre Escala e Espectro. Tendo como base o *Chromelodeon* (vide Figura IV.1), Harry Partch, em seu gráfico denominado *One Fotted Bridge* [PARTCH: 1974, 155), representou o resultado da medida de consonância para todos os intervalos de seu sistema. Esse foi um teste que não contou com uma população de indivíduos, e sim apenas com a experiência pessoal e subjetiva do criador do Sistema de Afinação, onde Partch concluiu que a consonância obtida por intervalos no Limite-11 são relevantes no contexto de sons musicais (espectros harmônicos de instrumentos musicais).



Figura IV.1 – Chromelodeon, um Harmônio construído por Partch e afinado em seu Sistema com 43 notas/teclas por Oitava.

Alguns instrumentos musicais não possuem tamanha riqueza espectral a ponto de promover alinhamento de parciais em intervalos além do Limite-5 (vide o caso da Flauta Doce no Capítulo 3,

Figura 3.8), e mesmo espectros que contêm parciais correspondentes a termos mais distantes da Série Harmônica, como o 11º e o 13º, não promovem, necessariamente, consonância significativa em intervalos no Limite-11 ou Limite-13. Neste Anexo, investigamos o caso do *Chromelodeon*, ao analisar seu espectro (vide Figura IV.2) por meio do Modelo de Rugosidade. Os resultados são comparados com *One Footed Bridge*.

Baseado em estudos Psicoacústicos, os resultados do Modelo de Rugosidade apresentam uma análise mais pormenorizada, como, por exemplo, um *ranking* detalhado da consonância de intervalos no Sistema de Partch, além de fornecer dados para a investigação e discussão de quão relevante é, tendo como exemplo esse instrumento musical, a consonância de intervalos justos distantes na Série Harmônica. Ou, também, até que ponto sacrificamos, com o padrão do Temperamento Igual, a entonação em favor da prática e tradição de instrumentos musicais.

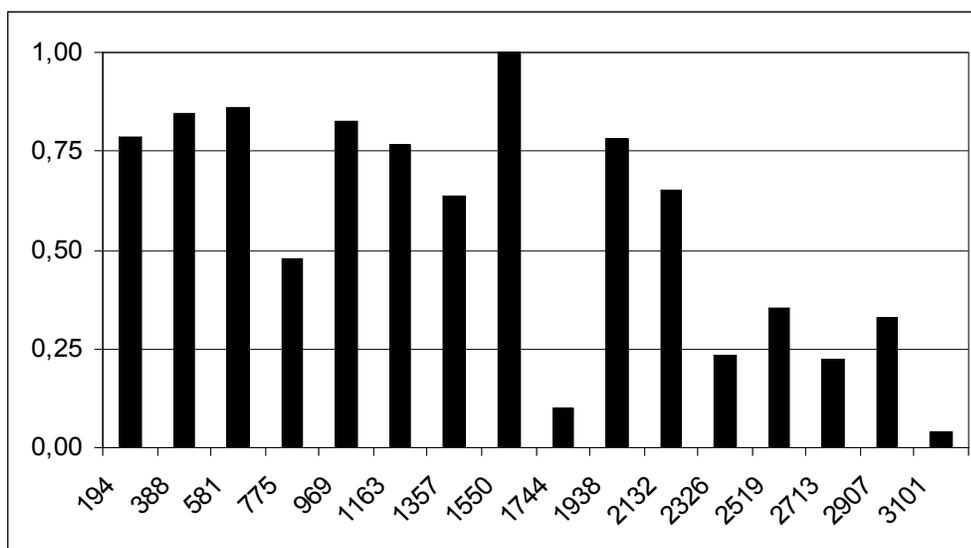


Figura IV.2 – Representação dos 16 primeiros harmônicos do Chromelodeon. Eixo vertical é a Amplitude Relativa, eixo horizontal são os valores em Hertz.

Em um sentido genérico, uma análise dessa ordem permite uma investigação de todos os Sistemas de Afinação Justa relacionados a harmônicos distantes (e não apenas desse clássico Sistema Microtonal). A análise foi possível por uma amostra de sinal de som digital do *Chromelodeon* (em torno de 194Hz), extraída de *A Quarter-Saw Section Of Motivations And Intonations* (Partch 2006) – uma gravação de caráter didático, que possibilitou a edição e extração de uma amostra de uma nota musical. A partir de uma análise FFT, nos atemos aos 16 primeiros harmônicos mais proeminentes (Figura IV.2). Esses harmônicos se mostraram o suficiente para permitir uma reconstrução desse timbre com boa resolução. A partir dessa informação, foi gerada uma Curva de Dissonância, cujo resultado foi comparado ao *One Footed Bridge*.

#### IV.1 O Sistema de Harry Partch e *One Footed Bridge*.

A partir dos experimentos de afinação com o *Chromelodeon*, Partch afirmou que, ao eliminar as sensações de Batimentos e Rugosidade, intervalos formados por relações até o 11º harmônico podem ser afinados de ouvido. Partch também constatou que, quanto menor os números inteiros, maior a consonância. Seu sistema baseia-se em duas escalas de 06 notas – as “Tonalidades” de Partch – denominadas *O-tonality* e *U-tonality*<sup>49</sup>, descritas nas Figuras IV.3 e Tabela IV.1.

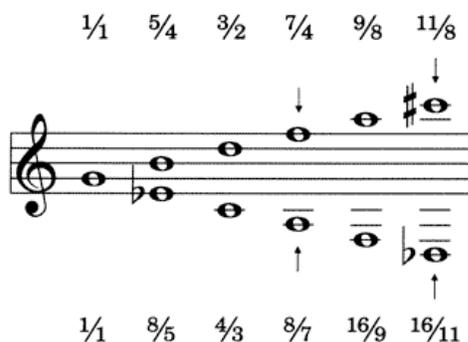


Figura IV.3 – Tonalidades de Partch na Pauta, *O-tonality* acima e *U-tonality* abaixo.

**Tabela IV.1** – Intervalos e Respectivos (Sub)Harmônicos das Tonalidades de Partch

<b><i>O-tonality</i></b>	1º - Unísono [1:1]	9º - 2ª Maior [9:8]	5º - 3ª Maior [5:4]	11º - 4ª Aumentada [11:8]	3º - 5ª Justa [3:2]	7º - 7ª Menor [7:4]
<b>Cents</b>	0	204	386	551	702	969
<b><i>U-tonality</i></b>	1º - Unísono [1:1]	7º - 2ª Maior [8:7]	3º - 4ª Justa [4:3]	11º - 5ª Diminuta [16:11]	5º - 6ª Menor [8:5]	9º - 7ª Menor [16:9]
<b>Cents</b>	0	231	498	649	814	996

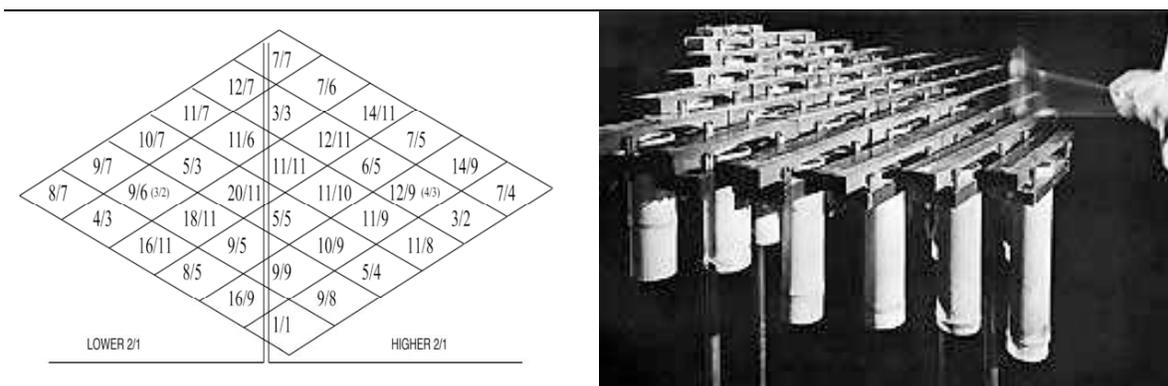


Figura IV.4 – Diamante da Tonalidade de Partch (esquerda) e Diamond Marimba (direita).

O *Diamante da Tonalidade* de Partch contém apenas seis *O* e *U-tonalities*. Esse esquema organiza de maneira contundente as transposições de ambas escalas. Como vemos na Figura IV.4,

<sup>49</sup> “O” de *Overtone Series*, que significa Série Harmônica, e “U” de *Undertone Series*, que corresponde a uma inversão da Série Harmônica, ou “Série Subarmônica”. Mais informações sobre essa relação inversamente proporcional no Anexo V.2.

ao percorrermos na direção da diagonal à direita, formamos uma *O-tonality*, enquanto que, na direção inversa, encontramos a *U-tonality* (ambas em forma de “V”, assim como a Figura IV.3). Um mesmo princípio organizacional foi implementado na construção da *Diamond Marimba* por Partch. A consonância dos intervalos foi avaliada por Partch em *One Footed Bridge* (Figura IV.5).

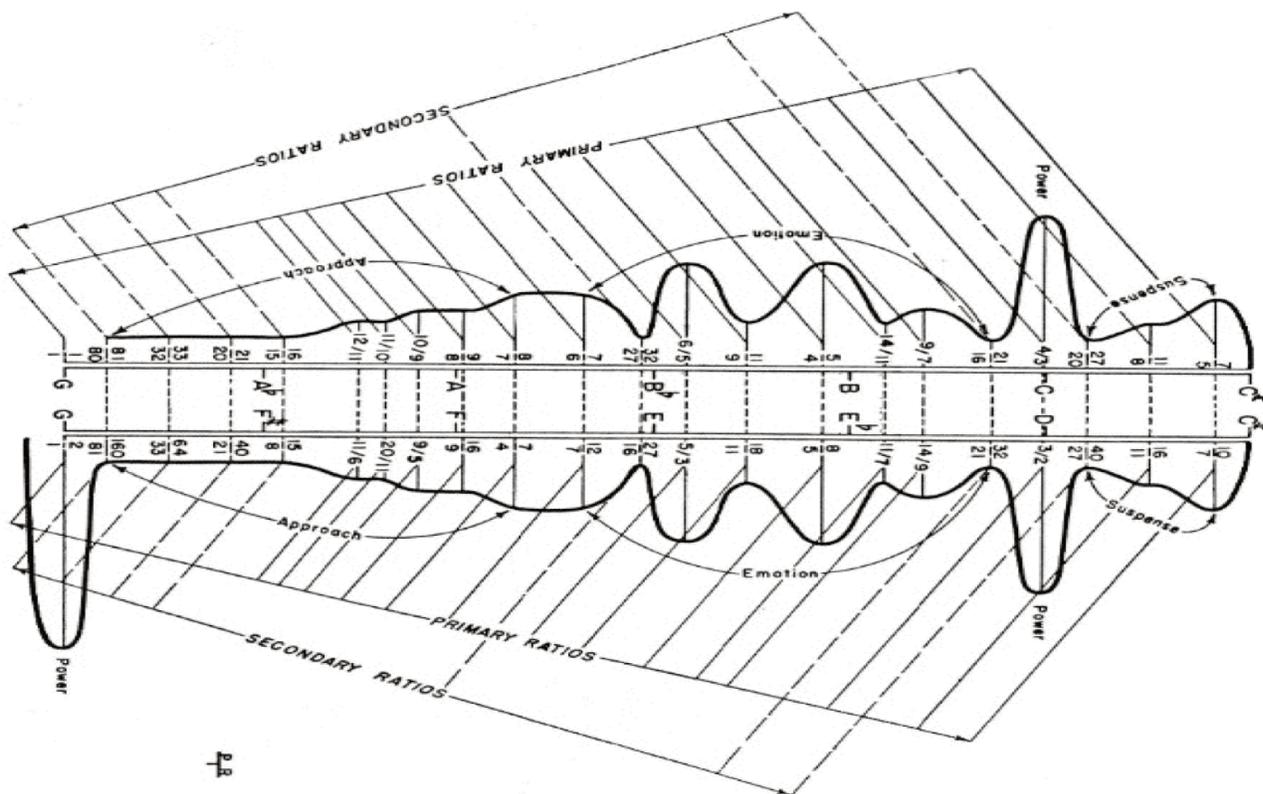


Figura IV.5 – *One Footed Bridge* [PATCH 1974:155].

O gráfico *One Footed Bridge* é uma Curva de Dissonância, dividida no meio e espelhada, de Harry Partch para seu Sistema de Afinação, no registro de uma Oitava (eixo horizontal). A metade de cima de *One Footed Bridge*, da esquerda para a direita na horizontal, é o trecho do Uníssonos até 600 Cents, e o eixo vertical (no sentido de baixo para cima) é a consonância. Já na metade de baixo (600 cents até a Oitava, da direita para a esquerda), a consonância é representada no sentido de cima para baixo. Pela sua simetria, a forma espelhada desse gráfico demonstra como todos os intervalos do Sistema de Partch possuem uma inversão. Nota-se também que, para um intervalo e sua inversão, o valor de consonância é o mesmo.

A *O-tonality* é formada pelas relações dos 1º, 3º, 5º, 7º, 9º e 11º harmônicos, que é, para Partch, uma expansão do material até então ainda incrustado nas relações até o 5º harmônico. A *U-tonality* é uma simples inversão (a Quinta inverte para a Quarta, a Terça Maior para a Sexta Menor,

e assim por diante), como fica claro na representação na pauta da Figura IV.3. A *U-tonality*, entretanto, por ser formada por inversões da *O-tonality*, a *U-tonality* não possui relações que se encontram na Série Harmônica<sup>50</sup>, mas sim em uma Série Harmônica invertida, ou “Série Subarmônica<sup>51</sup>”. O procedimento para gerar essas escalas, com Divisões Harmônicas e Aritméticas da Corda, é apresentado em *V.2 – Divisões da Corda*. O Sistema com 43 notas por Oitava é formado por Transposições de ambas as Tonalidades, e comportam 7 *O-tonalities* e 7 *U-tonalities* completas (além de outras incompletas).

Partch separa as 43 notas de seu Sistema em quatro categorias, as de: Poder (Unísono, Quinta, Quarta e Oitava), Suspense (Trítonos), Emoção (Terças e Sextas) e Aproximação (Segundas e Sétimas), que também são descritas em *One Footed Bridge*. Esse resultado de Partch será confrontado na próxima subseção com os resultados da ferramenta desenvolvida durante pesquisa de Mestrado.

## IV.2 Análise e Escala do Chromelodeon

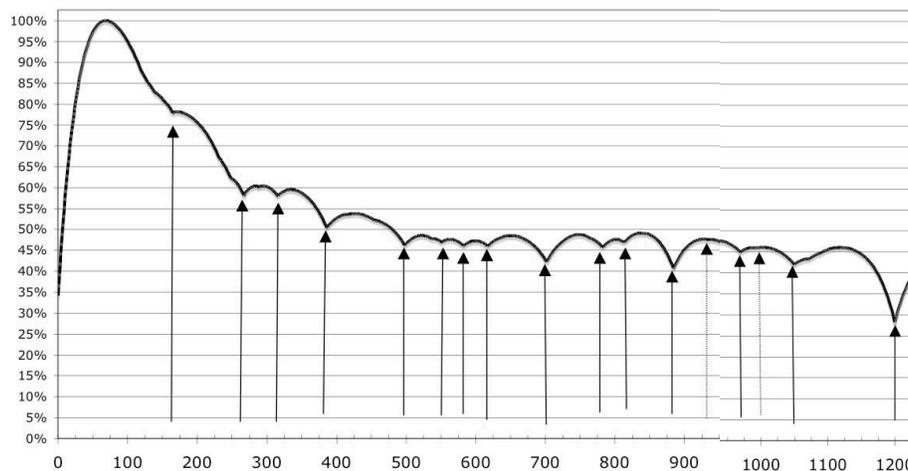


Figura IV.6 – Curva do *Chromelodeon* no registro de uma oitava ascendente a partir de 194Hz, e vales apontados por setas.

A lista de Frequências e Amplitudes dessa Análise encontra-se como um dos *presets* no *software* disponível no CD-ROM em Anexo, de modo que o leitor, ao rodar o *patch*, pode interagir melhor com os resultados aqui apresentados<sup>52</sup>. Foram encontrados 18 Vales na análise pelo Modelo de Rugosidade. Todos os Vales pertencem ao Sistema de Partch (vide Tabela IV.2). A primeira coluna da Tabela IV.2 é a ordem crescente de Dissonância em porcentagem relativa, seguido do seu

<sup>50</sup> Relações de Frequências em uma Progressão Aritmética [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, ..., ∞].

<sup>51</sup> Em relações inversas, em uma Progressão Harmônica [1, 1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 1/6, 1/7, 1/8, 1/9, 1/10, 1/11, ..., ∞].

<sup>52</sup> Vide manual de usuário para instruções de como realizar a análise.

valor na segunda coluna. A terceira coluna é a razão do intervalo justo, seguido do seu valor em cents na quarta. A quinta coluna apresenta qual é a categoria do intervalo, e a sexta se o intervalo pertence a *O-tonality* (O), *U-tonality* (U), ambas (O/U), ou nenhuma (.), essas colunas se repetem para indicar a metade restante dos resultados.

É bom ressaltar que, para estar em linha com as idéias de Partch, a Escala retornada pelo modelo deveria corresponder tanto a *O-Tonality* quanto *U-Tonality*, pois esses são os intervalos básicos de seu Sistema. Apesar de vários desses intervalos serem apontados como vales, outros também são, até mesmo de modo mais significativo, como [5:3] em terceiro lugar. Apenas [9:8] não se apresenta dentre os intervalos da *O-tonality*. O que não é um problema, pois esse intervalo forma uma Quinta em relação ao intervalo de Quinta [3:2], e é, portanto, um intervalo consonante pertinente. Inclusive, sua inversão, o intervalo da *U-tonality* [16:9], é apontada como Vale. Por fim, [9:8] se encontra em um particular trecho de decaimento de dissonância. O mesmo ocorre para Já [8:7], que também não foi apontado como Vale dentre as notas da *U-tonality*. Porém, [8:7] não forma uma quinta com [3:2], ou seja, não é estável nesse sentido. Não obstante, esse intervalo é a inversão da Sétima Menor [7:4].

**Tabela IV.2** – Escala do Chromelodeon (Vales em ordem ascendente de Dissonância)

Ordem	%Diss.	Razão	Cents	Categoria	T	Ordem	%Diss.	Razão	Cents	Categoria	T
1	28.30%	[2:1]	1200	Poder	O/U	10	46.18%	[7:5]	583	Suspense	.
2	34.21%	[1:1]	0	Poder	O/U	11	46.25%	[4:3]	498	Poder	U
3	40.81%	[5:3]	884	Emoção	.	12	46.97%	[8:5]	814	Emoção	U
4	42.11%	[11:6]	1049	Aprox	.	13	47.11%	[11:8]	551	Suspense	O
5	42.30%	[3:2]	702	Poder	O	14	47.59%	[12:7]	933	Emoção	.
6	45.05%	[7:4]	969	Aprox.	O	15	50.49%	[5:4]	386	Emoção	O
7	45.82%	[11:7]	783	Emoção	.	16	58.11%	[6:5]	316	Emoção	.
8	46.00%	[16:9]	996	Aprox.	U	17	58.29%	[7:6]	267	Emoção	.
9	46.12%	[10:7]	617	Suspense	.	18	78.01%	[11:10]	165	Aprox.	.

Além de [9:8] e [8:7], a última exceção não apontada como vale é o intervalo de [16:11]. Por estar fora da zona de decaimento do trecho das exceções anteriores (Segundas Maiores/Intervalos de Aproximação), a única explicação é que, para promover um alinhamento significativo, seria necessário pelo menos de uma maior energia no 16º harmônico, já que esse, por ser um tanto distante, é fraco, como demonstrado na Figura IV.2.

Contudo, muitos dos Vales na Tabela IV.2 não são significativos, pelo pouco contraste que apresentam na Curva (Figura IV.6). Inclusive, um Vale com quase nenhum contraste, em 289 cents, foi descartado porque não correspondia a nenhum intervalo justo e, portanto, implica uma pequena

variação da curva que é possível e esperado acidentalmente. o Modelo também retornou Vales quase nada significativos que, porém, correspondem de fato a um alinhamento em intervalos justos, já que correspondem a possíveis alinhamentos do espectro sonoro do *Chromelodeon*. Destacam-se os casos dos intervalos de [16:9] 996 cents e [12:7] 933 cents, que beiram a mera coincidência do acaso.

Há outros intervalos cujos Vales são mais nítidos, mas não livres de discussão, a começar pelo favorecimento que a aproximação de Sethares dá para sua detecção no Modelo (como discutido no final do subitem 2.2.1.1). É fácil notar que, mesmo com essa maior resolução de Vales na análise, eles ainda possuem uma variação pequena, em torno de poucos pontos percentuais, e se encontram, praticamente, em um considerável trecho de registro cujo nível de Dissonância é relativamente constante. Fato é que nada adianta o Modelo retornar um ponto da escala como Vale se, na prática, a porcentagem de dissonância não se destaca da média do trecho onde ele se encontra.

Um exemplo claro é o do intervalo de [11:10] 165 cents, que é apenas um ponto em um trecho de decrescente dissonância, quase também um acaso, visto que poderia ficar de fora assim como [8:7] 231 cents. Outros, ainda mais pertinentes a essa questão, são os de [11:8] 551 cents (47.11%), [7:5] 583 cents (46.18%) e [10:7] 617 cents (46.12%). Todos esses se encontram na região instável do Trítone (Categoria de suspense), onde um pequeno desvio em intervalos arbitrários, como o Trítone Temperado de 600 cents, com 47.28% de Dissonância Relativa, não pode ser considerado como um Pico significativo em relação a eles.

A curva da Figura IV.6 retorna informações mais acuradas do que *One Footed Bridge*, o dado mais evidente é que Partch considerou como equivalentes todos os intervalos com suas inversões, o que é “Psicoacusticamente” impossível. Avesso a estudos Psicoacústicos com senóides, Partch tomou pouco conhecimento de Modelos de Rugosidade para o fim que buscou com *One Footed Bridge*. Atualmente, porém, tais ferramentas têm sido bem aceitas, principalmente a partir do trabalho de Sethares (2005). Ao confrontar o gráfico de Partch com uma pesquisa Psicoacústica mais recente (e em desenvolvimento), esse trabalho provém uma revisão detalhada de *One Footed Bridge*.

Outro ponto pertinente, entretanto, deve discutir as premissas teóricas de Partch, que não partem muito de princípios perceptivos, como o conceito de inversão de intervalos em uma “Série Subarmônica”, que, inclusive, não considera a tríade menor como inversão da tríade maior. Além de que a sua escolha de intervalos na Série acaba por ser um tanto arbitrária, e não bem “sensorial”. Um princípio perceptivo, como apresentado aqui, seria adotar em uma “Tonalidade” principal os Vales mais significativos do *ranking* da Tabela IV.2.

Por exemplo, ao evitar esse pensamento, Partch deixa de fora de suas tonalidades o 3º Vale de Sexta Maior [5:3] 884 cents, e sua inversão (o 16º Vale) de Terça Menor [6:5] com 316 cents. Ao incluir esses intervalos, suas Tonalidades ficariam mais “completas”, com 07 notas cada. Tal revisão não seria uma considerável deturpação do seu Sistema, porque esses intervalos estão ali presentes, porém negligenciados como transposições da escala – [5:3], por exemplo, aparece como a inversão do intervalo de Quinta (uma Quarta) na *U-tonality* a partir de [5:4]<sup>53</sup>.

A relevância da consonância de intervalos distante na Série Harmônica, apesar de pequena, existe. Mas a adoção de tais intervalos sofre de sérios problemas. Independente da relevância sensorial em si, o Sistema de Partch não tem tido vantagem na batalha com a relevância de elementos práticos. Se esse quadro mudará, apenas o tempo dirá. Pelo menos Partch já trilhou os primeiros passos com seus exemplos seminais.

Por fim, é pertinente ressaltar que o próprio modelo do Temperamento Igual é um ideal arbitrário e teórico, que na prática não existe plenamente. Tomemos como exemplo o Piano, que não é afinado de maneira exatamente uniforme em todas as Oitavas. Primeiro porque as cordas graves não possuem a mesma distribuição espectral das mais agudas, o que, inclusive, é explicado pelo fato das cordas de um Piano não vibrarem de um modo único, e até mesmo harmônico, sendo que há até mesmo um índice de inarmonicidade da vibração da corda que varia de acordo com o registro.

A análise presente neste Anexo retrata apenas o caso de instrumentos de palheta fixa, como o Harmônio e o Acordeão. Uma melhor investigação dos problemas aqui apresentados ocorrerá por análises de outros instrumentos musicais. A relevância do alinhamento de parciais depende ainda do tipo de música em questão. O Harmônio serve bem de base harmônica, que é essencial para o objetivo musical aqui discutido, a Afinação Justa. Acordes em ritmo lento, neste instrumento, podem enfim contribuir para o quesito perceptivo aqui em cheque, a minimização de Dissonância Sensorial. Ao ouvir a gravação didática de Partch [PARTCH 2006], podemos supor que, por mais sutil que seja (como demonstram os resultados aqui apresentados), se trata de algo particularmente especial de fato. Mas em um contexto musical diferente, essas minúcias podem não caber de modo algum. Por se tratar de um caso um tanto quanto específico, não se deve extrair grandes conclusões genéricas, aplicáveis a quaisquer outros instrumentos e aplicações musicais.

---

<sup>53</sup> [5:4]x[4:3] = [5:3], vide Diamante da Tonalidade na Figura IV.4.

## ANEXO V: Portfolio Composicional e CD-ROM

---

"Any tone can succeed any tone, any tone can sound simultaneously with any other tone or tones, and any group of tones can be followed by any group of tones, just as any degree of tension or nuance can occur in any medium under any kind of stress or duration. Successful projection will depend upon the contextual and formal conditions that prevail and upon the skill and the soul of the composer"

- Vincent Persichetti (1915 - 1987), *Twentieth Century Harmony, Chapter One, Intervals* [p.13].

A parte impressa deste Anexo inclui, principalmente, a produção relativa ao primeiro Processo Criativo (apresentado em 4.1.1) – a peça  $\mu$  (micra). Na subseção V.1 deste Anexo encontram-se instruções e notas de produção de  $\mu$ . Na subseção V.2 – *Divisões da Corda* encontram-se informações com uma dupla função: a) um método para gerar escalas, e b) fundamentação teórica para gerar as Tabelas de Harmônicos, apresentadas no subitem seguinte em V.2.1 – *Tabelas de Harmônicos no Pentagrama*. Essas Tabelas foram essenciais para a escrita da partitura de  $\mu$ , apresentada em V.3.

Além dos Processos Criativos, o CD-ROM em anexo traz alguns exemplos interativos em puredata (vide arquivo *conteúdo.doc* na pasta raiz do disco). O Portfolio Composicional propriamente dito está na pasta *Processos Criativos*, e é subdividido em três subpastas correspondentes às três subseções do Capítulo 4. Na subpasta relativa à subseção 4.1 encontram-se, novamente, as Tabelas de Harmônicos (em arquivo *.pdf*). Também novamente (e também em *.pdf*), na subpasta 4.1.1, encontra-se a partitura de  $\mu$ . A subpasta relativa à subseção 4.1.2 traz duas Peças Eletroacústicas – *Trem Fantasma* e *Lado B* (em arquivo *.mp3*), e também o arquivo *Diretrizes de Improvisação.doc*, com as informações entregues aos intérpretes para gerar material armazenado em banco de sons para futura edição. Também em arquivo *.mp3*, encontram-se dois exemplos sonoros a serem utilizados numa futura instalação, na subpasta relativa à subseção 4.2, assim como os *scripts* de *Csound* que deram origem a eles. Por último, na subpasta relativa à subseção 4.3, encontram-se fotos e um vídeo dos primeiros experimentos com os sensores de antenas, e o patch *DISSENS*

desenvolvido em pesquisa, baseado, principalmente, no Modelo de Rugosidade, e no conceito de Afinação Adaptativa. Juntamente com o patch, está disponível um manual de usuário e um programa instalador para *MS/Windows XP*.

### **V.1 Instruções e Notas de Produção de $\mu$**

A peça se apóia na variação de parâmetros como: *posição do arco, dinâmica, velocidade de trêmulo e glissandos*. Além de um, dois ou mais parâmetros podem variar ao mesmo tempo. Não é necessário uma extrema precisão rítmica nessas variações. A intenção é apenas formar uma textura que seja variante no tempo. A Notação Microtonal depende das Tabela de Harmônicos do subitem V.2.1. Há um certo jogo entre variação de parâmetros entre os instrumentos que deve ser respeitado. Por esse caráter textural e variante, em um andamento lento de tempo não justo, é recomendável que as partes não sejam extraídas, para que os músicos acompanhem uns aos outros.

O fluxo harmônico varia de aglomerados sonoros consonantes a dissonantes. Sabemos que os sons dos harmônicos naturais fogem do Temperamento Igual. Pelo uso desse material, é possível gerar harmonias consonantes, por relações de números inteiros pequenos. O contrário (harmonias dissonantes) foi calculado de modo que o harmônico de uma corda, justaposto com o de uma outra, gerasse intervalos microtonais muito próximos, resultando em sensações de Batimentos e Rugosidade. Por exemplo, o Sol obtido pelo 7º harmônico de Lá sobreposto ao 6º de Dó, que formam um intervalo em torno de um Sexto de Tom. Outro procedimento foi calcular intervalos ligeiramente dissonantes por não formarem relações de números inteiros pequenos. A seguir, notas de execução para os instrumentos de corda em V.1.1, e para Flauta em V.1.2.

#### **V.1.1 Cordas**

##### **A) Notação de Harmônicos.**

###### **A1) - Harmônicos Naturais**

Encontram-se, no subitem V.2.1, Tabelas desenvolvidas no programa *Finale* com exemplos de harmônicos naturais. Muitos dos harmônicos ali presentes são de caráter teórico, pois diversos harmônicos superiores (acima do 7º) são bem difíceis de acertar ou soar bem. Há duas maneiras (*I & II*) adotadas (uma ou outra, de cada vez) na indicação dos harmônicos (ambas presentes nessas Tabelas de Harmônicos):

*I* - Um losango que indica a posição do dedo na corda.

*II* - O número do harmônico e a corda (exemplo: *5º Sul D*). Nesse método, as Tabelas funcionam como um material essencial de apoio.

Fica claro, dessas duas maneiras, que:

- No método *II*, um mesmo harmônico pode ser adquirido por diversas posições (intervalos) do dedo sobre a corda (diferentes indicações nos losangos) e,

- Pelo método *I*, se espera soar um harmônico específico, dado a específica indicação de posição do dedo.

#### A2) - Sobre Harmônicos Artificiais

Quanto aos harmônicos artificiais, adota-se uma notação trivial e comum, apenas com losangos – sendo que uma cabeça de nota tradicional indica a posição do dedo que pressiona a corda, e o losango (sempre acima) indica o dedo com a pressão de harmônico.

##### A2.1) *Pressão do dedo*

Há uma indicação de variação de pressão do dedo, que significa lentamente retirar o *dedo com a pressão de harmônico* da corda. Busca-se dessa maneira um efeito, um tanto quanto instável, de controle sonoro (não há uma indicação precisa de variação).

#### A3) - Sobre Glissandos de Harmônicos Naturais e Artificiais.

- Uma questão extremamente pertinente sobre os glissandos de harmônicos é que estes foram escritos com o fim de propiciar uma margem de tempo para que se possa encontrar, com certa calma, o ponto exato de um harmônico pedido. Não é requisitado, dessa maneira, um rigor extremo, até pelo contrário, seria quase como uma janela de tempo, que permite alcançar com calma o ponto desejado a tempo.

- Os glissandos pedidos, para os harmônicos naturais, podem ser para as notações de losangos ou não. No primeiro caso, o glissando segue uma lógica trivial e bem determinada. No caso da notação da altura do harmônico, fica em aberto a posição que se julgar a mais fácil para obtê-los (o que depende da consulta das Tabelas de V.2.1). Em todo o caso, as notações em losango podem apenas ser uma sugestão que pode ser modificadas pelos intérpretes, caso considerem pertinente.

- Há uma indicação de harmônico com um “X” ao invés de um losango. Que significa *O mais perto possível da ponte*, ou seja, o maior harmônico superior possível. Na parte do Violoncelo do compasso 1 de  $\mu - II$ , o “X” entre parênteses significa uma indicação de tempo de semínima.

- O glissando é notado por linhas, e deve iniciar na cabeça do tempo da nota até o início do tempo da nota onde a linha pára, sustentando, então, tal nota. Há indicações de glissandos com

pontos de apoio, que são notas que estão no meio do percurso das linhas. Essas apenas indicam, com uma maior resolução no tempo, a velocidade e o caminho percorrido pelo dedo.

- No caso dos harmônicos artificiais, dois parâmetros podem variar, o glissando do dedo que pressiona a nota, e o glissando do dedo da posição do harmônico (losango).

- Linhas de Glissando que não conectam a cabeça de uma nota a outra (ou seja, que começam de um ponto qualquer entre uma nota e outra), indicam uma certa liberdade no início do glissando, de acordo com a proporcionalidade da localização espacial (rítmica) dessa linha na partitura.

## B – Posição do Arco

A posição do arco é indicada por:

- *nat* para a posição natural.

- *SP* para *Sul Ponticello*

- *ASP* para *Alto Sul Ponticello* – (O mais próximo da ponte possível)

- *ST* para *Sul Tasto*

- *AST* para *Alto Sul Tasto* – (O mais longe da ponte possível)

No caso de harmônicos, imagina-se que tanto *AST* quanto *ASP* tornam um pouco inviável a produção de harmônicos. Dessa maneira, deve-se estabelecer novos limites para que essas sejam as indicações, na verdade, dos pontos extremos de uma produção sonora ainda razoável.

Esse efeito é, antes de tudo, uma filtragem do conteúdo espectral dos harmônicos. Por exemplo, em *Sul Ponticello*, o som dos harmônicos é mais brilhante, enquanto que o oposto o deixa mais opaco. A variação contínua de um ponto da posição do arco até outro é indicada pela linha tracejada, enquanto que a linha contínua indica a permanência da posição do arco.

## C – Trêmulos

Um parâmetro muito explorado é do trêmulo, que varia das seguintes maneiras:

Nenhuma linha diagonal = sem trêmulo

Uma linha diagonal = no tempo de uma semicolcheia

Duas Linhas = em tempo rápido

Três Linhas = em tempo muito rápido

Para indicar a variação de velocidade de forma contínua (entre a,b,c,d), foi adotado um procedimento similar à notação de dinâmica, com crescendos e decrescendos (porém, nesse caso, acelerando e retardando, respectivamente). Não há uma métrica precisa, as indicações de

velocidade do trêmulo não devem, necessariamente, estar sincronizadas com cabeças de nota, sendo assim uma indicação independente, um pouco livre, e proporcional à posição horizontal (ritmica).

#### D – Dinâmica

As possibilidades de dinâmica para os harmônicos são limitadas. Logo, se pede um bom senso na interpretação das dinâmicas, compreendendo deve haver um ajuste nos limites.

#### E – Vibratos

As indicações de vibrato seguem alguns princípios já apresentados. Temos dois parâmetros: a amplitude e velocidade, que podem variar independentemente. Em torno da nota que está sendo aplicada o vibrato, a amplitude desse, em Semitons e cents, é a distância do ponto máximo e mínimo (intervalo entre variação acima e abaixo). Ou seja, um vibrato de 1 Semitom em Sol vai de Sol um Quarto de Tom abaixo até Sol um Quarto de Tom acima.

#### *F - Considerações técnicas sobre o Harmônico Artificial Duplo*

F1) - Em <<http://www.lunanova.org/CelloET/harmonics.html>>, encontra-se sua referência, que afirma que o mesmo foi sugerido por Louis Duport em seu tratado de Violoncelo.

F2) - Entende-se que o glissando pedido com harmônico artificial duplo é muito difícil. Abre-se, assim, uma margem para um eventual erro, que consistiria em sonoridades quaisquer, porém interessantes, em um “descontrole” bonito, “irregular”, onde o harmônico artificial duplo apareça em momentos indeterminados (desde que em um número razoável de momentos).

F3) - A variação de pressão no dedo (em relação ao dedo que está uma Segunda Maior acima da nota pressionada no harmônico artificial duplo), notada com um asterisco e uma linha picotada, é um tempo estipulado para a variação entre o harmônico artificial duplo e o harmônico artificial de duas Oitavas (apenas com o losango uma Quarta acima) – ou seja, variação entre soltar o dedo da posição do harmônico e colocá-lo de volta. Entende-se que essa variação devagar e contínua promove uma sonoridade irregular, até se estabilizar a pressão requerida que mantém o som desejado. Um trillo com esse dedo é pedido, de modo que se varia entre o harmônico artificial de Quarta (duas Oitavas acima) e o harmônico artificial duplo, a velocidade do trilo fica a rigor da capacidade de execução do intérprete (se for relativamente lento, que assim o seja).

F4) - As notações de Posições para o arco (*ASP - SP - nat - ST - AST*) devem comprometer ainda mais a sonoridade de harmônicos artificiais duplos. O objetivo dessa notação é que a posição do arco varie a qualidade timbrística/espectral. Entretanto, o espaço total do trecho que o arco pode percorrer sem comprometer completamente o som dos harmônicos pode ser menor.

F5) - Em último caso, procura-se outra alternativa.

#### G – Abaixo do Cavalete

Tocar no trecho da corda que seja abaixo do cavalete, se for o caso do Violoncelo propiciar essa possibilidade. Caso contrario, há a opção de utilizar o trecho entre o cavalete e a ponte. Busca-se, assim, um som estridente, agudo, e indeterminado.

#### V.1.2 Flauta

Muitas das indicações aqui foram extraídas de um *site* da internet (*New Sounds for Flute*, de Mats Möller. <<http://www.s fz.se/flutetech/index.htm>>). Encontra-se ali uma tablatura para dedilhados em Quartos de Tom, assim como páginas de diversos efeitos sonoros adotados. Adota-se a mesma lógica de notação usada nas cordas, como a de vibratos.

#### A – Trillo no compasso 8 de $\mu$ - IV

O crescendo indica um aceleração do trillo entre as duas notas, mesmo procedimento do trêmulo.

#### B – Jet Whistle (JT):

Uma rajada de ar forte com a boca lacrando todo o orifício da flauta. Ver exemplo sonoro no *site*.

#### C – Whistle Tones (WT):

C1) - Com uma aberta, porém controlada, embocadura, e uma pressão de ar bem baixa, é possível tocar *Whistle Tones*! Às vezes se obtém esse som quando diminui a pressão do ar tocando uma nota grave na flauta. *WT* são mais facilmente controlados na terceira Oitava, onde se pode utilizar os dedilhados originais (vide exemplo musical no *site*).

C2) - Na peça, os *WT* são pedidos de forma livre, quase como um improviso, com indicação apenas de região e variação de velocidade rítmica. É pedido um caráter modal em torno de um centro.

#### D – Key Percussion/Key Clicks:

Percussões nas chaves. Fechar as chaves com força, sem fluxo de ar, produzirá uma nota assim como um som mecânico percussivo (vide exemplo musical no *site*). Na peça, se pede *Key Clicks* rápidos e “livres”, mas de preferência em torno de uma nota em um curto registro e com variação microtonal, como o intérprete achar melhor improvisar naquele trecho.

#### E – Hollow Tone

Um dedilhado de chaves diferente que produz um som mais rústico de Flauta.

#### F – Key Vibrato / Quarter Tone Trills

No site do Mats Möller, esse efeito está indicado como *Tone-Colour Trills*. Há, em alguns métodos de técnica estendida para Flauta, tabelas para elaborar esse trillo de chaves (ou vibrato de chaves), que mudam tanto o timbre/cor do tom, como também um pouco da altura (em torno de um Quarto de Tom). Pode-se adotar, entretanto, qualquer tabela de dedilhado de intervalos microtonais. Diferentemente da notação de Vibratos, a indicação de  $+ \frac{1}{4}$  /  $- \frac{1}{4}$  indica não a amplitude, mas sim o intervalo entre as notas.

#### G - Key Accent

Ataque dado pelo golpe de ar na Flauta com as chaves abertas que, imediatamente em seguida, se fecham no dedilhado de chave de uma nota.

### V.2 Divisões da Corda

Esta subseção traz mais detalhes sobre divisões matemáticas da corda, e tem como finalidade esclarecer sobre esse que é ainda outro procedimento para gerar escalas, considerado mais “clássico” do qual apresentado nesta dissertação de mestrado, focado em princípios perceptivos, subsidiados pelo Modelo de Rugosidade desenvolvido em pesquisa.

Como exemplos, serão brevemente descritos aqui as *O* e *U tonalities* de Partch, o Temperamento Igual, e o Temperamento de Huygens/Fokker. Além da questão de gerar escalas, a teoria aqui apresentada é útil na compreensão das Tabelas de harmônicos do subitem seguinte, que fizeram parte do Processo Criativo da partitura de  $\mu$  (micra), apresentada na subseção V.3.

Uma Divisão Aritmética da corda em  $x$  partes é trivial. Pega-se o tamanho da corda e se divide esse valor por quantas partes se quiser, como é o caso da divisão da corda em nodos. Como a corda de instrumentos musicais é presa em ambas as extremidades, seus modos de vibração são limitados a esses extremos que não se deslocam. Portanto, todos os modos de vibração da corda ocorrem apenas por toda a extensão da mesma, o que faz que todas essas vibrações se restrinjam à corda inteira (vibração mais proeminente) e à subdivisões dela em nodos [1/2, 1/3, 1/4, etc.] (vide Figura V.1). Essa seqüência é denominada, em matemática, de Progressão Harmônica. Uma forma simples de definir uma Progressão Harmônica seria considera-la como uma inversão da Progressão Aritmética. Inclusive, divisões em uma Progressão Harmônica da corda resultam em uma Progressão Aritmética no domínio da Freqüência, uma vez que ambas as grandezas são inversamente proporcionais.

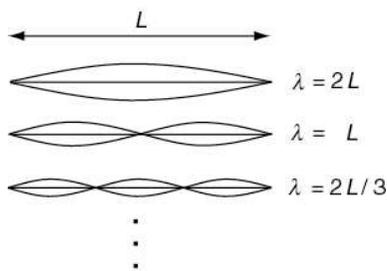


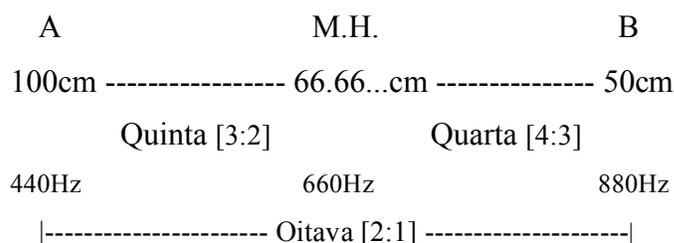
Figura V.1 – Divisões Aritméticas da Corda em nodos.

Essa relação inversamente proporcional entre Divisão Harmônica e Divisão Aritmética pode instaurar uma grande confusão. Pois, se uma Divisão Harmônica da corda resulta em uma Progressão Aritmética de Freqüências, uma Divisão Harmônica de intervalos (no domínio da Freqüência) implica uma Divisão Aritmética da Corda. No caso de Divisões Geométricas, há uma equivalência em ambos os domínios, pois esse tipo de divisão traz resultados proporcionalmente iguais, como veremos logo mais a seguir.

Uma Média Harmônica entre duas quantidades é uma Divisão Harmônica das mesmas em duas partes, e a mesma lógica se aplica às Médias Aritméticas e Geométricas. Médias Harmônicas, Aritméticas e Geométricas se relacionam, respectivamente, às Progressões Harmônicas, Aritméticas e Geométricas, onde as Médias podem ser definidas como pontos médios entre dois termos opostos e equidistantes de uma Progressão.

As Divisões Matemáticas mais comuns, no decorrer da História da Música, na produção de Intervalos Musicais são: Divisão Harmônica, Divisão Aritmética e Divisão Geométrica. Essas divisões podem ser aplicadas tanto para segmentos da corda (procedimento mais comum por dialogar com o histórico Monocórdio) como para intervalos musicais. A seguir, três exemplos que

correspondem, respectivamente, a uma Média Harmônica, Aritmética, e Geométrica entre uma corda inteira e sua metade (1/1 e 1/2 da corda). Esse trecho, no domínio da frequência, corresponde ao intervalo da Oitava [2:1], e vai de 0 cents (1/1 da corda) até 1.200 cents (1/2 da corda). Suponhamos, para tal, uma corda de 100cm, afinada em Lá = 440Hz, e seu segmento de 100cm (1/1 da corda) e 50cm (1/2 da corda), espaço que corresponde à Oitava de 440Hz a 880Hz. A Média Harmônica entre A e B é definida por  $MH(A,B) = (2.A.B) \div (A+B)$ . Logo, para nossa corda e seus pontos de 100cm (A) e 50cm (B), temos  $MH(A,B) = 66.666\dots\text{cm}$ . A representação a seguir traz mais informações sobre os intervalos que derivam dessa divisão.



Média Harmônica em Cents:

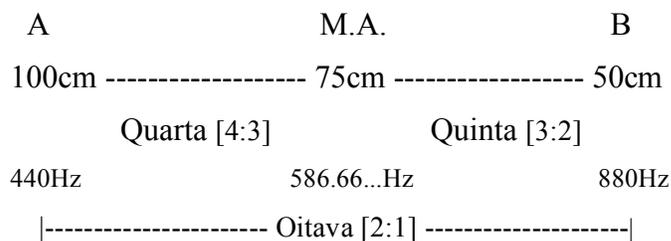


Na Média Harmônica entre a corda inteira (ponto A) e sua metade (ponto B), o ponto Médio, que agora chamaremos de ponto C, corresponde a 2/3 da corda (intervalo de Quinta [3:2] em relação à corda solta). Essa série [A – C – B] pode ser descrita pela Progressão Harmônica [2/2 - 2/3 - 2/4] (que equivale a um inteiro, dois terços, e metade da corda). Temos, ao inverter para o domínio da Frequência, a Progressão Aritmética [A' – C' – B'] de intervalos musicais definida por [2:2], [3:2], e [4:2] (equivalente ao Uníssono [1:1], Quinta [3:2] e Oitava [2:1]).

Se continuarmos a extrair Médias Harmônicas da corda (agora entre o ponto A e C, e também entre o ponto C e B) encontramos, respectivamente, os pontos D e E, que resulta na série [A – D – C – E – B]. Descritos em segmentos de corda, temos os valores [4/4 – 4/5 – 4/6 – 4/7 – 4/8], ou [1/1 – 4/5 – 2/3 – 4/7 – 1/2] ao serem fatorados. No domínio da Frequência, temos os intervalos: [1:1], [5:4], [3:2], [7:4], [2:1]. Precisamos de mais uma Média Harmônica entre os pontos da corda A e D, e outra entre D e C, para obtemos a *O-tonality* de Partch: [1:1], [9:8], [5:4], [11:8], [3:2], [7:4], [2:1].

Esses intervalos, como sabemos, correspondem até o 11º termo da Série Harmônica, transpostos dentro da Oitava. Por isso, alguns autores como Partch (1974) afirmam que Médias Harmônicas correspondem aos intervalos da Série Harmônica. Porém, deve haver muito cuidado nessa interpretação, pois esse resultado ocorre apenas para o procedimento descrito anteriormente, obteremos outros intervalos se dividirmos em outras partes, sem falar que, se extrairmos Médias Harmônicas entre Freqüências (intervalos musicais), obteremos resultados inversos.

Seguindo aos outros exemplos, o mesmo procedimento com a Média Aritmética de segmentos da corda traz a inversão dos valores obtidos por Médias Harmônicas. A Média Aritmética é definida por  $MA(A,B) = (A+B) \div 2$ . Na Média Aritmética entre a corda inteira (ponto A) e sua metade (ponto B), o ponto Médio (ponto C), corresponde a  $3/4$  da corda (intervalo de Quarta [4:3] em relação à corda solta). Em uma série [A – C – B], temos a Progressão Aritmética [4/4 - 3/4 - 2/4] (que equivale a um inteiro, três quartos, e metade da corda). Temos, ao inverter para o domínio da Freqüência, a Progressão Harmônica [A' – C' – B'] de intervalos musicais: [4:4], [4:3], e [4:2] (que equivale ao Uníssono [1:1], Quarta [4:3] e Oitava [2:1]). A *U-tonality* de Partch – [1:1], [8:7], [4:3], [16:11], [8:5], [16:9], [2:1] – é então obtida por acrescentar Médias Aritméticas entre A e C, C e B, (pontos D e E, respectivamente), uma outra Média entre C e E, e uma última entre E e B.

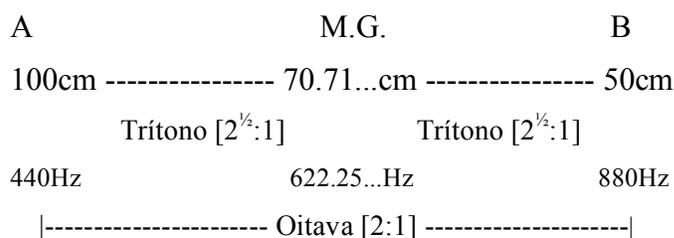


Média Aritmética em Cents:



Ambas as Divisões Aritméticas e Harmônicas produzem intervalos justos, sendo um intervalo justo o inverso do outro dependendo da Divisão. Já a Divisão Geométrica da Oitava produz intervalos temperados e proporcionalmente iguais, de modo que o intervalo invertido é exatamente o mesmo. A Divisão Geométrica entre A e B em  $x$  partes é definida por  $DG(A,B) = (A.B)^{1/x}$ . E a Média Geométrica por  $MG(A,B) = (A.B)^{1/2}$ , a Raiz Quadrada do produto dos termos.

Para o Intervalo de Oitava [2:1], temos  $[2^{1/2}:1] = (1.4142\dots)$ , que equivale ao Tritono do Temperamento Igual. A razão do Semitom Temperado é uma Divisão Geométrica da Oitava em 12, e igual a  $[2^{1/12}:1]$ . O temperamento Igual, logo, é a Progressão Geométrica  $(2)^{0/12} - (2)^{1/12} - (2)^{2/12} - (2)^{3/12} - (2)^{4/12} - (2)^{5/12} - (2)^{6/12} - (2)^{7/12} - (2)^{8/12} - (2)^{9/12} - (2)^{10/12} - (2)^{11/12} - (2)^{12/12}$ . O Temperamento de Fokker, em 31 Divisões Iguais da Oitava, tem como menor intervalo (em torno de um Quinto de Tom) a razão de  $[2^{1/31}:1]$ . Maiores informações encontram-se na pasta *Exemplos em Pd* do CD-ROM em Anexo, tratam-se de *patches* e exemplos interativos de Divisões da Corda e de intervalos musicais.



Média Geométrica em Cents:



### V.2.1 Tabelas de Harmônicos no Pentagrama

Porque produzem intervalos justos, as Divisões Harmônicas e Aritméticas da corda resultam em nodos que, quando levemente pressionados, geram os sons dos harmônicos da corda. Porém, vários nodos que correspondem ao mesmo harmônico são retornados apenas pela Divisão Aritmética da corda. Uma Divisão Aritmética da corda em 5 pontos resulta nos nodos correspondentes ao 5º Harmônico (1/5, 2/5, 3/5 e 4/5 da corda).

A Divisão Aritmética da corda em números que não sejam primos, como, por exemplo, em 12 partes, resulta em nodos correspondentes não somente ao 12º Harmônico, mas também aos harmônicos que o número 12 é Mínimo Múltiplo Comum (2, 3, 4, e 6). Tal regra fica clara ao fatorarmos as frações da corda, como na Tabela V.1. Os intervalos justos dessas frações da corda são facilmente representados por uma inversão. a Tabela V.2 apresenta os intervalos justos e valores em cents da Tabela V.1 e acima. Fica claro que o intervalo justo de um nodo da corda tem em seu

numerador da razão fatorada (ou, por outro ângulo, no denominador da fração da corda fatorada), uma correspondência com o número do harmônico que soará.

**Tabela V.1** – Nodos dos Harmônicos de uma Divisão Aritmética da Corda em 12 partes

Frações da corda	1/12	2/12	3/12	4/12	5/12	6/12	7/12	8/12	9/12	10/12	11/12
Fatoração	1/12	1/6	1/4	1/3	5/12	1/2	7/12	2/3	3/4	5/6	11/12
Harmônicos	12°	6°	4°	3°	12°	2°	12°	3°	4°	6°	12°

**Tabela V.2** – Intervalos Justos e em cents dos Nodos da Divisão Aritmética da Corda em 12 partes

Harmônicos	12°	6°	4°	3°	12°	2°	12°	3°	4°	6°	12°
Intervalos Justos	[12:1]	[6:1]	[4:1]	[3:1]	[12:5]	[2:1]	[12:7]	[3:2]	[4:3]	[6:5]	[12:11]
Cents	4.302	3.102	2.400	1.902	1.516	1.200	933	702	498	316	150

Neste subitem, apresentamos em uma mesma tabela Divisões Aritméticas da corda até 12 partes. Por causa do já descrito Mínimo Múltiplo Comum, há uma coincidência de vários nodos em comum por divisões diferentes da corda. O resultado final é simétrico, e tem seu ponto médio na metade da corda (nodo do segundo harmônico). Essas Divisões em até 12 partes, no total, somam 45 nodos distintos: 23 Nodos até a primeira Oitava, 12 até a segunda, 6 até a terceira, e 4 na seguinte e última.

Nas Tabelas seguintes, o pentagrama de baixo indica a posição do dedo na corda, que corresponde a um nodo. Já o pentagrama acima indica a Altura do harmônico. Entre os pentagramas há uma indicação do intervalo justo que corresponde à posição do dedo na corda, descrito por proporções de números inteiros. O valor desse intervalo justo em cents (transpostos dentro de uma Oitava) se encontra abaixo do sistema e, por fim, o número do harmônico se encontra acima do sistema.

A seguir, a ordem dos instrumentos de cordas das Tabelas são: Violino, Viola, Violoncelo e Contrabaixo. Em cada instrumento, a ordem das cordas é da mais grave para a mais aguda. Essas Tabelas serviram de guia para a composição de estudos (vide subseção V.3 – Partitura de  $\mu$ ). E são uma extensão do exemplo de Divisões da corda da subseção anterior.

A notação microtonal segue o formato clássico dos acidentes em Quartos de Tom, porém, para uma precisão um pouco maior, mesmo que vaga, incluímos setas para cima e para baixo, que indica se o intervalos está “um pouco mais” acima ou abaixo. A precisão definitiva, entretanto, é dada pelo valor em cents.

As Tabelas a seguir possuem um caráter teórico, não significa que todos os intervalos marcados permitem uma boa e fácil execução de Harmônicos. Principalmente no caso do Violino e

Viola, cujas cordas não são muito compridas. A espessura e tensão da corda também influem, de modo que, dependendo da corda em um mesmo instrumento, há uma variação na obtenção de Harmônicos.

**- VIOLINO Corda Sol**

	12°	11°	10°	9°	8°	7°	6°	11°
Interv. Justo	12/11	11/10	10/9	9/8	8/7	7/6	6/5	11/9
Int. em Cents	151	175	182	204	231	267	316	347
	5°	9°	4°	11°	7°	10°	3°	11°
	5/4	9/7	4/3	11/8	7/5	10/7	3/2	11/7
	386	435	498	551	583	617	702	782
	8°	5°	12°	7°	9°	11°	2°	11°
	8/5	5/3	12/7	7/4	9/5	11/6	2/1	11/10
	814	884	933	969	1018	1050	1200	175

7

9° 7° 12° 5° 8° 11° 3° 5°

9/8 7/6 6/5 5/4 4/3 11/8 3/2 5/3

204 267 316 386 498 551 702 884

9

7° 11° 4° 9° 5° 11° 6° 7°

7/4 11/6 2/1 9/8 5/4 11/8 3/2 7/4

969 1050 1200 204 386 551 702 969

11 8

8° 9° 10° 11° 12°

2/1 9/8 5/4 11/8 3/2

1200 204 386 551 702

**- VIOLINO Corda Ré**

Interv. Justo

Int em Cents

5° 9° 4° 11° 7° 10° 3° 11°

8° 5° 12° 7° 9° 11° 2° 11°

12/11	11/10	10/9	9/8	8/7	7/6	6/5	11/9
151	175	182	204	231	267	316	347
5/4	9/7	4/3	11/8	7/5	10/7	3/2	11/7
386	435	498	551	583	617	702	782
8/5	5/3	12/7	7/4	9/5	11/6	2/1	11/10
814	884	933	969	1018	1050	1200	175

7<sup>va</sup> 9° 7° 12° 5° 8° 11° 3° 5°

9/8 7/6 6/5 5/4 4/3 11/8 3/2 5/3

204 267 316 386 498 551 702 884

9 7° 11° 4° 9° 5° 11° 6° 7°

7/4 11/6 2/1 9/8 5/4 11/8 3/2 7/4

969 1050 1200 204 386 551 702 969

11 8° 9° 10° 11° 12°

2/1 9/8 5/4 11/8 3/2

1200 204 386 551 702

**- VIOLINO Corda Lá**

	12°	11°	10°	9°	8°	7°	6°	11°
Interv. Justo	12/11	11/10	10/9	9/8	8/7	7/6	6/5	11/9
Int em Cents	151	175	182	204	231	267	316	347

	5°	9°	4°	11°	7°	10°	3°	11°
Interv. Justo	5/4	9/7	4/3	11/8	7/5	10/7	3/2	11/7
Int em Cents	386	435	498	551	583	617	702	782

	8°	5°	12°	7°	9°	11°	2°	11°
Interv. Justo	8/5	5/3	12/7	7/4	9/5	11/6	2/1	11/10
Int em Cents	814	884	933	969	1018	1050	1200	175

9° 7° 12° 5° 8° 11° 3° 5°

(8<sup>va</sup>)

7 8

9/8 7/6 6/5 5/4 4/3 11/8 3/2 5/3

204 267 316 386 498 551 702 884

7° 11° 4° 9° 5° 11° 6° 7°

8<sup>va</sup> 8<sup>va</sup> 8<sup>va</sup> 8<sup>va</sup>

9

7/4 11/6 2/1 9/8 5/4 11/8 3/2 7/4

969 1050 1200 204 386 551 702 969

8° 9° 10° 11° 12°

(8<sup>va</sup>)

11 8

2/1 9/8 5/4 11/8 3/2

(8<sup>va</sup>)

1200 204 386 551 702

**- VIOLINO Corda Mi**

Interval	Ratio	Int em Cents
12°	12/11	151
11°	11/10	175
10°	10/9	182
9°	9/8	204
8°	8/7	231
7°	7/6	267
6°	6/5	316
11°	11/9	347
5°	5/4	386
9°	9/7	435
4°	4/3	498
11°	11/8	551
7°	7/5	583
10°	10/7	617
3°	3/2	702
11°	11/7	782
8°	8/5	814
5°	5/3	884
12°	12/7	933
7°	7/4	969
9°	9/5	1018
11°	11/6	1050
2°	2/1	1200
11°	11/10	175

7

9° 7° 12° 5° 8° 11° 3° 5°

(8<sup>va</sup>)

9/8 7/6 6/5 5/4 4/3 11/8 3/2 5/3

204 267 316 386 498 551 702 884

9

7° 11° 4° 9° 5° 11° 6° 7°

8<sup>va</sup>

7/4 11/6 2/1 9/8 5/4 11/8 3/2 7/4

8<sup>va</sup>

969 1050 1200 204 386 551 702 969

11

8° 9° 10° 11° 12°

(8<sup>va</sup>)

2/1 9/8 5/4 11/8 3/2

(8<sup>va</sup>)

1200 204 386 551 702

**- VIOLA Corda Dó**

	12°	11°	10°	9°	8°	7°	6°	11°
Interv. Justo								
	12/11	11/10	10/9	9/8	8/7	7/6	6/5	11/9
Int. em Cents	151	175	182	204	231	267	316	347

	5°	9°	4°	11°	7°	10°	3°	11°
Interv. Justo								
	5/4	9/7	4/3	11/8	7/5	10/7	3/2	11/7
Int. em Cents	386	435	498	551	583	617	702	782

	8°	5°	12°	7°	9°	11°	2°	11°
Interv. Justo								
	8/5	5/3	12/7	7/4	9/5	11/6	2/1	11/10
Int. em Cents	814	884	933	969	1018	1050	1200	175

7 8

9° 7° 12° 5° 8° 11° 3° 5°

9/8 7/6 6/5 5/4 4/3 11/8 3/2 5/3

204 267 316 386 498 551 702 884

9 8

7° 11° 4° 9° 5° 11° 6° 7°

7/4 11/6 2/1 9/8 5/4 11/8 3/2 7/4

969 1050 1200 204 386 551 702 969

11 8

8° 9° 10° 11° 12°

2/1 9/8 5/4 11/8 3/2

1200 204 386 551 702

**- VIOLA Corda Sol**

	12°	11°	10°	9°	8°	7°	6°	11°
Interv. Justo	12/11	11/10	10/9	9/8	8/7	7/6	6/5	11/9
Int. em Cents	151	175	182	204	231	267	316	347
	5°	9°	4°	11°	7°	10°	3°	11°
	5/4	9/7	4/3	11/8	7/5	10/7	3/2	11/7
	386	435	498	551	583	617	702	782
	8°	5°	12°	7°	9°	11°	2°	11°
	8/5	5/3	12/7	7/4	9/5	11/6	2/1	11/10
	814	884	933	969	1018	1050	1200	175

7 8

9° 7° 12° 5° 8° 11° 3° 5°

9/8 7/6 6/5 5/4 4/3 11/8 3/2 5/3

204 267 316 386 498 551 702 884

9

7° 11° 4° 9° 5° 11° 6° 7°

7/4 11/6 2/1 9/8 5/4 11/8 3/2 7/4

969 1050 1200 204 386 551 702 969

11 8

8° 9° 10° 11° 12°

2/1 9/8 5/4 11/8 3/2

1200 204 386 551 702

**- VIOLA Corda Ré**

The image displays a musical score for Viola Corda Ré, organized into three systems. Each system consists of two staves: a treble clef staff with notes and accidentals, and a bass clef staff with diamond-shaped notes. The notes are connected by a dashed line labeled '8va'. Below the staves, numerical data is provided for each note.

System	Note	Interv. Justo	Int em Cents	Grade
System 1	1	12/11	151	5°
	2	11/10	175	9°
	3	10/9	182	4°
	4	9/8	204	11°
	5	8/7	231	7°
	6	7/6	267	10°
	7	6/5	316	3°
	8	11/9	347	11°
System 2	9	5/4	386	5°
	10	9/7	435	9°
	11	4/3	498	4°
	12	11/8	551	11°
	13	7/5	583	7°
	14	10/7	617	10°
	15	3/2	702	3°
	16	11/7	782	11°
System 3	17	8/5	814	8°
	18	5/3	884	5°
	19	12/7	933	12°
	20	7/4	969	7°
	21	9/5	1018	9°
	22	11/6	1050	11°
	23	2/1	1200	2°
	24	11/10	175	11°

7<sup>va</sup> 9° 7° 12° 5° 8° 11° 3° 5°

9/8 7/6 6/5 5/4 4/3 11/8 3/2 5/3

204 267 316 386 498 551 702 884

9 7° 11° 4° 9° 5° 11° 6° 7°

7/4 11/6 2/1 9/8 5/4 11/8 3/2 7/4

969 1050 1200 204 386 551 702 969

11 8° 9° 10° 11° 12°

2/1 9/8 5/4 11/8 3/2

1200 204 386 551 702

**- VIOLA Corda Lá**

	12°	11°	10°	9°	8°	7°	6°	11°
Interv. Justo	12/11	11/10	10/9	9/8	8/7	7/6	6/5	11/9
Int em Cents	151	175	182	204	231	267	316	347

	5°	9°	4°	11°	7°	10°	3°	11°
Interv. Justo	5/4	9/7	4/3	11/8	7/5	10/7	3/2	11/7
Int em Cents	386	435	498	551	583	617	702	782

	8°	5°	12°	7°	9°	11°	2°	11°
Interv. Justo	8/5	5/3	12/7	7/4	9/5	11/6	2/1	11/10
Int em Cents	814	884	933	969	1018	1050	1200	175

9° 7° 12° 5° 8° 11° 3° 5°

(8<sup>va</sup>) 8<sup>va</sup>

9/8	7/6	6/5	5/4	4/3	11/8	3/2	5/3
204	267	316	386	498	551	702	884

7° 11° 4° 9° 5° 11° 6° 7°

8<sup>va</sup> 8<sup>va</sup> 8<sup>va</sup> 8<sup>va</sup>

7/4	11/6	2/1	9/8	5/4	11/8	3/2	7/4
969	1050	1200	204	386	551	702	969

8° 9° 10° 11° 12°

(8<sup>va</sup>) 8<sup>va</sup>

2/1	9/8	5/4	11/8	3/2
1200	204	386	551	702

**- VIOLONCELO Corda Dó**

	12°	11°	10°	9°	8°	7°	6°	11°
Interv.	12/11	11/10	10/9	9/8	8/7	7/6	6/5	11/9
Justo								
Int. em Cents	151	175	182	204	231	267	316	347

	5°	9°	4°	11°	7°	10°	3°	11°
	5/4	9/7	4/3	11/8	7/5	10/7	3/2	11/7
	386	435	498	551	583	617	702	782

	8°	5°	12°	7°	9°	11°	2°	11°
	8/5	5/3	12/7	7/4	9/5	11/6	2/1	11/10
	814	884	933	969	1018	1050	1200	175

9°      7°      12°      5°      8°      11°      3°      5°

7

9/8    7/6    6/5    5/4    4/3    11/8    3/2    5/3

204    267    316    386    498    551    702    884

7°      11°      4°      9°      5°      11°      6°      7°

9

7/4    11/6    2/1    9/8    5/4    11/8    3/2    7/4

969    1050    1200    204    386    551    702    969

8°      9°      10°      11°      12°

11

2/1    9/8    5/4    11/8    3/2

1200    204    386    551    702

**- VIOLONCELO Corda Sol**

	12°	11°	10°	9°	8°	7°	6°	11°
Interv. Justo	12/11	11/10	10/9	9/8	8/7	7/6	6/5	11/9
Int. em Cents	151	175	182	204	231	267	316	347

	5°	9°	4°	11°	7°	10°	3°	11°
	5/4	9/7	4/3	11/8	7/5	10/7	3/2	11/7
	386	435	498	551	583	617	702	782

	8°	5°	12°	7°	9°	11°	2°	11°
	8/5	5/3	12/7	7/4	9/5	11/6	2/1	11/10
	814	884	933	969	1018	1050	1200	175

	9°	7°	12°	5°	8°	11°	3°	5°
7								
	9/8	7/6	6/5	5/4	4/3	11/8	3/2	5/3
	204	267	316	386	498	551	702	884

	7°	11°	4°	9°	5°	11°	6°	7°
9								
	7/4	11/6	2/1	9/8	5/4	11/8	3/2	7/4
	969	1050	1200	204	386	551	702	969

	8°	9°	10°	11°	12°	
11						
	2/1	9/8	5/4	11/8	3/2	
	1200	204	386	551	702	

**- VIOLONCELO Corda Ré**

	12°	11°	10°	9°	8°	7°	6°	11°
Interv. Justo	12/11	11/10	10/9	9/8	8/7	7/6	6/5	11/9
Int em Cents	151	175	182	204	231	267	316	347

	5°	9°	4°	11°	7°	10°	3°	11°
Interv. Justo	5/4	9/7	4/3	11/8	7/5	10/7	3/2	11/7
Int em Cents	386	435	498	551	583	617	702	782

	8°	5°	12°	7°	9°	11°	2°	11°
Interv. Justo	8/5	5/3	12/7	7/4	9/5	11/6	2/1	11/10
Int em Cents	814	884	933	969	1018	1050	1200	175

7 <sup>8va</sup> 9° 7° 12° 5° 8° 11° 3° 5°

9/8	7/6	6/5	5/4	4/3	11/8	3/2	5/3
204	267	316	386	498	551	702	884

9 7° 11° 4° 9° 5° 11° 6° 7°

7/4	11/6	2/1	9/8	5/4	11/8	3/2	7/4
969	1050	1200	204	386	551	702	969

11 <sup>8va</sup> 8° 9° 10° 11° 12°

2/1	9/8	5/4	11/8	3/2			
1200	204	386	551	702			

**- VIOLONCELO Corda Lá**

	12°	11°	10°	9°	8°	7°	6°	11°	
	8 <sup>va</sup> -----							8 <sup>va</sup> -----	
Interv.	12/11	11/10	10/9	9/8	8/7	7/6	6/5	11/9	
Justo									
Int em Cents	151	175	182	204	231	267	316	347	

	5°	9°	4°	11°	7°	10°	3°	11°
		8 <sup>va</sup> -----		8 <sup>va</sup> -----				8 <sup>va</sup> -----
	5/4	9/7	4/3	11/8	7/5	10/7	3/2	11/7
	386	435	498	551	583	617	702	782

	8°	5°	12°	7°	9°	11°	2°	11°
	8 <sup>va</sup> -----		8 <sup>va</sup> -----		8 <sup>va</sup> -----		8 <sup>va</sup> -----	8 <sup>va</sup> -----
	8/5	5/3	12/7	7/4	9/5	11/6	2/1	11/10
	814	884	933	969	1018	1050	1200	175

9° 7° 12° 5° 8° 11° 3° 5°

(8<sup>va</sup>)-----

7

9/8 7/6 6/5 5/4 4/3 11/8 3/2 5/3

204 267 316 386 498 551 702 884

7° 11° 4° 9° 5° 11° 6° 7°

8<sup>va</sup>-----

9

7/4 11/6 2/1 9/8 5/4 11/8 3/2 7/4

969 1050 1200 204 386 551 702 969

8° 9° 10° 11° 12°

(8<sup>va</sup>)-----

11

2/1 9/8 5/4 11/8 3/2

1200 204 386 551 702

**- CONTRABAIXO Corda Mi**

12° 11° 10° 9° 8° 7° 6° 11°

8va-----

Interv. Justo

12/11 11/10 10/9 9/8 8/7 7/6 6/5 11/9

Int em Cents 151 175 182 204 231 267 316 347

---

5° 9° 4° 11° 7° 10° 3° 11°

3 8va-----

5/4 9/7 4/3 11/8 7/5 10/7 3/2 11/7

386 435 498 551 583 617 702 782

---

8° 5° 12° 7° 9° 11° 2° 11°

5 8va-----

8/5 5/3 12/7 7/4 9/5 11/6 2/1 11/10

814 884 933 969 1018 1050 1200 175

7  $8^{va}$   $9^\circ$   $7^\circ$   $12^\circ$   $5^\circ$   $8^\circ$   $11^\circ$   $3^\circ$   $5^\circ$

9/8 7/6 6/5 5/4 4/3 11/8 3/2 5/3

204 267 316 386 498 551 702 884

9  $8^{va}$   $7^\circ$   $11^\circ$   $4^\circ$   $9^\circ$   $5^\circ$   $11^\circ$   $6^\circ$   $7^\circ$

7/4 11/6 2/1 9/8 5/4 11/8 3/2 7/4

969 1050 1200 204 386 551 702 969

11  $8^{va}$   $8^\circ$   $9^\circ$   $10^\circ$   $11^\circ$   $12^\circ$

2/1 9/8 5/4 11/8 3/2

1200 204 386 551 702

**- CONTRABAIXO Corda Lá**

	12°	11°	10°	9°	8°	7°	6°	11°
	8 <sup>va</sup> -----							8 <sup>va</sup> -----
Interv. Justo	12/11	11/10	10/9	9/8	8/7	7/6	6/5	11/9
Int em Cents	151	175	182	204	231	267	316	347

	5°	9°	4°	11°	7°	10°	3°	11°
	8 <sup>va</sup> -----			8 <sup>va</sup> -----	8 <sup>va</sup> -----		8 <sup>va</sup> -----	8 <sup>va</sup> -----
	5/4	9/7	4/3	11/8	7/5	10/7	3/2	11/7
	386	435	498	551	583	617	702	782

	8°	5°	12°	7°	9°	11°	2°	11°
	8 <sup>va</sup> -----		8 <sup>va</sup> -----	8 <sup>va</sup> -----			8 <sup>va</sup> -----	8 <sup>va</sup> -----
	8/5	5/3	12/7	7/4	9/5	11/6	2/1	11/10
	814	884	933	969	1018	1050	1200	175

7 *8<sup>va</sup>* 9° 7° 12° 5° 8° 11° 3° 5°

9/8	7/6	6/5	5/4	4/3	11/8	3/2	5/3
204	267	316	386	498	551	702	884

9 *8<sup>va</sup>* 7° 11° 4° 9° 5° 11° 6° 7°

7/4	11/6	2/1	9/8	5/4	11/8	3/2	7/4
969	1050	1200	204	386	551	702	969

11 *8<sup>va</sup>* 8° 9° 10° 11° 12°

2/1	9/8	5/4	11/8	3/2
1200	204	386	551	702

**- CONTRABAIXO Corda Ré**

	12°	11°	10°	9°	8°	7°	6°	11°
Interv. Justo	12/11	11/10	10/9	9/8	8/7	7/6	6/5	11/9
Int em Cents	151	175	182	204	231	267	316	347

	5°	9°	4°	11°	7°	10°	3°	11°
Interv. Justo	5/4	9/7	4/3	11/8	7/5	10/7	3/2	11/7
Int em Cents	386	435	498	551	583	617	702	782

	8°	5°	12°	7°	9°	11°	2°	11°
Interv. Justo	8/5	5/3	12/7	7/4	9/5	11/6	2/1	11/10
Int em Cents	814	884	933	969	1018	1050	1200	175

7  $8^{va}$   $9^{\circ}$   $7^{\circ}$   $12^{\circ}$   $5^{\circ}$   $8^{\circ}$   $11^{\circ}$   $3^{\circ}$   $5^{\circ}$

9/8 7/6 6/5 5/4 4/3 11/8 3/2 5/3

204 267 316 386 498 551 702 884

9  $8^{va}$   $7^{\circ}$   $11^{\circ}$   $4^{\circ}$   $9^{\circ}$   $5^{\circ}$   $11^{\circ}$   $6^{\circ}$   $7^{\circ}$

7/4 11/6 2/1 9/8 5/4 11/8 3/2 7/4

969 1050 1200 204 386 551 702 969

11  $8^{va}$   $8^{\circ}$   $9^{\circ}$   $10^{\circ}$   $11^{\circ}$   $12^{\circ}$

2/1 9/8 5/4 11/8 3/2

1200 204 386 551 702

**- CONTRABAIXO Corda Sol**

	12°	11°	10°	9°	8°	7°	6°	11°
Interv. Justo	12/11	11/10	10/9	9/8	8/7	7/6	6/5	11/9
Int. em Cents	151	175	182	204	231	267	316	347

	5°	9°	4°	11°	7°	10°	3°	11°
	5/4	9/7	4/3	11/8	7/5	10/7	3/2	11/7
	386	435	498	551	583	617	702	782

	8°	5°	12°	7°	9°	11°	2°	11°
	8/5	5/3	12/7	7/4	9/5	11/6	2/1	11/10
	814	884	933	969	1018	1050	1200	175

7

9°	7°	12°	5°	8°	11°	3°	5°
9/8	7/6	6/5	5/4	4/3	11/8	3/2	5/3
204	267	316	386	498	551	702	884

9

7°	11°	4°	9°	5°	11°	6°	7°
7/4	11/6	2/1	9/8	5/4	11/8	3/2	7/4
969	1050	1200	204	386	551	702	969

11

8°	9°	10°	11°	12°	
2/1	9/8	5/4	11/8	3/2	
1200	204	386	551	702	

V.3 Partitura de  $\mu$

Adagio

$\mu$  - I

Tempo Devagar e Não Giusto

ASP ----- nat. -----  
*sfz* ----- *mp*  
Sul G  
8° Sul C  
*fp* ----- *f*  
8<sup>va</sup>  
7° Sul A  
*ppp* ----- *f* ----- *p* ----- *ff*

4 ----- AST ----- ASP ----- nat. -----  
8° Sul G  
*p* ----- *ff*  
Sul D ----- 7°  
*p* ----- *f* ----- *p* ----- *f* ----- *p*  
(8<sup>va</sup>)  
*pp* ----- *ff* ----- *p* ----- *f* ----- 8° Sul D

7

desacelerar trillo

*p* *f*

*pp* *f*

8° Sul C 7° Sul C 5° 3° 7° 8°

*p* *f*

10

Vibrato Lento + 1/4 tom

10

7° Sul G

7° 5° 5° Sul C

5° Sul D

13 Multifônico Quarter Tone Trill up - rápido

13 ASP

*p* *f* *subito p*

ASP

4° Sul C

ASP

*p* *f* *subito p*

WT = Whistle Tones

16 Slap Tongue

Em torno de Fá. Rápido e irregular (ad lib.) *rit.*

WT

*mp*

16 AST

nat.

Pressão do dedo

*pp*

Vibrato lento

*accel.*

*pp*

# μ - II

Col Legno ----- ASP -----

**System 1:**

- Staff 1 (Sul C):** *mf* (Vibr. Rápido 1/4 de tom) → *f* (Senza Vibr.) → *ff*
- Staff 2 (Sul D):** *f* → *mp* → *ff*

**System 2:**

- Staff 1 (Sul C):** *mf* (gliss., 1/4 tom, 1 semitom, curto) → *p* (Senza Vibr.)
- Staff 2 (Sul D):** *p* → *f*

**System 3:**

- Staff 1 (Sul C):** *ff* → *p* → *pp* (2° Sul D) → *f*
- Staff 2 (Sul D):** AST → ASP

# μ - III

Musical score for the first system of "μ - III". The score is in 4/4 time and consists of four staves. 
   
 - **Staff 1 (Treble Clef):** Starts with a whole rest. Then a glissando from *p* to *f* and back to *p*. This is followed by a "Jet Whistle" effect (indicated by a dashed line and a square symbol) and a "Slap Tongue" effect (indicated by circles with horizontal lines). Dynamics are *pp*, *mf*, and *pp*.
   
 - **Staff 2 (Treble Clef):** Starts with a whole rest. Then a "Spicatto" section with *mf* dynamics, featuring "2°Sul G" and "2°Sul D". This is followed by "4° Sul D" and "5°".
   
 - **Staff 3 (Bass Clef):** Starts with a whole rest. Then *f* dynamics, featuring "2°Sul D" and "4°Sul C". This is followed by "4° Sul G" and "8° Sul G". The system ends with a "7°".
   
 - **Staff 4 (Bass Clef):** Starts with *ff* dynamics, featuring "Sul C". This is followed by "ASP" and "nat." (natural).

Musical score for the second system of "μ - III". The score is in 4/4 time and consists of four staves.
   
 - **Staff 1 (Treble Clef):** Starts with a quarter tone trill marked "5" and "accel.". Dynamics are *pp* and *f*. This is followed by a "Multifônico" section.
   
 - **Staff 2 (Treble Clef):** Starts with a whole rest. Then a long note with a slur, followed by a whole rest. Dynamics are *p*.
   
 - **Staff 3 (Treble Clef):** Starts with a whole rest. Then a long note with a slur, followed by a whole rest. Dynamics are *p*.
   
 - **Staff 4 (Bass Clef):** Starts with a whole rest. Then a long note with a slur, followed by a whole rest. Dynamics are *p*. The system ends with "11°Sul C".

# μ - IV

Hollow Tone

Key Accent

*pp* [24] *ff* *f*

5° Sul D *mp*

7° Sul G *mp*

*p* *mp*

*pp* *mp*

*mp* *ff*

5° Sul D 7° Sul G 4° Sul D

*pp* ASP

2° Sul A 7° Sul G

Jet Whistle

Key Vibrato Rapidissimo

ascel. trill

*ff* *ff* *mf* *p* *fff* *pp* *mp*

*rit.*

# μ - V

♩ = Ainda mais Lento

Em torno de Ré. Rápido e irregular (ad lib.)

WT

*ppp*

ASP — nat. — SP

*ppp* — *f*

vibr. muito lento 1/4 tom

Harmônico Artificial Duplo  
Sul D

3 rit. — accel. —

*p*

3 8 ASP — nat.

*pp* — *f*

\* pressão do dedo

vibr. largo e lento

5 Cantar *pp*

*pp* — *mf*

5 8 SP

\* \*

7 + 1/4 tone trill *rit.* - 1/4 tone trill *accel.*

7 ASP  
pppp — pp fp

7 ASP  
pppp — pp fp

7 nat. ASP nat.

trillo acelerando ao mais rápido executável possível

10 WT JW Key Clicks

10 WT JW Key Clicks

10 ASP AST  
mf

10 ASP AST  
mf

10 vibr. rápido e curto lento e longo Glissandos tendência descendente

13 WT Livre *f*

13 *mf*

13 *mf*

13 *ff*

Abaixo do Cavalete

16 Imitar e Improvisar com os sons do Violoncello

16