Rael Bertarelli Gimenes Toffolo

As redes harmônicas de Pousseur aplicadas à composição musical em tempo real

São Paulo

2014

Rael Bertarelli Gimenes Toffolo

As redes harmônicas de Pousseur aplicadas à composição musical em tempo real

Tese apresentada ao programa de Pós-Graduação em Música do Instituto de Artes da Unesp como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Música.

Orientador:
Prof. Dr. Florivaldo Menezes Filho

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO
INSTITUTO DE ARTES

São Paulo

2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá, PR, Brasil)

T644r

Toffolo, Rael Bertarelli Gimenes
As redes harmônicas de Pousseur aplicadas à composição musical em tempo real / Rael Bertarelli Gimenes Toffolo. -- Maringá, 2014.
197 f. : il. color., figs., tabs., + Apêndices

Orientador: Prof. Dr. Florivaldo Menezes Filho.
Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Instituto de Artes, Programa de Pós-Graduação em Música, 2014.

1. Composição - Música 2. Henri Pousseur, 1929-2009. 3. Redes harmônicas. 4. Música eletroacústica. 5. Dissonância cognitiva - Teoria. I. Menezes Filho, Florivaldo, orient. II. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Instituto de Artes. Programa de Pós-Graduação em Música. III. Título.

CDD 21.ed. 781.34

Tese de Doutorado sob o título *As redes harmônicas de Pousseur aplicadas à composição musical em tempo real*, apresentada ao programa de Pós-Graduação em Música do Instituto de Artes da Unesp como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Música por Rael Bertarelli Gimenes Toffolo em 14 de março de 2014.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Florivaldo Menezes Filho
Orientador
UNESP

Prof. Dr. Maurício Funcia de Bonis
Titular
UNESP

Prof. Dr. Jônatas Manzolli
Titular
UNICAMP

Prof. Dr. Fernando Henrique de Oliveira Iazzetta
Titular
USP

Prof. Dr. Marcus Alessi Bittencourt
Titular
UEM

Prof. Dr. Marcos Branda Lacerda
Suplente
USP

Prof[a]. Dr[a]. Denise Hortência Lopes Garcia
Suplente
UNICAMP

Prof. Dr. Marcos Fernandes Pupo Nogueira
Suplente
UNESP

Resumo

A música em tempo real tem se tornado um gênero da música eletroacústica cada vez mais explorado pelos compositores da atualidade. As formas de interação entre a dimensão instrumental e a eletroacústica são um dos principais aspectos investigados por todos que se dedicam ao gênero. Na relação de interação entre instrumentistas e a dimensão eletroacústica, devem-se considerar quais são as informações captadas no "mundo exterior", de que modo tais informação serão captadas e, de que forma serão utilizadas para interferir na dimensão eletroacústica. O fluxo de informações que circula entre as dimensões instrumentais e eletroacústicas tem sido utilizado a fim de propiciar a interação entre diversos aspectos do som como o timbre, o tempo e a dinâmica, por exemplo. Porém, o dado harmônico parece ser o mais complexo de manipular de forma interativa. Nesse sentido, esta investigação buscou uma forma de manipular o dado harmônico em meio a música eletroacústica em tempo real, considerando que as redes harmônicas de Pousseur poderiam ser uma instigante ferramenta composicional para tal finalidade. Para tal, apresentamos o processo de implementação das redes harmônicas de Pousseur como algoritmo computacional realizado na linguagem de programação para áudio digital SuperCollider, suportado por uma revisão teórica do assunto. Buscando um interação que extraísse ao máximo as potencialidades harmônico-relacionais das redes harmônicas de Pousseur com as informações captadas da dimensão instrumental, dedicamo-nos à discussão sobre os conceitos de consonância e dissonância cognitiva, e de como os cálculos de rugosidade de Helmholtz e Plomp & Levelt poderiam ser utilizados como uma ferramenta de classificação dos resultados harmônicos das redes de Pousseur, quanto ao seu nível de tensão harmônica. Por fim, apresentamos os resultados desse processo em exemplos práticos realizados em obras compostas durante o período de realização desta pesquisa.

Keywords: redes harmônicas, Henri Pousseur, música eletroacústica em tempo real, música eletroacústica, dissonância cognitiva.

Área de Conhecimento: Composição Musical (8.03.03.03-0)

Résumé

La musique en temps réel est devenu un genre de la musique électroacoustique le plus exploré par les compositeurs d'aujourd'hui. Les modes de interations entre la partie électronique e les instruments sont l'un des principaux aspects recherchés par tout ceux qui s'occupent du genre. Dans la relation d'interation entre l'instrumentistes e la partir electronique, il faut considérés quels sont les informations captés dans "le monde exterior", de quelle façon ces informations seront captés e, de quelle manière seront utilisés pour interférer dans la partie électronique. Le flux d'informations qui circule entre les parties instrumentales et électroniques est utilisé afin de fournir l'interation entre nombreux aspects du son como le timbre, le temps, et les nuances, par exemple. Cependant, l'aspect harmonique semble être le plus complexe pour manipuler de façon interative. En ce sens, cette recherche a trouvé une manière de manipuler le donné harmonique au milieu de la musique électronique en temps réel, en considerant que les reseux harmoniques de Pousseur pourrait étre une intéressant outil compositionel a telle fin. Pour cela, nous on prèsente le processus de la mise en place des réseaux harmoniques de Pousseur comme algorithme informatique realisé dans le language de programmation audio numérique SuperCollider, sutenu par une revision thèorique du sujet. En cherchant une interaction qui extrayait au maximun les potentialités harmoniques des réseaux harmoniques de Pousseur avec les informations captés de la partie instrumentale, on s'occupe a la discussion sur le concepts de consonance et dissonance cognitive e de comment les calcules de rugosité de Helmholtz et Plomp & Levelt pourraient être utilisé comme un outil de classification des resultats harmoniques des réseaux de Pousseur, quant à son niveau de tension harmonique. Bref, on present les resultats de ces processus dans des exemples pratiques realisés dans des oeuvres composés pendant la période de realisation de cette recherche.

Mots-clés : réseaux harmoniques, Henri Pousseur, musique électroacoustique en temps réel, musique électroacoustique, dissonance cognitive.

Domaine de Connaissance : Composition Musicale (8.03.03.03-0)

Sumário

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

Introdução p. 15

1 As redes harmônicas de Pousseur p. 23

1.1 Redes harmônicas . . . . . p. 23

1.2 Implementação das Redes de Pousseur para SuperCollider . . . . . p. 39

1.2.1 Criação do algoritmo da rede . . . . . p. 41

1.2.2 Utilização da rede . . . . . p. 45

1.3 Conclusão . . . . . p. 48

2 Eletrônica em tempo real p. 50

3 Consonâncias, Dissonâncias e Tensão Harmônica p. 59

3.1 A dissonância sensorial ou cognitiva como ferramenta para a classificação da Tensão Harmônica . . . . . p. 71

3.2 Implementação do Modelo de Cálculo de Tensão Harmônica . . . . . p. 77

3.3 Procedimentos de testes do modelo de cálculo de dissonância . . . . . p. 83

3.4 Cálculo de tensão harmônica das permutações cíclicas e das redes harmônicas de Pousseur . . . . . p. 88

4 Utilização das Redes Harmônicas de Pousseur na música em tempo real p. 96

5 Conclusões ou apontamentos provisórios? p. 111

Apêndice A – Códigos das Classes Pousseur e HarmonicTension para SuperCollider p. 115

A.1 Rede Harmônica de Pousseur . . . . . p. 115

A.2 Cálculo de Tensão Harmônica . . . . . p. 118

Apêndice B – O resto no copo para contrabaixo e eletrônica em tempo real: partitura e código do *patch* p. 123

B.1 Código do *patch* em SuperCollider . . . . . p. 134

Apêndice C – Traverser le réseau para violoncelo e eletrônica em tempo real: partitura e código do *patch* p. 153

C.1 Código do *patch* em SuperCollider . . . . . p. 164

C.1.1 TraverserLive.scd . . . . . p. 164

C.1.2 variables.scd . . . . . p. 164

C.1.3 synths.scd . . . . . p. 167

C.1.4 traverserMainCode.scd . . . . . p. 171

C.1.5 Classe para integração do SuperCollider com o InScore . . . . . p. 183

C.1.6 Inclusão de métodos na Classe *Event*, necessária à classe de integração do SuperCollider com InScore . . . . . p. 184

C.1.7 Alterações nas Classes *Integer* e *Array* necessárias ao funcionamento do *patch* de *Traverser le réseau* . . . . . p. 186

Apêndice D – Cálculo de tensão harmônica manual p. 189

Apêndice E – CD com as obras *O resto no copo* e *Traverser le réseau* p. 191

Referências Bibliográficas p. 192

Lista de Figuras

1.1 Tabela de Polaridade Intervalar, extraído de Pousseur (2009). . . . . p. 32

1.2 Exemplo de Permutações Cíclicas, extraído de Menezes (2002). . . . . p. 33

1.3 Rede Harmônica com eixos em 8J, 5J e 3M. . . . . p. 36

1.4 Rede Harmônica de Pousseur com eixos de Oitava, Quinta Justa e Terça Maior representada em pauta musical. . . . . p. 37

1.5 Rede Harmônica Original com localização das notas de um dado trecho musical. p. 38

1.6 Rede Deformada para eixos em Quinta Aumentada, Sétima Maior e Terça Menor com trecho musical reprojetado na estrutura transformada. . . . . p. 38

1.7 Lista de nós visitados (X) e não visitados (-). Nota Do4 (60 MIDI) marcada como visitada. . . . . p. 42

1.8 Fila de visitas no primeiro passo do algoritmo. Os valores são colocados na ordem a visitar: Nota inicial (60); eixo X ascendente e descendente (60 + 5; 60 - 5); eixo Y ascendente e descendente (60 + 8; 60 - 8) e eixo Z ascendente e descendente (60 + 12; 60 - 12). . . . . p. 42

1.9 Lista de nós visitados no início do segundo passo do algoritmo. . . . . p. 42

1.10 Valores incluídos na fila a visitar no segundo passo do algoritmo. . . . . p. 43

1.11 Representação visual do algorítmo. . . . . p. 43

1.12 Árvore de caminho no primeiro passo do algoritmo. . . . . p. 44

1.13 Trecho do canto integracionista negro We Shall Overcome. Adaptado de Pousseur (2009, p. 238) . . . . . p. 47

2.1 Quadro esquemático de relacionamentos entre a dimensão instrumental e a eletroacústica elaborado por Manoury (2013). Quadro adaptado a partir da conferência do compositor: *La musique du temps réel* realizada em 4 de junho de 2013 no Collège de France, Paris. . . . . p. 53

2.2 Representação esquemática das *entradas* e *saídas* de dados ao utilizar as redes harmônicas implementadas computacionalmente. As setas indicam os dados que podem ser modificados pelo compositor. As linhas simples indicam o fluxo de funcionamento do algorítimo, etapas nas quais não há possibilidade de interferência. . . . . p. 56

3.1 Caracterização do Espaço Harmônico de Lerdahl. Extraído de Lerdahl 2001 (location 1056) . . . . . p. 65

3.2 Tabela de Densidade Cardinal do acorde de Dó Maior . . . . . p. 66

3.3 Tabela de Densidade Cardinal do Acorde de Dó com sétima . . . . . p. 67

3.4 Tabela de Rugosidade segundo Plomp e Levelt (1956) . . . . . p. 76

3.5 Resultado do cálculo de dissonância dos intervalos musicais até a Oitava. Extraído de Plomp e Levelt (1965) . . . . . p. 76

3.6 Curva de rugosidade gerada pela equação segundo Bigand et al. (1996) . . . p. 79

3.7 Cálculo de Tensão Harmônica dos Intervalos até a Oitava sem a etapa de multiplicação de amplitude . . . . . p. 84

3.8 Cálculo de Tensão Harmônica dos Intervalos até a oitava com etapa de multiplicação de amplitude . . . . . p. 84

3.9 Acordes prototípicos da Segunda Escola de Viena . . . . . p. 85

3.10 Tabela de Tensão harmônica de três acordes prototípicos da Segunda Escola de Viena. . . . . p. 86

3.11 Tensão harmônica de dois acordes prototípicos da Segunda Escola de Viena. . p. 87

3.12 Tabela comparativa de resultados de diversas configurações de cálculo de tensão. . . . . p. 88

3.13 Tensão harmônica das Permutações Cíclicas de Pousseur. . . . . p. 89

3.14 Tensão harmônica das sequências de acordes do exemplo de redes harmônicas de Pousseur . . . . . p. 90

3.15 Comparação do nível de tensão harmônica entre os acordes originais e transformados pela rede com eixos em 5J, 8J e 2m. . . . . p. 92

3.16 Arquétipos harmônicos testados. Extraído de Menezes (2002), p. 319. . . . . p. 92

3.17 Tensão harmônica do arquétipo Berg em cinco configurações de redes harmônicas. . . . . p. 93

3.18 Tensão harmônica do arquétipo Berg com rede inicial modificada . . . . . p. 94

4.1 Trecho inicial da obra *Mutazione* para violão e eletrônica em tempo real . . . p. 97

4.2 Exemplo de acordes gerados em tempo real nos quais a quantidade de notas e a distribuição no registro estão associados à dinâmica instrumental captada em tempo real. . . . . p. 97

4.3 Sessão 5 de *O resto no Copo* para contrabaixo e eletrônica em tempo real. Demonstração da camada polifônica gerada em tempo real a partir da parte do contrabaixo. A parte original do contrabaixo está na primeira pauta do sistema e a transcrição aproximada da parte eletroacústica está na segunda pauta do sistema. . . . . p. 99

4.4 Acorde extraído do movimento *Rondes printanières* da Sagração da Primavera de Igor Stravinsky; transposição utilizada na peça *Traverser le réseau* e acorde reduzido aos seus constituintes básicos. . . . . p. 99

4.5 Rede Harmonica de Pousseur com centro de Dó e eixos sexta menor, oitava justa, quarta justa. . . . . p. 100

4.6 Resultado da transformação da entidade principal da peça através das manipulações das redes harmônicas de Pousseur. Ao centro, temos a entidade original. Nas pontas, as transformações realizadas utilizando as redes tal qual a configuração indicada abaixo da pauta. Os valores acima indicam o grau de tensão harmônica geral de cada coleção, obtido pelo cálculo de tensão harmônica discutido anteriormente. . . . . p. 100

4.7 Trecho inicial da peça *Traverser le réseau* (2013) . . . . . p. 101

4.8 Camada harmônica gerada pela escritura em tempo real a partir da relação das redes harmônicas de Pousseur com os dados da dinâmica obtidas da escritura instrumental. . . . . p. 102

4.9 Exemplo de frase musical gerada em tempo real, utilizando as redes harmônicas de Pousseur associadas à detecção de frequência e amplitude da dimensão instrumental. . . . . p. 103

4.10 Exemplo de frase musical gerada em tempo real, utilizando as redes harmônicas de Pousseur associadas à detecção de frequência e amplitude da dimensão instrumental. . . . . p. 103

4.11 Exemplo de frase musical gerada em tempo real, utilizando as redes harmônicas de Pousseur associadas à detecção de frequência e amplitude da dimensão instrumental. . . . . p. 104

4.12 Exemplo de frase musical gerada em tempo real, utilizando as redes harmônicas de Pousseur associadas à detecção de frequência e amplitude da dimensão instrumental. . . . . p. 104

4.13 Exemplo de frase musical gerada em tempo real utilizando as redes harmônicas de Pousseur associadas à detecção de frequência e amplitude detectadas da dimensão instrumental. . . . . p. 104

4.14 Exemplo de frase musical gerada em tempo real utilizando as redes harmônicas de Pousseur associadas à detecção de frequência e amplitude detectadas da dimensão instrumental. . . . . p. 105

4.15 Segunda parte de *Traverser le réseau*. . . . . p. 106

4.16 Representação esquemática do uso das Redes Harmônicas em conjunto com o cálculo de tensão harmônica. . . . . p. 107

4.17 Relacionamento entre dinâmica instrumental e redes harmônicas ordenadas a partir do cálculo de tensão harmônica . . . . . p. 108

4.18 Trecho de improvisação em *Traverser le réseau* . . . . . p. 108

4.19 Tela da aplicação em SuperCollider para o trecho de improvisação de *Traverser le réseau*. . . . . p. 109

4.20 Tela da aplicação em SuperCollider para o trecho de improvisação de *Traverser le réseau*. . . . . p. 109

4.21 Tela da aplicação em SuperCollider para o trecho de improvisação de *Traverser le réseau*. . . . . p. 110

4.22 Tela da aplicação em SuperCollider para o trecho de improvisação de *Traverser le réseau*. . . . . p. 110

Lista de Tabelas

3.1 Tabela de relacionamento harmônico de Gottfried Weber — extraído de (LERDAHL, 2001, location: 960) . . . . . p. 63

3.2 Tabela de configuração das redes harmônicas do exemplo de Pousseur . . . . p. 91

Introdução

Atualmente, temos assistido a um número cada vez mais amplo de compositores dedicarem-se à produção de obras em tempo real e consequentemente acompanhamos o aumento do número de estudos teóricos e estéticos que abordam tal prática musical[1]. É natural que surjam nesse contexto posturas favoráveis ou contrárias à música em tempo real, e mesmo em meio aos seus defensores há, por vezes, posturas estéticas antagônicas.

Dias (2006), em seu *"A querela dos tempos": um estudo sobre as divergências estéticas na música eletroacústica mista"*, aborda uma das mais conhecidas discussões ocorridas durante o surgimento da música em tempo real, a saber: a que se refere à maleabilidade temporal interpretativa decorrente das práticas composicionais em tempo real que não são potencialmente possíveis de serem atingidas na música mista em tempo diferido. Para Dias, os praticantes da música em tempo real defendiam que tal música propiciava a continuidade histórica, ao devolver ao instrumentista a capacidade de tomar decisões interpretativas que eram consideravelmente mais limitadas na música em tempo diferido. Por outro lado, os defensores da música sobre suporte fixo afirmavam que as ferramentas para a criação de música em tempo real não propiciavam o mesmo nível de controle especulativo à criação e manipulação da materialidade sonora eletroacústica. Os dois argumentos são discutíveis, como aponta a autora. No primeiro caso, a maleabilidade temporal propiciada pela música em tempo real é uma decisão composicional e sua presença ou ausência depende do planejamento e estrutura concebida pelo compositor, e pela forma com que agencia as estruturas as quais não estão necessariamente condicionadas ao fato de os processos eletroacústicos não serem em tempo real. No segundo caso, as ferramentas para a produção musical eletroacústica recentes, tanto para tempo diferido quando para tempo real, são, hoje, praticamente as mesmas. As diferenças tecnológicas que existiam na síntese e

[1] Cf. Risset e Duyne (1996); Risset (1999); McNutt (2003)

processamento de sinal realizadas em tempo diferido e em tempo real praticamente inexistem na atualidade. Softwares como Max/MSP, SuperCollider, Csound, PureData, entre outros, são utilizados tanto para produção de obras em tempo real quanto em tempo diferido.

O recente desenvolvimento tecnológico propiciou não só a equalização entre as técnicas de produção eletroacústica em tempo diferido e em tempo real como também contribuiu para o desenvolvimento de diversas novas formas de interação, que se espalharam por praticamente todas as formas de produção artística. Os artistas da visualidade e do corpo também têm se dedicado ao desenvolvimento de obras interativas, utilizando grande parte das ferramentas dedicadas à produção musical, como os softwares PureData, SuperCollider e Max/MSP.

Nas artes visuais, o conceito de interatividade é geralmente discutido dentro da área da performance e envolve tanto a relação entre fruidor e obra quanto a interação entre linguagens artísticas diversas, como a visualidade e o corpo, o som e o corpo, o som e a visualidade, entre tantas outras combinações possíveis. Essas especulações, provenientes das mais diversas linguagens artísticas, têm propiciado um grande desenvolvimento dos mais variados tipos de detectores e sensores que, por sua vez, têm ampliado consideravelmente as possibilidades de interação entre homem/máquina[2].

O compositor Simon Emmerson (2010) dedica seu livro *Living electronic music* ao estudo da situação da música em tempo real em meio aos recentes desenvolvimentos tecnológicos, apresentando um panorama sobre a estética musical nesse contexto. Parte da ideia da reintegração do *vivo* ou da *presença do vivo*[3] em meio à produção artística contemporânea, fortemente embasado pela filosofia pós-pontyana[4], considerando que a reinclusão da referencialidade em meio à música concreta demarca o início dessa postura. Nesse sentido, aborda como as informações da dimensão do *vivo* podem ser extraídas do fluxo sonoro. Inicialmente, considera

[2]Para uma visão panorâmica acerca da relação homem/máquina no campo da música, conferir (ROWE, 1993, 2001; MACHOVER, 1992). Para uma visão sobre os usos da tecnologia nas artes visuais, do corpo e da performance, conferir (DOMINGUES, 2009)

[3]Essa dimensão viva considerada por Emmerson engloba desde o instrumentista na música eletroacústica até a extração de informações da natureza, dinâmicas populacionais de diversas espécies, mudanças de padrões climáticos provenientes de qualquer esfera biológica e similares.

[4]O autor apresenta ao longo do texto relação mais direta com os filósofos continuadores da fenomenologia de Merleau-Ponty como Varela, Thompson e Rosch (2003), Maturana et al. (1997), entre outros. Para uma visão panorâmica sobre os filósofos de tal vertente, confira Petitot et al. (1999).

como os diversos sensores são utilizados para obter informações dos instrumentistas. Posteriormente, dedica-se ao conceito de *sonificação*, comumente utilizado para descrever obras que buscam criar estruturas musicais a partir de conjuntos de dados obtidos de fontes não musicais. Para o autor, tal vertente tem origem no trabalho do teórico e compositor Iannis Xenakis, que se apoiava em modelos matemáticos e estatísticos para a confecção de estruturas musicais. Tal paradigma desenvolve-se de modo a considerar dados extraídos de estruturas biológicas, sociais, entre outras. Por fim, passa a considerar como o corpo tem sido foco de atenção de artistas e músicos como fonte de informação para a criação artística.

Dentro desse vasto panorama e de um certo fetichismo tecnológico associado à forte proliferação de novos meios de produção, já alertado por (MENEZES, 1999, p. 9)[5], inúmeras obras têm emergido, dando origem a uma nova querela não mais relacionada à música em tempo diferido ou tempo real, mas muito mais relacionada a uma oposição entre música improvisada e música pré-elaborada, com maior ou menor grau de estruturação.

Philippe Manoury, um dos compositores pioneiros da música eletroacústica em tempo real, relata suas impressões acerca da grande quantidade de obras realizadas de forma improvisada ou performática.

> Sou forçado a observar que, entre todos os músicos que se aproximaram do tempo real de forma decisiva, não é na minha família estética próxima — aquela de compositores — que eu encontrei engajamento mais consequente, mas em uma corrente estética muito mais distante das minhas orientações artísticas: aquela das músicas improvisadas e de "performers". Esta situação curiosa me deixou fortemente isolado por um bom tempo, pois essa junção de orientações estética e tecnológica que era minha, era só raramente partilhada por outros.[6]. (MANOURY, 2007).

[5]Reproduzimos o trecho de Menezes: "E assim o foi, pois que hoje o jovem compositor tem muito mais acesso às manipulações espectrais que lhe possibilitam as novas tecnologias do que os organismos corporativistas e altamente burocratizados que estão na base da música orquestral. [...] Tal fato é, contudo, uma inegável constatação: é necessário que haja reconhecimento inclusive (e acima de tudo) institucional da supremacia da música eletroacústica. Todavia, é fundamental que se tenha, ao mesmo tempo, plena consciência das potencialidades técnicas e estéticas das novas ferramentas da composição musical, alertando-se continuamente para os riscos de um fetichismo despropositado em relação aos meios tecnológicos, tendência esta que, de modo nefasto, procura se instaurar a cada instante na indústria cultural capitalista."

[6]"Force m'est de constater que, parmi tous les musiciens qui se sont approchés du temps réel de façon décisive, ce n'est pas dans ma famille esthétique proche – celle des compositeurs – que j'ai trouvé l'engagement le plus conséquent, mais dans un courant esthétique beaucoup plus éloigné de mes orientations artistiques : celui des musiques improvisées et des 'performers"'. Cette curieuse situation m'a laissé assez isolé pendant longtemps, car cette union d'orientations esthétique et technologique qui était la mienne, n'était que rarement partagée par d'autres.

Podemos perceber que a improvisação está fortemente presente na música eletroacústica em tempo real[7]. Nesse contexto, desenvolveu-se, na atualidade, uma nova vertente composicional chamada *live coding*[8], que consiste na criação de códigos de programação de forma coletiva e em tempo real. A própria escritura eletroacústica, enquanto código de programação, passou a ser feita em tempo real e coletivamente.

Paralelamente a essa situação, parece que a quantidade de interconexões entre as diversas dimensões do fazer artístico, ocorridas em meio à troca de informações obtidas por sensores de todo tipo, e a escritura eletroacústica abriu espaço para um universo consideravelmente amplo de possibilidades criadoras, ao mesmo tempo que deixa diversas questões em aberto. Como criar relações entre os dados obtidos pelos sensores, que se encontram em um campo simbólico específico, e o trecho de código que gerará uma pedaço de áudio, uma animação gráfica ou controlará um dos parâmetros de um processo de tratamento de áudio proveniente de um instrumentista?

Nesse contexto é que se insere esta pesquisa. Como propiciar a criação de obras construídas em tempo real, que se beneficiem de toda a maleabilidade temporal e interpretativa que a música em tempo real propicia, sem perder de vista o cuidado com a especulação das estruturas e dos materiais?

Para tanto, nosso trabalho buscou aproveitar-se das especulações harmônicas provenientes das redes harmônicas do compositor belga Henri Pousseur e aplicá-las à música em tempo real. Como veremos ao longo deste texto, as redes harmônicas de Pousseur caracterizam-se como uma interessante ferramenta de relacionamento entre diversos sistemas harmônicos, provenientes de períodos históricos diferentes. Nesse sentido, a técnica de redes harmônicas de Pousseur configura-se enquanto um interessante campo de estudos para a arte contemporânea.

O filósofo Arthur Danto (2006) dedica seu livro *Após o fim da Arte* à arte e artistas, em especial das visualidades, que estabelecem os paradigmas artísticos do período subsequente à primeira metade do século XX. Tal período assistira uma oposição ao ideal formalista, histó-

[7] Cf. Garnett (2001); Kimura (2003); Scipio (2003); Belet (2003)

[8] Para uma visão panorâmica sobre a tendência do *live-coding*, ver Collins (2011) e Magnusson (2011).

rico linear e universalizante da arte. Danto propõe denominar esse novo paradigma de arte *pós-histórica*, apoiando-se no fato de que se tem assistido à proliferação de uma atitude "apropriacionista", "citacional" na produção artística atual. O contemporâneo, ou pós-histórico é, para Danto, um período de alta entropia estética. Um período de grande desordem informativa em que não há qualquer limite histórico. Tal concepção de arte tem início no fim das vanguardas, período em que passam a se suceder movimentos artísticos de forma tão vertiginosa, que acabaram por apagar qualquer traço de uma direção narrativa histórica que pudesse estabilizar-se enquanto norma. Tal mudança de comportamento artístico e dos artistas levou-os à reconsideração do papel dos museus na sociedade atual, que deixaram de ser espaços para o armazenamento da beleza histórica para se tornarem fontes de material disponibilizado à livre invenção artística.

Esse carácter "citacional" ou apropriacionista que introduz em uma referida obra artística um conjunto de referencialidades históricas está presente tanto no trabalho de Michel Butor (1926-), colaborador de Pousseur em diversas obras, quanto no próprio pensamento pousseuriano. Como afirma Bonis (2012), Pousseur encontra-se em uma linha de pensamento que buscou um diálogo ativo com a história, decorrente da crise de estabelecimento de uma linguagem universalizante, resultando na busca de um discurso metalinguístico que investiga a própria linguagem musical e sua história. Também afirma:

> [Pousseur] vislumbra um novo simulacro de linguagem, um novo sistema de referência harmônico, amplo o suficiente para estabelecer uma relação orgânica com a história e com a multiplicidade das linguagens musicais. Assim ele descobre (segundo suas próprias palavras) a técnica de redes, multiplicação das relações elementares entre as forças intervalares históricas (e portanto igualmente pertinentes a diversos sistemas de referência) para fazê-los dialogarem em uma mesma estrutura com qualquer outra forma de organização de alturas (BONIS, 2012).

Portanto, as suas especulações harmônicas, materializadas na forma da técnica de redes, parecem ser o centro desse diálogo com a história. As redes harmônicas de Pousseur podem ser consideradas como mapas de relacionamento entre alturas que, por sua vez, dependendo da sua forma de distribuição (decorrendo de sua estrutura intervalar), representam sistemas harmônicos diversos. Pousseur desenvolve suas redes buscando encontrar formas de relacionar, em

um mesmo contexto musical, os diversos sistema harmônicos históricos tonais ou não tonais. Um tipo de serialismo (*série généralisée*) levado às últimas consequências, de forma a considerar a própria história da harmonia, imbuída de toda sua carga referencial, como parâmetro composicional a ser manipulado.

Dentro desse contexto, optamos por investigar como as redes harmônicas de Pousseur poderiam ser utilizadas em meio à música em tempo real. Porém, o uso das redes em tempo real demanda certo cuidado, pois devemos compreender como relacionar as dimensões musicais diversas obtidas na captação de dados da dimensão instrumental com as estruturas de configuração das redes de forma equalizada, para que se consiga um relacionamento profícuo entre elas. Nesse sentido, apresentamos no primeiro capítulo uma revisão do pensamento pousseuriano, centrando-nos nos dois principais textos do autor que abordam as redes harmônicas. O primeiro deles, no qual Pousseur apresenta a técnica de redes harmônicas *Apoteose de Rameau: ensaio sobre a questão harmônica*[9], e o segundo: *Aplicações analíticas das 'técnicas de redes'*[10], no qual demonstra a potencialidade das redes harmônicas para a análise musical. Neste mesmo capítulo, apresentamos como foi realizada a implementação computacional das redes harmônicas de Pousseur para uso na música em tempo real.

No capítulo 2, abordamos questões referentes à música em tempo real, em especial as proposições de relacionamento entre a dimensão eletroacústica e a escritura instrumental como apresentadas por Manoury, visando discutirmos como as redes harmônicas podem ser aplicadas à música em tempo real.

No capítulo 3, devido à necessidade de categorizar os resultados das redes e criarmos pontes de relação entre eles e as informações provenientes da dimensão instrumental, nos dedicamos à discussão sobre os conceitos de consonância e dissonância e, posteriormente, consideramos que elas podem ser vistas como gradações de maior ou menor grau em uma escala de *tensão harmônica*. Neste capítulo abordamos, ainda, a aplicação dos modelos de cálculo de *rugosidade* de Helmholtz para o cálculo da tensão harmônica das classes de alturas provenientes das redes

[9] Pousseur (2009a).
[10] Pousseur (1998).

harmônicas. Posteriormente, consideramos a confecção do algorítimo de cálculo de tensão harmônica, também para a utilização em tempo real, que servirá como ferramenta de categorização e classificação dos resultados das redes harmônicas e relacionamento desses resultados aos dados provenientes dos sensores utilizados na composição em tempo real.

No capítulo 4 apresentamos, de forma mais detalhada, exemplos analisados da aplicação das redes e dos cálculos de tensão harmônica em uma obra eletroacústica em tempo real.

Por fim tecemos as considerações finais apontando quais as novas investigações que podem surgir deste trabalho.

Não podemos deixar de agradecer àqueles que contribuíram de forma direta e indireta para a realização deste trabalho.

Ao professor Dr. Flo Menezes que, com seu alto grau de competência, profissionalismo e compreensão guiou a realização desta pesquisa.

Aos professores Dr. Maurício de Bonis e Dr. Alexandre Lunsqui pelas valorosas contribuições ao trabalho.

À Helen Gallo, amiga e confidente de tantas horas, que sempre me inspirou com seu profissionalismo e talento.

Ao amigo Alexandre Rosa, músico excepcional que inspirou muitas das ideias aqui presentes.

Ao amigo Pedro Ludwig por emprestar seu talento e competência à *Traverser le réseau*.

Ao Dr. Flávio Luiz Schiavoni, pela troca de ideias durante a confecção dos algorítimos e códigos presentes nesta pesquisa e pela amizade que se estabeleceu ao longo desses anos de trabalho conjunto.

Aos queridos professores Carlos Stasi, Sonia Ray e Lia Tomás, que ganhei a honra de chamar de amigos, e por suas valorosas contribuições às diversas etapas deste trabalho.

Aos cunhados Suzanne Schulz e Luís Augusto Romão, pela parceria, estadia e apoio du-

rante todo esse tempo.

Aos tios Terê e Nori.

Aos meus pais Meire e Carlos, por sempre terem dado de tudo para que pudéssemos seguir sempre em frente e alcançar degraus cada vez mais altos.

A minha filhota Rubia, pelo carinho e compreensão durante as ausências desse período.

À minha maior crítica, inspiração, farol e maior interprete Sabrina Schulz, pianista, esposa, professora, companheira sem a qual nada disso seria possível.

A todos os funcionários do Instituto de Artes de Unesp em especial do programa de pós-graduação, que sempre estão presentes para auxiliar-nos em nossas tarefas diárias. Um “Salve!” ao Edmílson por lembrar de cada um de nós, alunos, durante tantos anos!

Aos colegas do Departamento de Música da UEM, em especial ao amigo Marcus Bittencourt, pelo apoio durante esses anos e parceria no Laboratório de Pesquisa e Produção Sonora da UEM - LAPPSO/UEM, onde grande parte das etapas técnicas deste trabalho foi realizada.

1 As redes harmônicas de Pousseur

1.1 Redes harmônicas

> como conseguir fazer "rimar" numa mesma composição uma citação de Gluck ou Monteverdi com uma de Webern (dois domínios gramaticais que me pareciam até então exatamente opostos e praticamente incompatíveis), como conseguir "conjugá-los", encontrar-lhes funções comuns, e, para começar, estabelecer entre eles uma série de tipos intermediários suscetíveis de convencer o ouvido musical de que pertenceriam a um mesmo domínio mais geral? (POUSSEUR, 2009b, p. 194)

Consideremos a intenção expressa por Pousseur (2009b), em seu "Apoteose de Rameu - ensaio sobre a questão harmônica", de forma sumária, porém não superficial, e os desdobramentos do pensamento pousseuriano ao tentar buscar uma metagramática que pudesse fazer "rimar" esses dois universos, ou mais precisamente, espaços harmônicos — como irá posteriormente denominar.

A princípio vale ressaltar que não há na proposta do compositor um resgate ingênuo das funcionalidades tonais, desconsiderando todo o desenvolvimento musical conquistado pela geração pós-weberniana, da qual, aliás, o próprio Pousseur fazia parte, principalmente quando se expressa a vontade em reconsiderar o universo monteverdiano em meio à composição atual. Pousseur alerta-nos a esse respeito:

> Com efeito, tendo em vista o alto grau de elaboração e a extrema hegemonia que essa dimensão exerce na música tonal, assim como a considerável carga cultural que pesa sobre a percepção harmônica aos ouvidos ocidentais, é neste plano que parecem existir os maiores perigos de uma evolução puramente reacionária, de um retrocesso que evidentemente não podemos admitir. (POUSSEUR, 2009b, p. 192).

Ainda nesse sentido, um retrocesso desse tipo nos direciona às críticas formuladas por Boulez, que não podem aqui deixar de ser consideradas, em especial à música de Stravinsky:

> Num estudo precedente, dissemos que a falibilidade de Stravinsky residia na inconsequência — ou seja, inconsistência — de seu vocabulário; tendo esgotado certo número de expedientes destinados a remediar o desabamento tonal, ele se encontrou "desprevenido", já que não surgiu uma nova sintaxe (BOULEZ, 2008, p. 20).

Ainda que um tanto duvidosa, a crítica de Boulez acerca de uma inabilidade do mestre russo em desenvolver uma nova sintaxe musical, na verdade em meio a uma crítica mais cáustica ao Neo-classicismo, reforça o alerta de cuidado que há de se ter, em meio à prática composicional, a retornos gratuitos à música do passado. Tal crítica foi posteriormente contestada por diversos compositores e pensadores, sendo Pousseur um de seus contundentes opositores. Pousseur dedica o texto ao qual nos referimos aqui, a saber: *Apoteose de Rameau*, diretamente a Boulez, e em outro: *Stravinsky selon Webern selon Stravinsky*, no qual analisa a obra *Agon* do mestre russo, demonstra que não há ingenuidade ou inabilidade alguma na obra de Stravinsky, mas sim uma visão "limitada" de Boulez sobre o assunto, que não reconhece ali, o alto nível de especulação e invenção harmônicas por parte de Stravinsky.

Retornemos então à questão central de Pousseur, investigada aqui: as formas de fazer rimar os universos tonais expressos simbolicamente pela música de Monteverdi ao universo multipolar da música weberniana. Esse desejo emerge de uma profunda análise da música de seu tempo, em especial do serialismo integral. Para o autor, o serialismo, que propiciou um desenvolvimento tão rico à prática composicional, necessitava de uma revisão profunda que passava principalmente pela consideração de questões perceptuais e mesmo estruturais. Além disso, como veremos mais a frente, Pousseur buscava formas de resgatar aspectos funcionais, formais e perceptuais que pareciam ter sido negligenciadas pelo serialismo estrito. Logicamente, não era o único a despender esforços nesse sentido, e mesmo a técnica de grupos, já nos primórdios do serialismo integral, teve por intuito recuperar certas lógicas perceptuais desconsideradas pelo serialismo pontilhista da primeira fase, como afirma:

> Essa evolução teve início com grande precaução, e, se podemos reconhecer seus primeiros sintomas já no início da chamada "técnica de grupos" (a partir de *Le Marteau sans Maître* de Boulez, por exemplo), se encontramos manifestações já mais estabelecidas nas obras do final da década de 1950, como em *Gruppen* de Stockhausen ou em *Circles* de Berio, fica bastante evidente que é

> sobre o plano *harmônico* que se demonstrava a maior precaução (POUSSEUR, 2009b, p. 191).

Para Pousseur, o serialismo pecava em sua filiação estrutural, de certa forma reducionista, ao parâmetro da altura como elemento primário. Tal processo de abstração colocava em xeque certas propriedades perceptuais tão caras ao compositor, demonstrando uma forte filiação deste a uma fenomenologia da escuta.

Vale interpormos ao pensamento de Pousseur uma breve revisão acerca do processo contínuo de abstração do desenvolvimento composicional que culminará no serialismo integral e que em meio à crise deste, desembocaria tanto nas críticas esboçadas por Pousseur quanto nas pesquisas e produções dos compositores da geração pós-weberniana, em especial no desenvolvimento da técnica de grupos.

Menezes (1999), no texto *A escritura ausente. Sobre o estatuto da escritura e do material na música eletroacústica*, em meio a uma profunda discussão acerca do relacionamento entre música e linguagem, mas especificamente considerando a escritura verbal e a escritura musical, demonstra como, ao longo da história, assistimos ao desenvolvimento, ou melhor, do contínuo processo de especificação da notação musical em direção a uma abstração simbólica, decorrente da busca por formas mais eficientes para representar as estruturas musicais, resultando em um processo que cada vez mais a distanciou de seu correlato físico-acústico.

> (. . .), um olhar retrospectivo sobre a crescente complexidade notacional, numa constante busca de aperfeiçoamento de sua função representativa, traz-nos à luz a evidente constatação de que, ainda que garantindo a edificação de elaboradas construções abstratas, a escritura [leia-se: escrita][1] nada mais fez que tentar compensar, no nível de elaboração, sua incapacidade ante a representação da complexidade acústica dos fenômenos sonoros concretos (MENEZES, 1999, p. 57).

Esse poder de abstração da notação, resultado do *continuum* histórico da música ocidental, culmina em uma dissociação dos parâmetros sonoros em categorias diversas. Pode-se pensar

[1] O conceito de escritura, cunhado por Roland Barthes praticamente ao longo de toda a sua trajetória, foi utilizado em música, primeiramente, por Pierre Boulez, porém carecia de uma definição mais sólida. Flo Menezes foi o primeiro a dedicar esforços nesse sentido e tem sistematicamente discutido tal conceito em diversos de seus textos. O texto desta citação é o primeiro a abordar o conceito de escritura na obra teórica de Flo Menezes e a distinção entre escrita e escritura não era tão substancial como passará a ser em seus textos posteriores.

em manipulações das alturas independentes das durações, timbres ou dinâmicas. Há uma codificação simbólica, cada vez mais específica ao longo da história, para cada um dos parâmetros composicionais, algo que não é possível pensar quando se considera o som em sua concretude, em sua totalidade. Não seria, portanto, possível edificar a polifonia flamenga, o classicismo ou o romantismo, e sequer o serialismo, ponto culminante desse processo, sem essa capacidade dissociativa decorrente do processo de especificação e abstração da escrita musical. Como afirma:

> (...) o distanciamento conceitual em relação ao fenômeno acústico, proporcionado ao compositor pela escritura [leia-se: escrita][2], permitiu que distintos tratamentos fossem destinados aos distintos parâmetros sonoros, tendência esta que se verificou cada vez mais presente na evolução histórica da música ocidental e que culminou, como se sabe, com o serialismo integral (MENEZES, 1999, p. 56).

Chegamos assim ao contexto musical no qual residem as críticas formuladas por Pousseur, ou seja, o processo de manipulação dos parâmetros do som, de forma independente, principalmente quando centralizados mais especificamente no parâmetro da altura. Partimos então de seu argumento inicial:

> Entre as consequências funestas de uma redução (mesmo que momentânea) das variáveis musicais às quatro dimensões tidas como elementares (altura, intensidade, timbre e duração), tem-se uma confusão que já há tempos importuna a teoria da música serial: trata-se do nivelamento abusivo das diversas propriedades de que é testemunha a percepção das frequências, da neutralização das diversas interpretações fenomenológicas e das valorizações estruturais que essa percepção pode suscitar, ou ainda da ignorância deliberada com relação à sua diversidade e da sua classificação prematura como um único "parâmetro das alturas", o qual não hesitamos mesmo em chamar, por vezes, de "parâmetro harmônico" (POUSSEUR, 2009b, p. 171-172).

Para Pousseur, os processos seriais acabam por se constituir principalmente a partir do poder organizador da série, que em primeira instância é uma organização das alturas, resultando em um certo "congelamento" das estruturas e em uma homogeneidade perceptiva. Se para Schoenberg o dodecafonismo abarca, entre outras coisas, o processo de elaboração do parâmetro da altura, deixando os outros à livre manipulação do compositor ao afirmar que "a ordem rítmica não é determinada pela série, o ritmo é ilimitadamente livre" (SCHOENBERG, apud

[2] Confira a nota anterior.

ASSIS, 2011, p. 103), o serialismo integral subjulga, em grande parte, todos os parâmetros à estrutura previamente estabelecida pelas alturas. Boulez (2008), em seu texto *Eventualmente...*, além da apresentação de sua técnica de multiplicação de acordes, demonstra como relacionar os diversos parâmetros musicais à estrutura da série de alturas, visando uma maior coordenação entre os parâmetros do som. Ao discorrer sobre a constituição do quadro de transposições da série original e sobre como as transposições deveriam ser obtidas a partir da própria sequência de alturas da série, afirma:

> Definimos assim o universo desta obra por meio de uma rede de possibilidades. Além disso, a constituição deste universo, indiferenciado até o momento em que se escolheu *sua* série, se efetua segundo o próprio esquema da série. (BOULEZ, 2008, p.143)

E mais à frente, ao considerar os ritmos, afirma:

> Convém, sem nenhuma dúvida, colocar o ritmo em fase com a estrutura serial. Como chegar à isso? (...) O caso mais simples consiste em tomar uma série de valores e submetê-los a um número de permutações igual e paralelo àquele das alturas, afetando cada nota da série inicial de uma duração imóvel (BOULEZ, 2008, p. 146).

Nesse sentido, todos os processos de estruturação típicos do serialismo integral configuram-se em um conjunto de regras que promovem uma certa paralisia ou homogeneização perceptual, os quais têm em seu cerne a função de impedir que emergissem propriedades ou características da música do passado, mais especificamente, da funcionalidade tonal. Se, por um lado, esse processo foi extremamente positivo, por fazer emergir todo um universo novo de possibilidades, por outro resultava em uma homogeneização a ser considerada como preocupante para Pousseur. Como afirma:

> A consequência mais evidente dessa paralisia parcialmente voluntária é a distância extraordinária (...) entre o nível das intenções construtivas e dos resultados perceptivos. O trabalho estrutural, do qual as técnicas seriais tradicionais (permutações, etc) nos dão o exemplo mais notório, produz-se sobre um plano extremamente abstrato, em que se estabelecem relações a um coeficiente de intelecto muito elevado, ao mesmo tempo em que o resultado perceptivo se situa, ao contrário, no plano mais concreto possível no qual as alturas quase nada mais são que um aspecto entre muitos do *timbre*, da materialidade mais imediata do som. A ligação entre esses planos é deliberadamente privada de sólidos suportes intermediários, que uma reflexão tanto realista quanto lógica poderia, contudo, proporcionar. (POUSSEUR, 2009b, p. 173)

A partir dessas afirmações, Pousseur passa a investigar o parâmetro da altura na tentativa de resgatar determinados aspectos que para ele parecem ter sido abandonados em meio ao alto grau de abstração do engendramento serial. Para Pousseur, tal resgate poderá demonstrar que a percepção das frequências pode propiciar diversos níveis de valoração significativa, por vezes pré-musicais, por sobre os quais novas construções musicais podem emergir. Propõe considerar as frequências em quatro categorias ou funções distintas, porém auto-contidas, indo de um nível mais pré-musical a um mais abstrato, apresentadas aqui de forma resumida, eliminando as riquíssimas digressões e exemplos dados por Pousseur para caracterizar cada uma delas.

- Função colorística

  Essa função caracteriza-se pela percepção das alturas em um domínio muito mais geral da experiência, em que não há separação clara entre o físico e o subjetivo. Noções culturais e contextuais se impõem na escuta de forma a categorizarmos as frequências relacionando-as à metáforas linguísticas como: sons claros, profundos, luminosos, pesados. Tal categorização será decorrente das propriedades materiais dos sons como espectro, espaço que ocupa no campo das tessituras, duração, entre outras, entendidos em um campo linguístico mais geral, mais referencial. As relações entre o físico e o psicológico, que na verdade para Pousseur, neste nível de análise, ainda se confundem, não serão biunívocas, mas um mesmo tipo físico poderá acarretar, em metáforas opostas, às vezes simultaneamente.

- Função melódica

  Desconsiderando temporariamente a resultante harmônica que a melodia contém ou faz emergir, Pousseur descreve essa função em termos de distância percebida no jogo das alturas. O que interessa aqui é a capacidade de percepção de perfis que as alturas são capazes de fazer emergir, sendo elas alturas definidas ou "bandas de ruídos"[3] que ocuparão o espaço das alturas de maneiras diferentes, podendo fazer-nos perceber um perfil

[3] O termo utilizado por Pousseur é "banda" de ruídos, porém nota-se a semelhança entre a ideia de alturas não definidas ocupando uma "banda" de frequências e o *critério de massa* em Pierre Schaeffer (Cf. Schaeffer (1966)).

melódico geral. Esse nível, se comparado ao anterior, direciona-se a um primeiro passo no "sentido da abstração e da generalidade".

- Função harmônica

  Pousseur apresenta aqui uma distinção muito clara entre o dado melódico e o dado harmônico. Para ele, a função harmônica não se caracteriza como uma junção de diferentes distâncias entre alturas, mas sim o que interessa aqui são as noções de parentesco, polaridade, atração e repulsão em um nível muito mais complexo que o percebido no nível melódico.

- Função combinatória

  É o nível em que a operação perceptiva se faz mais abstrata. Não que os outros níveis mais concretos sejam eliminados, pois estão também contidos nesse processo, mas as operações se dão muito mais em um nível escritural, na elaboração e manipulação dos dados abstratos obtidos dos níveis anteriores. As permutações, inversões e outras operações de índole serial são exemplos do tipo de abstração que caracteriza este nível.

Ao passar em revista as funções desempenhadas pela altura, podemos retomar um outro aspecto importante no que diz respeito à citação de Pousseur apresentada no início deste capítulo: a ideia de "fazer rimar uma citação de Gluck ou Monteverdi a uma de Webern". Mesmo em meio a uma busca de cunho especulativo no campo das alturas, não reduzidas a um parâmetro isolado, há ainda o aspecto da citação que é tão fascinante a Pousseur e que, paralelamente ao trabalho harmônico, também embasam as buscas do mestre belga.

Pousseur relata seu fascínio pelo jogo de citações literárias desenvolvido pelo escritor Michel Butor, parceiro de criação de sua *Votre Faust* e que estaria mais composicionalmente realizado ao fazer algo do mesmo tipo em música. Buscava assim uma forma orgânica de amarrar diversas citações da história da música em meio à sua linguagem composicional. A chave do processo seria exatamente a forma de fazer com que tal conjunto de citações "rimassem" a ponto de se incorporarem ao discurso musical de Pousseur não como "corpos estranhos", na forma de

colagens, mas que sua linguagem se acomodasse de forma que as citações encontrassem seu lugar "como que naturalmente".

> (...) pensei que só estaria satisfeito com minha linguagem musical no dia em que me sentisse capaz de nela inserir elementos antigos de uma maneira tão orgânica quanto um J. S. Bach ao integrar o coral protestante (POUSSEUR, 2009b, p. 193).

Portanto não interessava a Pousseur apenas incluir citações de outros compositores ou períodos históricos mas sim buscar formas de caracterizar os espaços harmônicos nos quais tais contextos musicais se desenvolviam e, detectadas essas "estruturas de fundo", buscar uma metagramática musical que as relacionasse:

> Uma primeira possibilidade consistia em tomar um exemplo da própria história da música e buscar na evolução que conduziu, com a lógica gradual que conhecemos, a tonalidade à atonalidade (sobretudo na música vienense) os primeiros elementos de uma "escala gramatical", de um espaço harmônico integral. (...) Era preciso então encontrar um sistema de organização a um só tempo vasto e coerente o bastante para que nele todos os casos históricos encontrassem um lugar, e de forma que, finalmente, parecessem ter sido tais casos engendrados justamente por esse sistema (POUSSEUR, 2009b, p. 194).

Nesse sentido, percebe-se que há no pensamento pousseuriano uma complementaridade profunda entre a busca do uso orgânico das citações e das especulações harmônicas que são, por sua vez, decorrentes das críticas revisionistas ao serialismo integral elaboradas pelo compositor. Podemos ver como essa complementaridade é expressa pelo compositor, primeiro ao considerar os aspectos harmônicos que o instigavam:

> (...) eu não conseguia me convencer de que havia perdido definitivamente a "profundidade" que apenas as funções harmônicas - sejam elas tonais (ou pós-tonais) ou modais, ocidentais ou extra-europeias, conhecidas ou somente pressentidas - me pareciam poder oferecer, e que eu via como uma das mais preciosas riquezas, um dos valores centrais de toda a música, suscetível de qualificá-la em sua especificidade irredutível (...) (POUSSEUR, 2009b, p. 192).

E ainda no mesmo trecho, quando considera a referencialidade histórica que engloba tanto um nível citacional quanto funcional afirma que "quando ouvia uma *Sinfonia* de Monteverdi ou um *Lied* de Schumann, uma *Raga* hindu ou uma obra sinfônica de Debussy, não podia deixar de pensar, com certa nostalgia, que nos privávamos voluntariamente de algo insubstituível, e que eu faria indubitavelmente melhor se deixasse de me privar disso" (POUSSEUR, 2009b, p. 192).

Dentro desse contexto que abarca uma crítica ao serialismo, uma necessidade de resgatar aspectos formais da história da música e uma sólida busca pela citação organicamente inserida em sua linguagem musical é que Pousseur passa a investigar formas de erigir uma metagramática que pudesse relacionar todos esses conceitos.

O primeiro passo dado por Pousseur foi o de tentar construir um método com o qual pudesse calcular o jogo de forças de polarização dos intervalos musicais por acreditar que até mesmo na música de Webern encontravam-se os mesmos princípios de polarização da harmonia tonal, diferindo apenas em relação aos seus vetores: enquanto na música tonal as polarizações eram utilizadas de maneira convergente ou centrífuga, na música de Webern tem-se um jogo de polarizações centrípetas ou multipolar.

Posteriormente, Pousseur propõe um estudo das polarizações intervalares que apresenta grande similaridade aos estudos de Edmond Costère, considerando a força polar que cada nota efetua em um contexto harmônico, apoiando-se nas proporções da série harmônica. Os intervalos serão caracterizados como mais consonantes ou mais dissonantes, ou seja, mais polares — maior poder de confirmação da fundamental — ou mais apolares, dependendo da posição que ocupam na série harmônica. Pousseur acaba por abandonar tal método por considerá-lo muito abstrato ou impreciso e de difícil manejo como ferramenta composicional.

Em seguida, desenvolve outro método que consiste na classificação de todas as formações harmônicas a partir de suas unidades intervalares constitutivas. Desenvolve uma tabela de classificação intervalar dispondo, em sequência crescente e decrescente, a partir de um centro, os intervalos que considera mais polares e mais apolares, conforme figura 1.1[4].

A partir da tabela reproduzida na figura 1.1, Pousseur cria um quadro de acordes de três sons organizados a partir de sua sequência[5]. Ainda assim, Pousseur considera que o manejo dos dados obtidos a partir dessa forma de classificação seria deveras dispendioso para o engendra-

[4]É interessante ressaltar que a tabela é organizada a partir de um ciclo de quintas que se propaga ascendentemente e descendentemente a partir da nota ré (eixo central), mas que apresenta inversão nos terceiro e quinto intervalos do ciclo ascendente e nos segundo e quarto intervalos do ciclo descendente. Pode-se perceber como Pousseur altera a ordem do ciclo de quintas de forma a manter as terças e sextas em seus lugares históricos de menor tensão que as sétimas e segundas.

[5]Cf. Exemplo 3 no texto de Pousseur. pg. 200

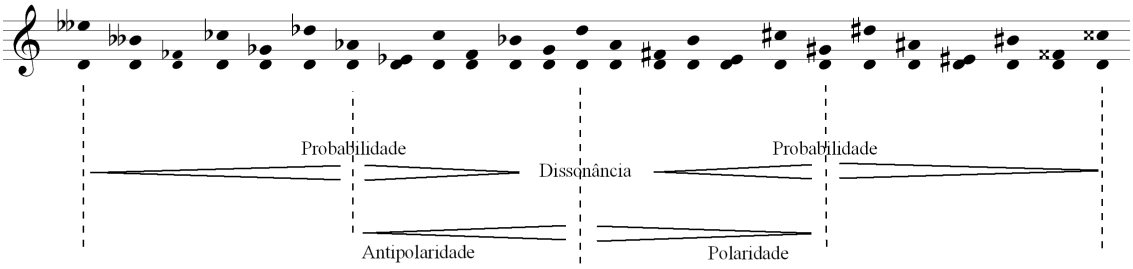


Figura 1.1: Tabela de Polaridade Intervalar, extraído de Pousseur (2009).

mento de materiais composicionais, principalmente quando houver a necessidade de expandir o quadro para conjuntos de quatro ou mais sons.

Passa então a expor um outro método que virá a ser conhecido por Permutações Cíclicas. As Permutações Cíclicas consistem na transformação sequencial de uma série de notas originais a partir da alteração de alguns de seus elementos por um processo de transposição contínua a um intervalo previamente escolhido. Se se elege uma série de notas formada pelo total cromático, mantendo algumas notas características congeladas e transpondo outras a cada passo a um intervalo previamente escolhido, por exemplo a Quarta Justa, algumas transformações interessantes ocorrem, como podemos ver na figura 1.2.

Podemos perceber que, ao atingir a sexta permutação, o grupo de notas passa a expressar um conjunto hexatônico e depois, ao final do processo de permutações, retorna à série original. Além de diversas propriedades decorrentes das formas como as notas novas aparecem em cada permutação[6], Pousseur consegue aproximar-se, com esse processo, de sua tentativa de buscar um sistema de relacionamento entre espaços harmônicos diferentes, processo esse que se constitui com uma passagem gradativa, direcional, de um sistema relacional a outro, neste caso de um conjunto cromático a um conjunto mais reduzido de seis notas (hexatônico). Em outro exemplo de seu texto, demonstra o que ocorre quando o intervalo de transposição eleito for a Segunda Maior: as transformações resultarão em um processo que se inicia no cromatismo, passa por uma região do tipo maior-menor de cunho mais stravinskiano, chegando ao diatonismo, e depois retornando, em caminho inverso, ao total cromático.

[6]Para uma visão detalhada das propriedades que emergem das permutações, confira Menezes (2002).

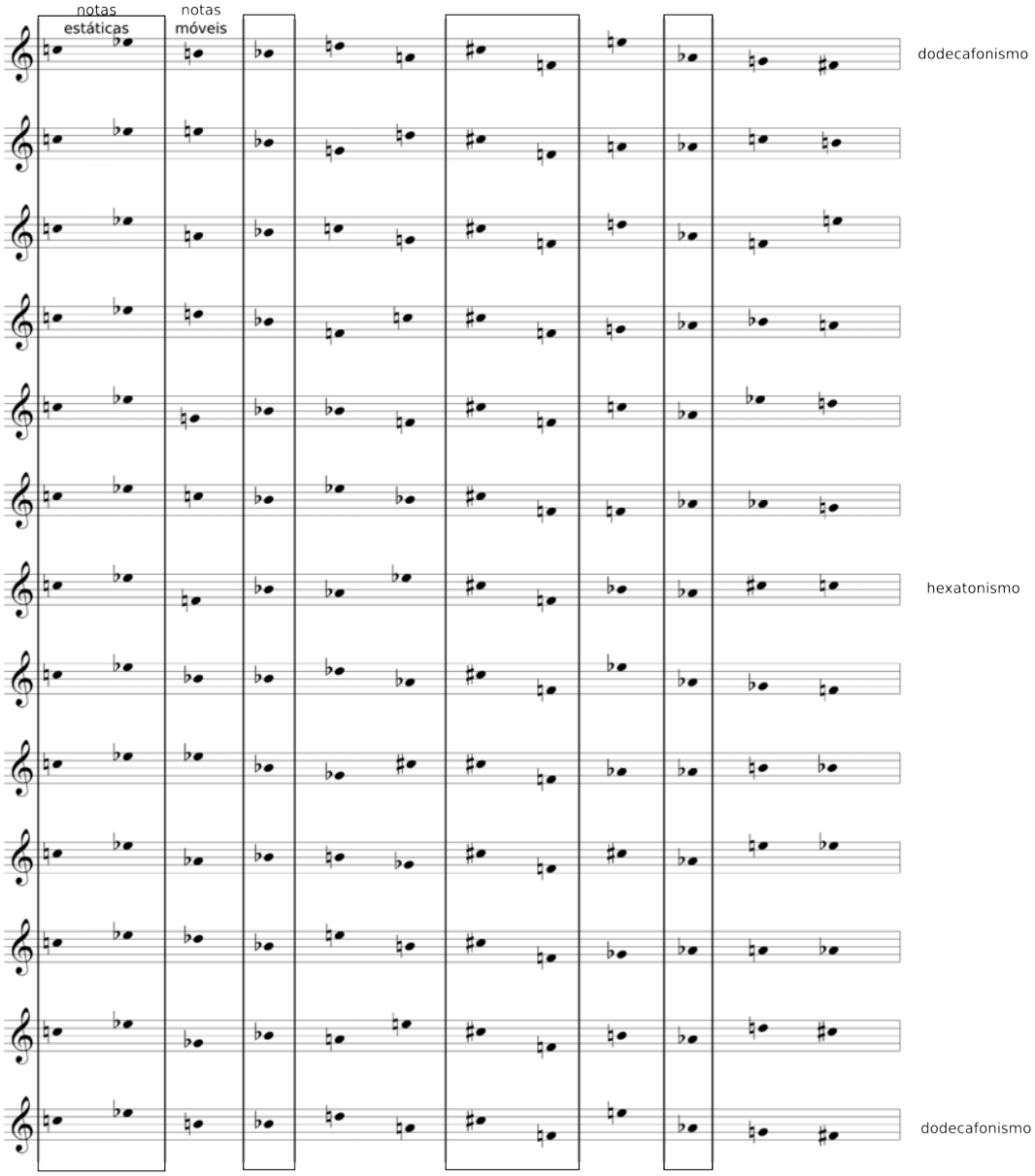


Figura 1.2: Exemplo de Permutações Cíclicas, extraído de Menezes (2002).

A partir desses dois processos, a saber: das tabelas de acordes organizadas a partir do escalonamento de polaridades intervalares e das permutações cíclicas, Pousseur vislumbra uma forma de relacionamento que contribuirá para a edificação de suas redes harmônicas. Ao dispor sequências intervalares de mesmo tamanho em um eixo horizontal e um vertical e realizar transposições a outra taxa intervalar fixa, ainda no espírito das permutações cíclicas, Pousseur pôde constatar o surgimento de diversas propriedades de relacionamento ou de emergência de determinados "campos harmônicos" que acabam por resultar em verdadeiras redes de relacionamentos, que corroborariam com seu intuito de fazer rimar diferentes gramáticas musicais.

Tem-se assim o protótipo de uma *rede-harmônica*, ainda bidimensional, que em um texto mais recente que o *Apoteose de Rameau* Pousseur definiu como:

> (...) uma rede, no sentido que aqui se entende, é uma distribuição de notas (especificar-se-á mais tarde o que elas representam) formada por vários (começando por dois) eixos que se caracterizam cada um como uma cadeia de um único intervalo[7] (POUSSEUR, 1998, p. 249).

Ao caracterizar esse espaço de relacionamentos obtido através do cruzamento bidimensional de eixos, Pousseur passa a verificar que há uma lógica harmônica que emerge das distâncias entre as notas que se relacionam de forma mais próxima ou mais distante:

> Não se pode entretanto esquecer que o princípio mesmo do método reside na vontade de construir os nós de todo tipo que as relações musicais elementares efetivas, portanto "no-tempo", (analisadas ou compostas, melódicas ou harmônicas) são as mais *próximas* possíveis, exprimindo-se principalmente entre as notas *vizinhas* da rede, em um sentido ou outro[8] (POUSSEUR, 1998, p. 249).

Tais estruturas de relacionamentos de alturas em rede configuram-se como uma ferramenta tanto composicional como analítica, de forma muito similar, como veremos mais à frente, aos quadros de relacionamentos de regiões harmônicas. Se para se construir tais redes são usados determinados intervalos fixados em cada um dos eixos e por sua vez cada intervalo carrega consigo sua característica polarizadora, neutra ou de negação polar, emerge desse processo uma complexa teia, ou melhor dizendo, rede de relacionamentos dependendo da distância em que estão do centro dessa rede, ou seja, do grau de sua *vizinhança*. Diversos espaços harmônicos podem ser representados, caracterizados ou encontrados em uma rede bidimensional, como podemos verificar em diversos exemplos apresentados por Pousseur, em especial em seu texto de 1998 *Applications analytiques de la 'Technique des réseaux'*. Nesse brilhante trabalho, que complementa as especulações sobre as redes harmônicas apresentadas no *Apoteose de Rameau*, Pousseur demonstra como as redes podem ser utilizadas na análise musical, com exemplos de aplicação na obra de Bartók, Debussy e Webern. Demonstra também suas potencialidades

[7] (...) "un réseau, au sens ou l'entend ici, est une distribuition de notes (on précisera plus tard ce qu'elles représentent) selon plusieurs (pour comencer deux) axes qui se caractérisent chacun comme une chaîne d'un seul et même intervale."

[8] "Il ne faut toutefois pas oublier que le principe même de la méthode réside dans la volonté de construire le lacis de telle sorte que les relations musicales élémentaires effectives, donc 'en-temps', (analysées ou composées, mélodiques ou accordiques) soient les plus *serrées* possibles, s'expriment principalement entre notes *voisines* du réseau, dans un sens ou dans l'autre."

para expressar espaços tonais e até mesmo modais. Nesse contexto, Pousseur apresenta como uma rede bidimensional pode representar facilmente um espaço de relacionamentos modal e como a inserção de um terceiro eixo se torna efetivo para a caracterização do espaço tonal, demonstrando que a inclusão desse terceiro eixo equivaleria ao desenvolvimento da perspectiva na história das artes plásticas.

> Mas a partir do momento em que a prática polifônica se intensifica, apesar da resistência oposta de início pelos clérigos, que desejavam que as terças continuassem a ser *utilizadas* (pois *consideradas*) como "dissonâncias" (pré-atrativas) e que somente as oitavas e quintas fossem reconhecidas como consonâncias perfeitas, a experiência acústica (com suas combinações de sons muitas vezes exaltadas pela ressonância das arquiteturas) se impunha: por cerca de dois séculos, as terças adquiriram seu lugar (quase) igualmente proeminente, e o sistema de tríades começara a se estabelecer. Essa revolução pode se exprimir teoricamente pela junção, na rede diatônica fundamental, de uma terceira dimensão (que sucedeu estranhamente ao mesmo tempo em que as artes plásticas descobriram igualmente a profundidade: e que dificilmente pode ter sido ao acaso!)[9] (POUSSEUR, 1998, p. 255).

Em sua versão final, ou seja, tridimensional, as redes harmônicas são constituídas por eixos nos quais se dispõem sequências de notas a partir de intervalos pré-determinados. A proposta inicial de Pousseur é constituída a partir da eleição de eixos que considera a expressão dos intervalos "fundamentais do espaço acústico auditivo não somente na sua exploração pela tonalidade, mas também no seu potencial natural mais provável", ou seja, considera os relacionamentos por terça e quinta, como realizou em suas redes bidimensionais, mas inclui a oitava como fator de grande importância para a caracterização do espaço tonal. Vale a pena reproduzir suas afirmações sobre isso, bem como a nota explicativa de Flo Menezes presentes no texto de Pousseur:

> (...) não são apenas a Quinta e a Terça maior, mais também a Oitava, e de minha parte estou convencido de que o acorde fundamental da tonalidade não é um acorde perfeito de *três* notas - por exemplo, Dó-Mi-Sol, na proporção

[9] "Mais dès que la pratique polyphonique s'intensifia, et malgré la résistance opposée d'abord par les cléricature, qui voulait que les tierces continuent à être *utilisées* (parce que *considerées*) como des 'dissonances' (pré-atractives) et que seules les octaves et quintes soient reconnues comme consonances parfaites, l´expérience acoustique (avec ses sons de combinaison souvent exaltés par le résonance des architectures) s'imposa: au bout de quelque deux siècles, les tierces avaient acquis leur place (presque) également prééminente, et le système des triades avait commencé à se mettre en place. Cette révolution peut s'exprimer théoriquement par l'ajout, au réseau diatonique fondamental, d'une troisième dimension (qui suivent bient étrangement au moment même où les arts plastiques découvert également la profondeur: ce ne peut guère être dû au seul hasard!)"

> 4:5:6 -, mas na realidade o de *quatro* notas, incluindo a Oitava da fundamental, na proporção 4:5:6:8 (. . .) (POUSSEUR, 2009b, p. 227)

E a nota de Flo Menezes à mesma página:

> Esta passagem é das mais fundamentais para a justa compreensão do pensamento pousseuriano: o arquétipo tonal, segundo sua visão, não consiste na mera tríade perfeita (maior), mas antes na tríade *com dobramento de Oitava da fundamental* (Dó-Mi-Sol-Dó). Desse modo, institui-se a presença tanto da Oitava quanto da Quarta (entre Sol e Dó) e da Sexta menor (entre Mi e Dó) no âmago mesmo da entidade tonal, tendo-se, a partir da fundamental, três intervalos de referência: Terça maior, Quinta e Oitava. É a partir dessa concepção que Pousseur chega, então, às redes harmônicas *tridimensionais*.

Portanto, a rede seria constituída por três eixos, que expressaremos tridimensionalmente como X, Y e Z. Se colocarmos no eixo X o intervalo de Quinta Justa, no eixo Y o intervalo de Oitava Justa e no eixo Z o intervalo de Terça Maior, obteremos um rede de relacionamentos tal qual apresentado na figura 1.3.

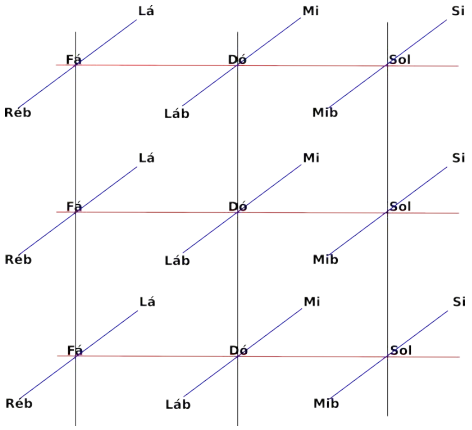


Figura 1.3: Rede Harmônica com eixos em 8J, 5J e 3M.

Temos, dessa forma, a possibilidade de representar qualquer conjunto de notas em um espaço relacional, constituído de forma a expressar um espaço harmônico específico. É interessante notar que, dependendo do conjunto de eixos escolhidos para a constituição da rede, temos à mão um conjunto de relações que expressam um determinado espaço harmônico, e até mesmo um sistema teórico.

Nessa rede inicial proposta por Pousseur, teremos à mão, de forma muito imediata, a representação de um espaço tonal. Se buscarmos por exemplo as notas da tríade de Dó maior, sendo a rede montada a partir da nota Dó, podemos localizá-las nas posições mais centrais da

rede. Pode-se inferir, portanto, que da mesma forma que Riemann ou Schoenberg[10], para citar alguns, apresentam seus quadros de funcionalidades tonais de regiões acústicas mais próximas ou mais distantes entre si, nas redes de Pousseur temos também a representação do espaço acústico tanto entre as notas quanto entre as harmonias expressas pela distância em relação ao eixo central da rede. E ainda de forma não menos interessante, quando os eixos são modificados, teremos a disposição outros espaços acústicos com suas relações também expressas em distâncias do centro.

Além da representação gráfica das redes, tal qual a figura 1.3, elas podem ser representadas em pauta musical, tal qual a figura 1.4.

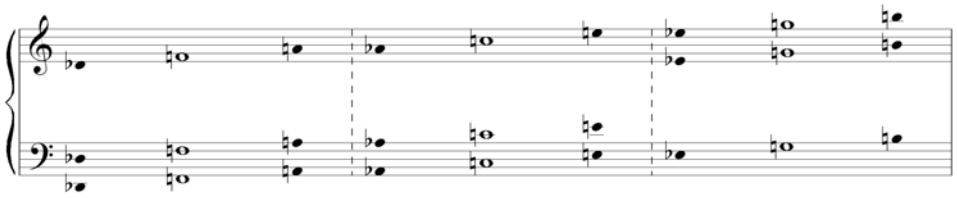


Figura 1.4: Rede Harmônica de Pousseur com eixos de Oitava, Quinta Justa e Terça Maior representada em pauta musical.

Podemos perceber na figura 1.4 que o eixo Y, que na rede original de Pousseur equivale ao intervalo de Oitava, está representado verticalmente. Cada uma das notas desse eixo é "projetada" em uma sequência infinita de oitavas ascendentes e descendentes. O eixo X, equivalente às Quintas Justas, está representado pela sequência horizontal de notas brancas (no exemplo: Fa - Dó - Sol), que também se projeta infinitamente para os dois sentidos. Por fim, o eixo Z, equivalente às Terças Maiores, está representado pelos intervalos de Terça Maior ascendentes e descendentes que se formam entre as notas brancas e pretas. Deve-se imaginar um eixo virtual de Terças, neste exemplo, que se desenha diagonalmente ao sentido da folha e que progride, como os outros eixos, infinitamente para os dois sentidos.

A operação básica proposta por Pousseur para a geração de material para a composição consiste em localizarmos uma configuração intervalar qualquer, acórdica ou melódica, em sua estrutura. A figura 1.5 exemplifica o processo de localização do trecho musical (com notas

[10] Ver (SCHOENBERG, 2004).

numeradas) e como essas notas foram localizadas na estrutura da rede.

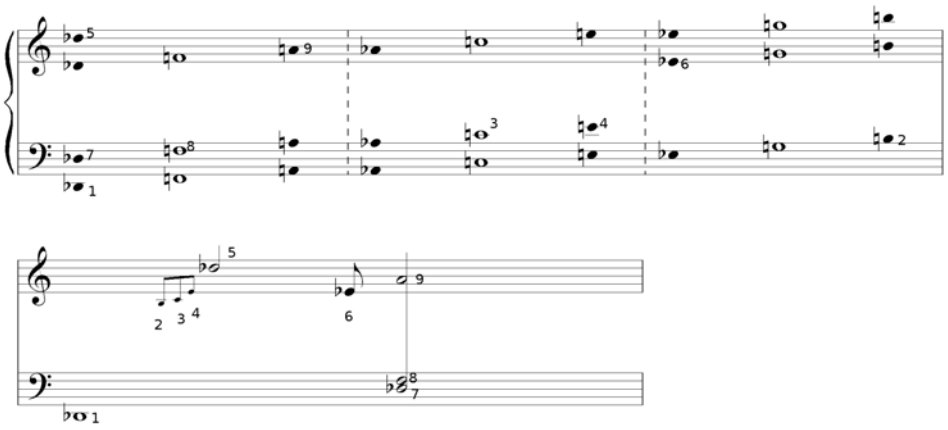


Figura 1.5: Rede Harmônica Original com localização das notas de um dado trecho musical.

Depois de "projetadas" as notas do trecho musical na estrutura da rede de referência, efetua-se o processo de "deformação" da estrutura básica da rede e, localizando as mesmas posições demarcadas na fase anterior, revelamos o trecho musical reconfigurado pela processo de deformação dos eixos da rede. No exemplo da figura 1.6, podemos verificar o novo trecho musical obtido de uma rede na qual os eixos foram modificados de Quinta Justa para Quinta Aumentada, Oitava para Sétima Maior e Terça Maior para Terça Menor.

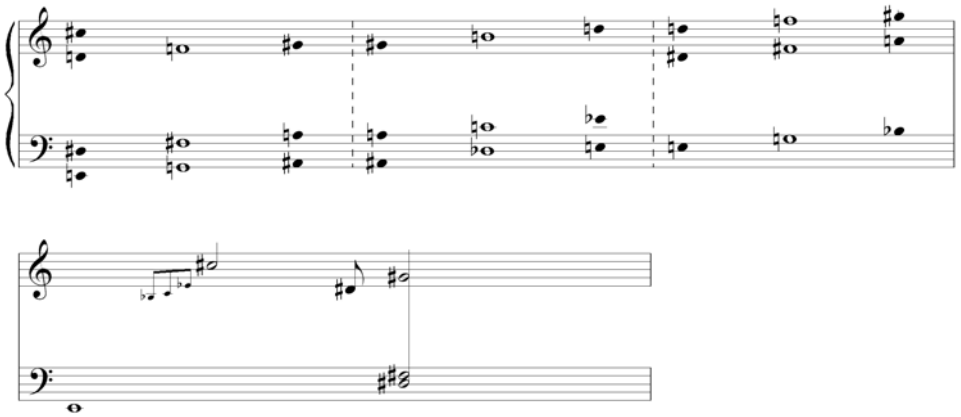



Figura 1.6: Rede Deformada para eixos em Quinta Aumentada, Sétima Maior e Terça Menor com trecho musical reprojetado na estrutura transformada.

A possibilidade de mudar a constituição de seus eixos e re-localizar notas posicionadas antes em uma rede original em outra rede transformada constitui-se como uma das mais relevantes contribuições das técnicas de redes à música contemporânea. Aqui está, finalmente, a ferramenta relacional que Pousseur buscava para rimar Monteverdi e Webern. As redes se

configuram como a metagramática que liga os diversos espaços harmônicos projetando uma estrutura obtida em um desses espaços para um outro espaço diverso. Quando localizam-se as notas de um acorde, ou um trecho fortemente tonal em uma rede de eixos expressamente tonais (5J, 8J, 3M), e, depois, ao buscarmos as mesmas posições em uma outra rede com os eixos transformados, de forma a obtermos um espaço acústico muito menos tonal — como por exemplo uma rede de eixos formados pelos intervalos de Trítono, Sétima Menor e Segunda Menor —, obteremos uma coleção de notas muito mais aproximada ao polo não tonal como pretendia Pousseur: uma forma de relacionar, a partir de uma mesma metagramática, universos harmônicos diferenciados. Além disso, os perfis melódicos são, em geral, mantidos proporcionalmente, a não ser em raras exceções, quando então transformações em um determinado eixo forem de calibre muito maior que as transformações nos outros eixos.

Essas propriedades, realmente instigantes, levam-nos à especulação de um próximo passo, que foi o de implementar as redes harmônicas como algoritmo computacional de forma que pudéssemos, além de estudar mais sistematicamente suas propriedades, utilizar tal ferramenta tanto para a Composição Algorítmica, quanto para estender suas funcionalidades para o uso em obras com eletrônica em tempo real.

1.2 Implementação das Redes de Pousseur para SuperCollider

O algorítimo computacional das redes harmônicas foi implementado na linguagem de programação para áudio SuperCollider, linguagem amplamente utilizada por compositores em todo o mundo. Por ser uma aplicação *OpenSource*, está disponível de forma livre e gratuita para todos os sistemas operacionais (Macintosh, Windows e Linux), o que amplia consideravelmente a portabilidade das obras e ferramentas nela criadas. O SuperCollider (WILSON; COTTLE; COLLINS, 2011) é tanto um ambiente de desenvolvimento quanto uma linguagem de programação criada e lançada em 1996 por James MacCartney. É uma ferramenta computacional muito poderosa tanto para a síntese e o processamento de sinal de áudio e vídeo em tempo

diferido, quanto para aplicações em tempo-real, apresentando ótimas funcionalidades para a composição algorítmica. Uma das características mais interessantes dessa linguagem de programação é que ela pode ser expandida, incluindo novas funcionalidades, a partir de sua própria linguagem. Em outros sistemas como PureData ou Max/MSP, a criação de novas funcionalidades depende de um grande conhecimento de linguagens de programação (como C ou C++), compilação de softwares, entre outras. A desvantagem é que o aprendizado da linguagem de programação SuperCollider é um pouco mais dispendioso do que o de sistemas gráficos tais como o PureData ou o Max/MSP, mas não diferente do que é necessário para compreender e utilizar linguagens como o Csound, por exemplo.

A implementação da rede contou com a inestimável contribuição do cientista da computação Dr. Flávio Luiz Schiavoni, que com sua experiência em análise de algoritmos sugeriu qual seria a melhor forma de transformar a Rede Harmônica de Pousseur em um algoritmo computacional. Um dos problemas a ser enfrentado ao implementar computacionalmente as redes, que foi crucial para a decisão do modelo sugerido por Schiavoni, era a localização das notas escolhidas em sua estrutura. Pousseur não explicita qual procedimento deve ser adotado, já que as notas revelam-se recorrentes em distintos pontos da rede e podem, pois, serem localizadas em diversas localidades, principalmente se considerarmos que as redes harmônicas são espaços infinitos em todas as direções de seus eixos. Nesse sentido, optamos, por uma questão de praticidade — e acreditamos que Pousseur deva ter feito o mesmo, já que considera que as vizinhanças, portanto as menores distâncias em relação ao centro da rede, são importante característica na representação do espaço harmônico pretendido —, em localizar as notas desejadas sempre na posição mais próxima do eixo central. Qual seria então a posição mais próxima do eixo central? Musicalmente falando, esta seria uma discussão praticamente infinita, pois teríamos que eleger ou a quantidade de passos dados para percorrer cada eixo da rede, ou a soma dos intervalos de cada passo. Esses passos seriam considerados maiores ou menores dependendo do tamanho do intervalo que constitui aquele eixo? Andar duas terças maiores seria um movimento maior ou menor do que andar a distância de um trítono? Portanto, o algoritmo escolhido resolve tal impasse, como podemos ver a seguir.

1.2.1 Criação do algoritmo da rede

A implementação computacional de um problema do mundo real depende da escolha de sua representação. Primeiramente, a rede original é um espaço infinito e tal espaço não pode ser representado computacionalmente. Por isso, adotamos a limitação da escala MIDI com 128 notas (de 0 a 127) para limitar o espaço amostral[11] da rede. O segundo ponto considerado foi a escolha do melhor método para computar as distâncias entre os pontos da rede e assim criar o espaço amostral da rede original.

A criação da rede original depende da entrada de 4 parâmetros: nota central e tamanho dos passos (intervalos) dos eixos X, Y e Z. Por exemplo: Uma rede iniciada com os valores 60, 5, 8 e 12 equivale a uma rede com nota central em Dó4 (60 na representação MIDI) e eixos X, Y e Z respectivamente equivalentes à Quarta Justa (5 semitons), à Sexta Maior (8 semitons) e à Oitava Justa (12 semitons).

A partir da inicialização e da delimitação do escopo (tamanho) do espaço amostral, três estruturas de dados foram utilizadas para criar a rede inicial. A primeira consiste em uma lista com as 128 notas possíveis, utilizada para marcar quais notas já fazem parte da rede e quais ainda não fazem, conforme demonstrado na figura 1.7.

Dessa forma, podemos caminhar pela rede verificando quais nós já fazem parte da nossa rede e marcá-los nessa estrutura de dados. O algoritmo escolhido, como veremos mais detalhadamente a seguir, parte do eixo central da rede e busca, passo a passo, cada nota que constitui a rede, caminhando ascendente e descendentemente em cada um dos eixos, até localizar todas as notas desejadas. Quando o algoritmo localiza uma das notas desejadas em um dado ponto, ele não mais procurará aquela nota. Isso significa que, como o algoritmo procura pelas notas partindo do centro da rede, o primeiro exemplar de uma determinada nota que for localizada pelo algoritmo será o mais próximo do eixo central.

[11] *Espaço amostral* é um termo usual em computação que se refere, comumente, aos limites mínimo e máximo de um conjunto de dados em uma lista, *array* ou até mesmo na memória do computador. A determinação do espaço amostral é de suma importância em algoritmos computacionais, principalmente quando lidamos com listas de dados que podem ser virtualmente infinitos. O controle de tal espaço deve ser cuidadosamente realizado para que não se obtenham erros de execução, principalmente decorrentes da sobreposição de informações na memória

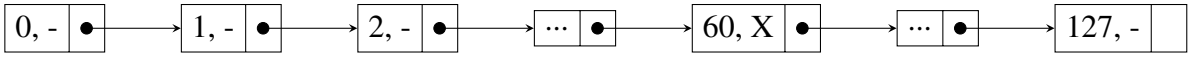


Figura 1.7: Lista de nós visitados (X) e não visitados (-). Nota Do4 (60 MIDI) marcada como visitada.

A segunda estrutura de dados utilizada foi uma fila de notas a visitar. Ao encontrarmos uma nota, ela é adicionada a esta fila, avisando que todos os eixos (intervalos ascendentes e descendentes) a partir dela serão visitados em seguida. Tal fila é uma estrutura de dados do tipo *fifo (first in, first out)* e funciona de forma que todo novo dado é adicionado no final da fila, e que todo dado que for consumido será consumido a partir de seu início.

Ao simularmos o comportamento do exemplo acima (60, 5, 8, 12), colocamos a nota central na fila e iniciamos o algoritmo percorrendo sua Quarta Justa ascendente, Quarta Justa descendente, Sexta Menor ascendente, Sexta Menor descendente, Oitava Justa ascendente e Oitava Justa descendente. Cada nota que não tenha sido visitada será colocada na fila para que seus eixos possam ser visitados. No final da visita da primeira nota, como nenhum de seus eixos foi visitado ainda, teremos a fila como apresentada na figura 1.8.

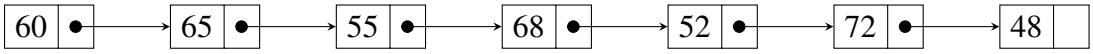


Figura 1.8: Fila de visitas no primeiro passo do algoritmo. Os valores são colocados na ordem a visitar: Nota inicial (60); eixo X ascendente e descendente (60 + 5; 60 - 5); eixo Y ascendente e descendente (60 + 8; 60 - 8) e eixo Z ascendente e descendente (60 + 12; 60 - 12).

Neste momento, marcamos na *lista de nós visitados* (primeira estrutura de dados) o nó inicial (60) como visitado, removemo-lo da *fila a visitar* e passamos ao próximo elemento da fila a visitar. A *lista de nós visitados*, quando partirmos ao segundo elemento, está representada pela figura 1.9.

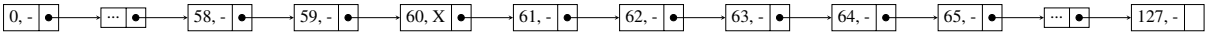


Figura 1.9: Lista de nós visitados no início do segundo passo do algoritmo.

Note que apenas a nota central (60) está marcada como visitada. Isto impede que tentemos visitá-la novamente.

A cada passo do algoritmo serão incluídos na *lista a visitar* os respetivos eixos ascendentes

do computador.

e descendentes de cada uma das notas nessa lista. No caso da nota 65 (Quarta Justa ascendente a partir da nota inicial), serão incluídos os valores conforme figura 1.10.

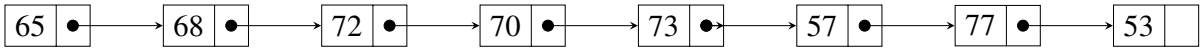


Figura 1.10: Valores incluídos na fila a visitar no segundo passo do algoritmo.

Ao iniciarmos a segunda visita a partir da nota 65, o primeiro intervalo será de Quarta Justa ascendente (+5) e o segundo será de Quarta Justa descendente (-5). Ao verificarmos a Quarta Justa descendente veremos que a nota resultante (60) já foi visitada anteriormente e por isto não a colocaremos novamente na *fila a visitar*.

O funcionamento do algoritmo pode ser representado visualmente tal qual demonstrado na figura 1.11.

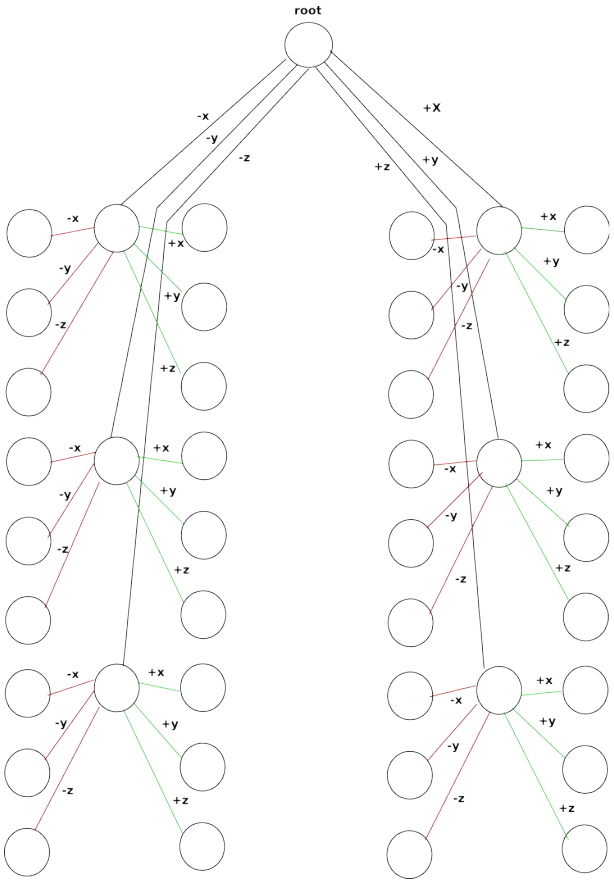


Figura 1.11: Representação visual do algorítmo.

A terceira e última estrutura de dados criada foi a que representa o caminho percorrido para chegar até cada uma das notas. Utilizamos a representação de uma *árvore* para esta estrutura.

As árvores são estruturas de dados abstratas que podem ser representadas de várias maneiras. Independentemente do tipo de representação, toda árvore possui um nó raiz (nó central) e vários filhos que podem ser alcançados a partir do centro. Os nós que não possuem filhos são chamados de *folhas* e os nós que não são o nó central, mas que possuem filhos, são denominados *galhos*. Uma estrutura de dados em árvore deve ser navegável a partir de seu nó raiz, de forma que todos os demais nós da árvore possam ser alcançados a partir deste nó raiz de base. As ligações entre os nós podem possuir um rótulo e a soma destes rótulos servem para indicar qual caminho foi feito, a partir do nó central, para alcançar qualquer outro nó.

Por termos um universo finito de nós, limitação inicial desta implementação, podemos representar uma árvore por meio de um *vetor* (ou *array*). Assim, marcamos para cada uma das notas qual o caminho que se deve percorrer para chegar até a raiz da árvore. Iniciamos marcando a raiz com o rótulo R (root). Os demais intervalos serão marcados pelas letras f e F (first), s e S (second) e t e T (third), sendo a letra maiúscula a indicação do intervalo ascendente e a letra minúscula a indicação do intervalo descendente. Assim, nossa árvore de caminhos, depois da primeira interação, pode ser representada pela Figura 1.12.

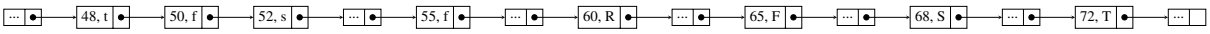


Figura 1.12: Árvore de caminho no primeiro passo do algoritmo.

Esta representação nos indica que, para partirmos da nota 55 e caminharmos ao nó raiz, temos que andar uma Quarta Justa ascendente (inverso do caminho armazenado no vetor). Para irmos da nota 50 para a raiz, andamos uma Quarta Justa ascendente (f) até a nota 55 e outra Quarta Justa ascendente (f) para a nota 60. Desta maneira, o caminho da nota até a raiz será (ff). Como cada nota só guardará um caminho para chegar até a raiz (determinado pelo algoritmo), a representação em *array* é suficiente e possui um baixo custo computacional. Note-se que estamos utilizando uma representação relativa dos intervalos de criação da rede, ou seja, representamos o primeiro, segundo e terceiro intervalo, independentemente da escolha dos intervalos para os eixos, o que torna essa informação um *metadado* que servirá para a troca de informações entre redes distintas, como veremos a seguir.

1.2.2 Utilização da rede

Após criarmos a rede, não será mais necessário utilizar suas estruturas auxiliares: *fila a visitar* e *lista de nós visitados*. Utilizaremos apenas a árvore de caminhos, para verificar qual o caminho deve-se seguir a fim de irmos de uma nota até sua raiz. O algoritmo fará isto seguindo de maneira reversa as indicações de caminho até seu nó superior e assim sucessivamente até chegarmos ao nó raiz. Ao alcançarmos o nó raiz (R), o algoritmo aborta sua execução e apresenta a representação simbólica do caminho percorrido na estrutura da rede.

Para a construção do caminho de notas, criamos uma função que converte notas para caminhos em uma determinada rede. Esta função recebe como parâmetro um conjunto de notas e retorna um conjunto de caminhos até a nota central.

```
notes2path(50, 65, 60, 72, 77);
```

Resultado:

```
ff, F, R, T, TF
```

Note-se que a escolha da ordem dos eixos realizada no estabelecimento da estrutura da rede irá influenciar os caminhos gerados. Toda a informação que um nó possui é a de como chegar até seu nó superior, indo pelo menor caminho possível, até a nota central. Para a nota 50, no nosso exemplo, sabe-se se que deve andar uma Quarta Justa ascendente e que este caminho levará até a nota 55. Neste ponto, utiliza-se a informação da nota 55 para continuar caminhando e assim recursivamente até se alcançar a nota central.

O custo computacional de tal construção é muito baixo, pois seu pior caso será um caminho de 127 notas para atingir o nó central[12]. Computacionalmente, tem-se uma quantidade baixíssima de processamento e também um custo de armazenamento de dados muito pequeno, propiciando que a rede possa ser utilizada em aplicações do tipo *live-electronics*, sem gerar qualquer tipo de atraso de processamento.

[12] Tal escolha pode ser feita instanciando a nota central como 0 e os eixos intervales como 1, 1 e 1 (2m, 2m e 2m). Apesar de pouco útil, esta instanciação da rede nos fornece uma limitação superior do processamento necessário para executar tal algoritmo.

Uma vez de posse da definição dos caminhos, podemos instanciar outra rede com outra nota central e outros intervalos e converter tais caminhos para novas notas. Para isto, outra função, chamada *path2notes*, foi criada. Esta função recebe como entrada os caminhos de uma rede e retorna quais notas são alcançadas quando este caminho é percorrido. O processamento dos caminhos apresentados anteriormente em uma rede inicializada com os valores (61, 6, 8, 11) resultará nas notas:

```
path2notes(ff, F, R, T, TF);

ff = 61 - 6 - 6 = 49

F = 61 + 6 = 72

R = 61

T = 61 + 11 = 73

TF = 61 + 11 + 6 = 78

Resultado: (49, 72, 61, 73, 78)
```

O custo computacional para converter caminhos em notas corresponde apenas a adição e subtração dos intervalos da rede em relação ao seu nó central, o que torna possível verificar que, mesmo no pior caso, este algoritmo é capaz de gerar resultados de forma eficiente para o uso em tempo real.

Sendo assim, o resultado final da implementação propicia que determinemos quantas redes quisermos, originais ou transformadas, e delas obtenhamos sequências de notas expressas em alturas MIDI. Para ilustrar, vejamos o exemplo dado por Pousseur em seu texto, demonstrando como ele é obtido utilizando a implementação aqui apresentada.

Pousseur faz uso do trecho inicial do canto integracionista *We Shall Overcome*, símbolo da resistência negra norte-americana, tal qual reproduzido no primeiro sistema da figura 1.13 com as repetições eliminadas (segunda linha da figura).

Pousseur localiza as notas desses acordes em uma rede inicial (que chamaremos aqui de original), constituída pelos eixos X, Y e Z com intervalos, respectivamente, de Quinta Justa,

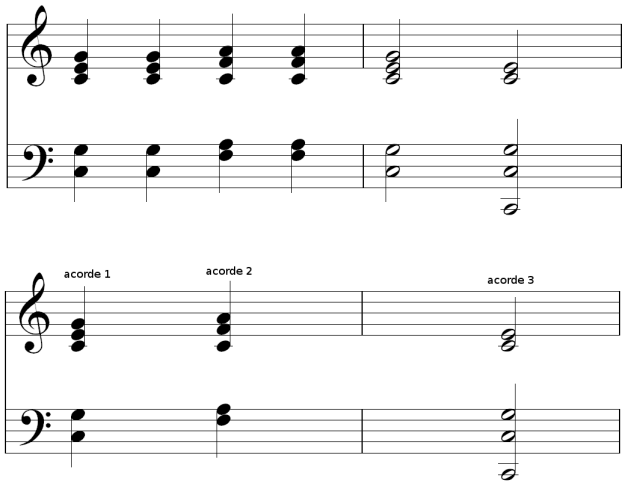



Figura 1.13: Trecho do canto integracionista negro We Shall Overcome. Adaptado de Pousseur (2009, p. 238)

Oitava Justa e Terça Maior. Posteriormente, remapeia as mesmas posições em uma rede com eixos X, Y e Z transformados, respectivamente, em Quinta Justa, Sétima Maior e Terça Maior.

Essa operação é realizada em nossa implementação da seguinte forma:

```
(
var original, transformada, posicoes, notas;
original = Pousseur(60, 7, 12, 4);
posicoes = original.notes2path([48, 55, 60, 64, 67]);
transformada = Pousseur(60,7, 11, 4);
notas = transformada.path2notes(posicoes);
)
```

Ao executar esse código, teremos como resultado:

```
[ 49, 56, 60, 64, 67 ]
```

Descrevendo o código acima linha a linha:

Os parenteses inciais e finais que delimitam o trecho de código e a primeira linha que cria as variáveis onde serão guardadas os valores resultantes das operações são necessidades da linguagem SuperCollider que não abordaremos aqui. Na terceira linha criamos a rede original, determinando a nota central da rede (60 = Dó central em frequências expressas em valores MIDI) e os eixos X, Y e Z, respectivamente como: 7 = Quinta Justa, 12 = Oitava Justa e 4 = Terça Maior. Na linha seguinte, solicitamos que a função *notes2path* encontre as notas

48, 55, 60, 64 e 67 (respectivamente Dó3, Sol3, Dó4, Mi4 e Sol4 em alturas MIDI) na rede original e guarde o resultado na variável *posicoes*. Posteriormente, criamos a rede transformada com nota central também em Dó4 e eixos: Quinta Justa, Sétima Menor e Terça Maior. Por fim, solicitamos que a função *path2notes* busque na rede transformada as posições que foram armazenadas na variável *posicoes*, obtidas na rede original, retornando as notas transformadas: 49, 56, 60, 64 e 67, respectivamente: Réb3, Láb3, Dó4, Mí4 e Sol4.

Esse trecho de código demonstra a utilização básica da implementação das redes, mas não é a implementação em si. O código da implementação da Rede pode ser encontrado na íntegra no Apêndice A deste volume.

Há que se ressaltar que podemos encontrar nas Redes de Pousseur uma mesma nota em posições diferentes, às vezes estando à mesma distância do eixo central. Por exemplo, na rede original utilizada por Pousseur, no exemplo acima, podemos encontrar o Sol5 por dois caminhos diferentes. O primeiro, se caminharmos um passo ascendente no eixo de Quintas e depois um passo ascendente a partir desse Sol, pelo eixo das Oitavas; o segundo, dando um passo ascendente no eixo de Oitavas e depois um passo ascendente no eixo de Quintas. Nossa implementação, na verdade, dá conta dessas diferenças ao poder dispor os eixos em qualquer ordem desejada. Se iniciarmos a rede com os eixos X, Y e Z, respectivamente como Quinta Justa, Oitava Justa e Terça Maior, a rede resultará o primeiro caso, já que ela busca as notas seguindo a ordem dos eixos X, Y e Z. Se os eixos forem determinados como Oitava Justa, Quinta Justa e Terça Maior respectivamente, obteremos a posição da segunda situação, já que a rede buscará as notas primeiro no eixo das Oitavas; portanto, a rede pode representar as mesmas escolhas que o compositor faria ao localizar as notas em uma rede no papel, basta apenas determinar em qual ordem deseja-se buscar cada nota.

1.3 Conclusão

A implementação computacional das redes propicia-nos um amplo controle e rapidez de manipulação de dados, sendo efetiva para sua utilização na música em tempo real. Nos próxi-

mos capítulos, abordamos mais detalhadamente a aplicação das redes à composição em tempo real, considerando as diversas formas de controlar seus parâmetros estruturais (eixos e notas centrais), assim como os resultados obtidos de tal processo.

2 *Eletrônica em tempo real*

Neste capítulo apresentamos um breve panorama da música eletroacústica principalmente centrando-nos em aspectos da música em tempo real. Consideramos apenas alguns pontos relevantes para a discussão que pretendemos realizar, a saber: a inserção das redes harmônicas de Pousseur em meio à música em tempo real, objetivo central deste trabalho.

Com o desenvolvimento da música eletroacústica, inicialmente caracterizada a partir da tão conhecida oposição entre *concretos* e *eletrônicos*, passou-se por um período de especulação que prescindiu do uso do instrumento musical acústico. O universo "concreto", calcado na necessidade de se afastar de qualquer tipo de conteúdo musical que remetesse a uma música mais abstrata ou simbólica — dependente de uma representação notacional —, aparta-se da escritura instrumental. Em meio à vertente eletrônica, vislumbraram-se possibilidades de dar sequência às especulações do universo pós-weberniano, como enumera Flo Menezes:

> 1. a atomização do som em seus constituintes mínimos; 2. apogeu dos procedimentos seriais determinando agora a estrutura dos próprios timbres (fenômeno tido como *composição do som* ou *serialização do timbre*); 3. a autonomia do compositor ante o intérprete e as limitações do gesto instrumental, por meio da abolição do executante na concepção de obras para *tape* solo; e 4. o apogeu da própria escritura instrumental, realizando-a plenamente e com o máximo controle serial através dos meios eletrônicos, suscetíveis ao rigor mais totalizante possível (MENEZES, 1999, p. 14).

Tal conjunto de especulações ocasionou, também, o temporário distanciamento da presença do instrumentista em meio à música eletrônica desse primeiro momento histórico do gênero. O marco da reconciliação entre essas duas dimensões se dá com a obra de 1952 de Bruno Maderna, *Musica su Due Dimensione*, para flauta, pratos e *tape*, reelaborada em versão para flauta e *tape* em 1958.

A partir da obra de Maderna, tornam-se correntes as discussões, na então denominada música mista, em como relacionar as duas dimensões do fazer musical, a saber: a escritura instrumental e a escritura eletroacústica ou como preferirá posteriormente Manoury: música instrumental e música de síntese[1]. Nesse sentido, podemos ressaltar que ao lado de *Musica Su Due Dimensione* de Maderna, obras como *Rimes pour Différentes Source Sonores* (1958) de Pousseur, *Différences* (1959) de Berio e ainda *Kontakte* (1958-60) de Stockhausen, constituem obras-ícone dessa discussão. Se por um lado Pousseur investiga como rimar as duas dimensões, Berio busca dar enfases à diferença entre elas, e Stockhausen intenta colocá-las em contato, como quer que seja, o que interessa a todos é, como afirma Menezes (1999), a dialética entre a *fusão* e o *contraste* entre as duas dimensões.

Dessa dialética surge a preocupação com a fluidez temporal ou a aparente fixidez do suporte eletroacústico em fita, que para alguns diminuía a liberdade interpretativa do instrumentista[2]. Nesse contexto, estabelece-se a eletrônica em tempo real. Um dos trabalhos que se considera como inaugural de tal vertente é a obra *Mantra* (1970) para dois pianos e moduladores em anel de Stockhausen. Manoury (2007) considera esta obra como tendo sido aquela que o impulsionou a descobrir a "riqueza potencial" existente na unificação dos mundos instrumental e eletrônico. Porém, para o compositor, a parte eletrônica operava transformações passivas e em momento algum apresentava uma "estruturação formal autônoma" comparável à escritura instrumental.

Manoury passa por um longo período de desenvolvimento de procedimentos composicionais e técnicos visando a potencializar a dimensão eletroacústica em complexidade comparável à escritura instrumental. Contou, ao longo dessa jornada, com a inestimável colaboração de Miller Puckette, acarretando no desenvolvimento de um dos softwares mais utilizados na música em tempo real, a saber: o Max/MSP. Dessa colaboração surgem obras como *Jupiter* (1987-92) para flauta e eletrônica, *Pluton* (1988-89), para piano e eletrônica, *La partition du Ciel et de*

[1] Manoury considera que todos os sons de síntese ou processamento sonoro são provenientes de "Sintetizadores" e que portanto, qualquer som proveniente da dimensão eletroacústica deva ser por ele assim denominado. Bem sabemos que existem outras possibilidades.

[2] Para uma visão aprofundada acerca da rigidez ou maleabilidade temporal na música eletroacústica mista vale a pena conferir o brilhante trabalho de (DIAS, 2006).

L'Enfer (1989) para flauta, dois pianos, conjunto instrumental e eletrônica, e *En écho* (1993-94) para voz e eletrônica. Em cada uma dessas obras, Manoury desenvolve novas relações entre as dimensões instrumental e eletrônica, ou em suas palavras, novos aspectos da "interação entre instrumentistas acústicos e máquinas". Manoury passou a se preocupar com modelos de interação que fossem realmente contínuos entre as duas dimensões e que se interpenetrassem de forma mas efetiva, o que demonstra que para o compositor o conceito de música em tempo real ultrapassa a discussão acerca da maleabilidade temporal.

> De tempos em tempos, para necessidade de captação ou de sincronização, abre-se uma comunicação entre instrumento e a máquina, que se fecha assim que o processo de captação é completado, deixando instrumento e eletrônica continuarem de maneira independente, sem muita relação entre eles. Assim, o que por por vezes é chamado de "tempo real", provou-se frequentemente não ser nada além de sequências musicais pré-compostas, como pequenos trechos de *tapes* colocados lado à lado, que poder-se-iam, certamente, iniciar no momento propício, mas cujo controle temporal nos escaparia[3] (MANOURY, 2007).

Essa concepção de obra em tempo real pressupõe uma dimensão eletrônica na qual certos componentes serão pré-estabelecidos e outros, porém, serão variáveis dependendo da situação. Manoury denomina tal conjunto de estruturas musicais, responsáveis pela operação e controle da dimensão eletrônica e de sua relação com o instrumental, *partituras virtuais* (les partitions virtuelles).

> Uma partitura virtual é uma organização musical na qual se conhece a natureza dos parâmetros que irão ser manipulados, mas nem sempre o valor exato que receberão a um tempo determinado. Uma parte destes parâmetros será fixa e não mudará de uma interpretação a outra, outra parte será influenciada pela captação de eventos exteriores (um microfone, por exemplo), que será analisada e tratada seguindo certas regras de composição[4] (MANOURY, 2007).

[3] "De temps en temps, pour les besoins d'une captation ou d'une synchronisation, s'ouvre une communication entre instrument et machine, qui se referme une fois le processus de captation achevé, laissant instruments et électronique continuer de manière indépendante sans plus de relations entre eux. Ainsi ce que l'on a parfois appelé « temps réel » s'avérait souvent n'être que des séquences musicales pré-composées, comme des petits morceaux de bandes magnétiques mis bout à bout, que l'on pouvait, certes, démarrer au moment propice, mais dont le contrôle dans le temps nous échappait."

[4] "Une partition virtuelle est une organisation musicale dans laquelle on connaît la nature des paramètres qui vont être traités mais pas toujours la valeur exacte qu'ils vont recevoir le moment voulu. Une partie de ces paramètres sera fixe et ne changera pas d'une interprétation à l'autre, (...) une autre sera influencée par la captation d'événements extérieurs (un micro, par exemple), qui sera analysée et traitée suivant certaines règles de composition."

Há para Manoury uma oposição clara entre valores absolutos, deterministas, e valores relativos ou móveis, indeterminados, que se confundem com a própria natureza de funcionamento dos computadores. Nesse sentido, para o compositor, o computador é eficiente para realizar duas tarefas básicas. A primeira consiste na capacidade do computador em realizar ações determinadas previamente, seguir instruções, portanto, executar algoritmos, o que, para Manoury, equivale musicalmente a um tipo de *escritura processual*. A segunda consiste na capacidade do computador em gerar números aleatórios, que para a composição musical assume grande importância na geração de comportamentos sonoros não lineares, indeterminados. A esses duas, Manoury acrescenta, devido aos desenvolvimentos recentes da tecnologia e da computação musical, a habilidade dos computadores em recuperar informações do mundo exterior, através de câmeras, microfones, captadores ou quaisquer outros tipos de sensores[5]. Para o autor, tais características podem relacionar-se entre si de diversas formas, dependendo do planejamento ou intenção do compositor. Tais formas de relacionamento foram esquematizadas, por Manoury, no quadro que podemos ver na figura 2.1.

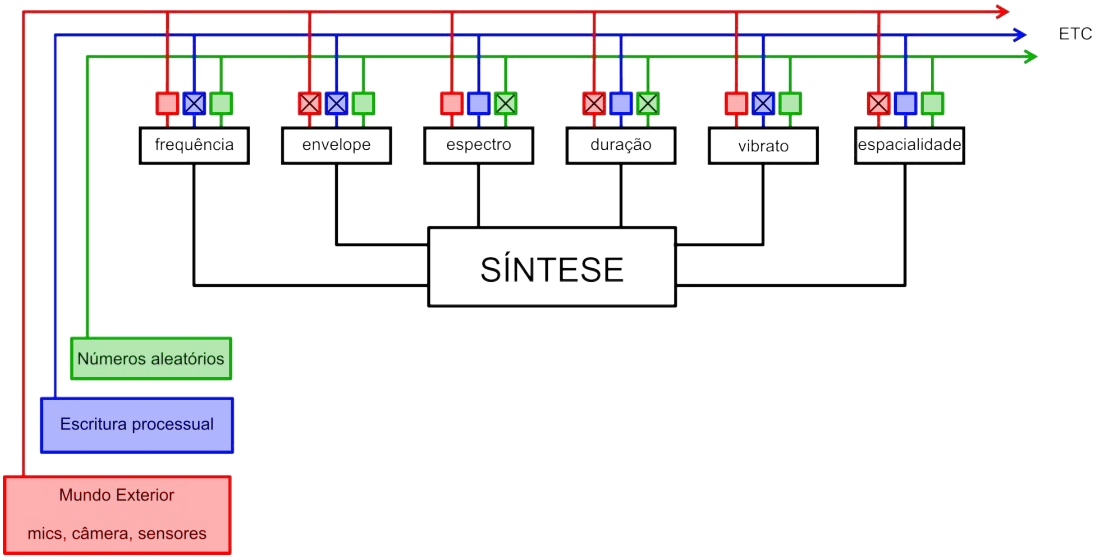


Figura 2.1: Quadro esquemático de relacionamentos entre a dimensão instrumental e a eletroacústica elaborado por Manoury (2013). Quadro adaptado a partir da conferência do compositor: *La musique du temps réel* realizada em 4 de junho de 2013 no Collège de France, Paris.

Manoury denomina tal jogo de relacionamentos *théorie des 'verrous'*. O autor parte do pressuposto de que a música de síntese é de outra natureza que a da música instrumental. Ge-

[5]Para uma visão panorâmica sobre sensores e seus usos na música e outras artes, confira Machover (1992).

ralmente, durante o ato da escuta da música instrumental, em especial da música histórica, tende-se a distinguir os elementos que portam o discurso, do próprio discurso musical. Como afirma, costumamos "esquecer o que toca para nos concentrarmos no que é tocado", ou seja, tendemos a distinguir a dimensão perceptual da estrutural. Por outro lado, na música de síntese, tais elementos se confundem de modo que se torna quase impossível que se separem. Ao longo do tempo, os compositores passaram a acreditar que era necessário integrar, à música de síntese, uma "certa dose de historicidade"; acrescentar à dimensão eletrônica uma certa quantidade de atributos os quais se pudessem nomear, distinguir e classificar. Nesse sentido é que Manoury propõe a metáfora das "fechaduras" ou "verrous" que consistem em trancas que podem ser abertas ou fechadas para que a obra se abra para o mundo externo, quando o compositor assim o desejar. Há, portanto, para Manoury, na música de síntese um campo de possibilidades estéticas que se estende da música em tempo real com total liberdade de improvisação, na qual todas as fechaduras estariam abertas, até a música totalmente calculada de suporte fixo onde todas as fechaduras estariam trancadas ao mundo exterior.

Porém, Manoury parece procurar um equilíbrio entre tais extremos; intenção decorrente de uma forte filiação à uma música de especulação estrutural, ao abdicar de procedimentos puramente improvisados, como relata:

> Sou forçado a observar que, entre todos os músicos que se aproximaram do tempo real de forma decisiva, não é na minha família estética próxima — aquela de compositores — que eu encontrei engajamento mais consequente, mas em uma corrente estética muito mais distante das minhas orientações artísticas: aquela das músicas improvisadas e de "performers". Esta situação curiosa me deixou fortemente isolado por um bom tempo, pois essa junção de orientações estética e tecnológica que era minha, era só raramente partilhada por outros.[6]. (MANOURY, 2007).

Parece ser natural que, em meio à composição eletroacústica em tempo real, emerjam inúmeras propostas composicionais que se utilizam de procedimentos improvisados ou performáticos, principalmente quando se consideram as diferenças simbólicas provenientes de cada uma

[6] "Force m'est de constater que, parmi tous les musiciens qui se sont approchés du temps réel de façon décisive, ce n'est pas dans ma famille esthétique proche – celle des compositeurs – que j'ai trouvé l'engagement le plus conséquent, mais dans un courant esthétique beaucoup plus éloigné de mes orientations artistiques : celui des musiques improvisées et des 'performers"'. Cette curieuse situation m'a laissé assez isolé pendant longtemps, car cette union d'orientations esthétique et technologique qui était la mienne, n'était que rarement partagée par d'autres.

das dimensões envolvidas, a saber: o universo computacional da síntese e processamento e a dimensão instrumental proveniente do próprio som do instrumentista ou de sua ação corpórea. Os dados captados da ação instrumental encontram-se em uma dimensão simbólica muito diversa das configurações necessárias para se criar uma estrutura de síntese, e números aleatórios podem se encontrar em limiares não muito úteis para a transposição direta para o campo das alturas, por exemplo.

Nesse sentido é que se estruturou a investigação apresentada neste trabalho. Acreditamos que a transposição das redes harmônicas de Pousseur ao universo da eletrônica em tempo real possa contribuir para a emergência de situações composicionais nas quais se pretenda investigar as formas de relacionar as dimensões eletroacústicas e instrumentais, sem que se perca de vista a especulação harmônico-estrutural.

As redes harmônicas de Pousseur, em especial as operações de transformação de conjuntos de alturas, como pudemos verificar anteriormente, constituem uma interessante ferramenta de geração de material harmônico e/ou melódico, permitindo inclusive gerar materiais que se relacionam entre si em uma perspectiva histórica. Seu uso como ferramenta de geração de material musical, em uma postura típica da composição algorítmica, pode ser realmente efetiva e, se aplicada à composição eletroacústica em tempo real, abrir uma interessante gama de investigação no que se refere à especulação harmônica em tempo real.

O uso das redes em tempo real demanda certo planejamento para que possamos extrair de seu funcionamento características musicais que façam sentido discursivo. Em uma situação usual, a manipulação das redes consiste em localizar um conjunto de notas em uma rede original e, depois de alterados seus eixos formativos, recuperar o novo conjunto de notas, obtido nas mesmas posições em que estavam as notas do conjunto original, na nova estrutura da rede transformada, projetando as notas e perfis originais em espaços harmônico-intervalares distintos. Lidamos, dessa forma, com: a) um conjunto de notas inicial; b) uma estrutura intervalar que determina a formação da rede original; e c) uma outra estrutura intervalar que determinará a forma da rede transformada. Em uma obra em tempo real, estes serão os dados que podere-

mos manipular ou relacionar às informações provenientes da parte instrumental no decorrer do tempo da obra ou de um de seus trechos. A figura 2.2 demonstra essa ideia básica.

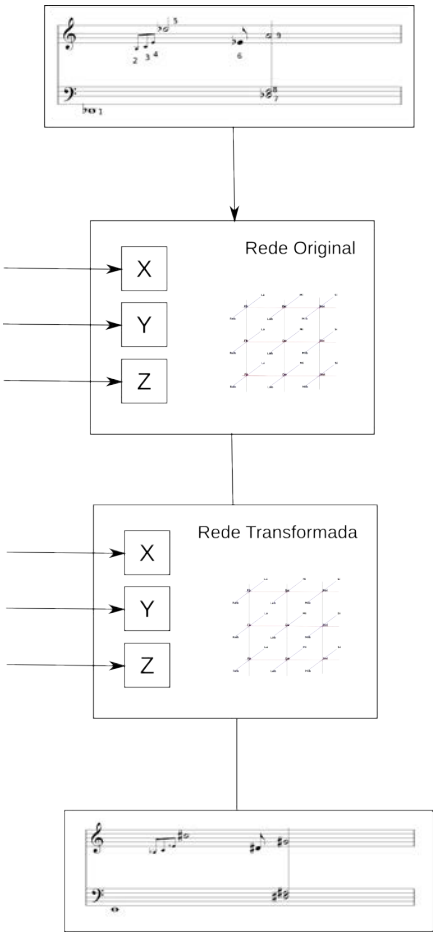


Figura 2.2: Representação esquemática das *entradas* e *saídas* de dados ao utilizar as redes harmônicas implementadas computacionalmente. As setas indicam os dados que podem ser modificados pelo compositor. As linhas simples indicam o fluxo de funcionamento do algorítimo, etapas nas quais não há possibilidade de interferência.

O que pudemos perceber, a partir das ideias de Manoury, é que a forma como dialogamos com a *máquina* é de suma importância para o pensamento composicional em meio à música eletroacústica em tempo real. Nesse sentido, se concebermos as redes harmônicas como parte constituinte de um sistema de operações composicionais de uma obra em tempo real, teremos que escolher quais são os parâmetros da rede que serão controlados, e de que forma o serão. Os parâmetros poderão ser determinados previamente, ser gerados por processos randômicos, ou ainda influenciados por comportamentos externos (Confira figura 2.1). A determinação prévia dos parâmetros não será muito diferente do que o uso das redes em obras em tempo discreto. Em contrapartida, a manipulação randômica dos parâmetros pode, acidentalmente, trazer resultados

interessantes, mas não será tão promissora a ponto de extrairmos das redes toda sua potencialidade relacional de materiais harmônicos, principalmente considerando o aspecto referencial e histórico pretendido por Pousseur. Parece que o relacionamento mais íntimo, como pretende Manoury, entre a dimensão eletrônica e a escritura instrumental deve incluir de alguma forma os dados obtidos por captação daquilo que é proveniente do instrumentista e, nesse sentido, há que se investigar o relacionamento entre os dados obtidos da dimensão instrumental com os parâmetros manipuláveis das redes harmônicas.

Os dados captados do *mundo exterior* são obtidos por utilitários denominados, geralmente, *extratores de características*[7] que podem ser organizados em categorias diversas de detectores como: detectores de amplitude, de altura, de timbre, de ataque, de pulso/tempo, de imagem, de movimento, e assim por diante. Cada ferramenta de detecção irá focar uma característica específica e retornar dados à sua maneira. Por exemplo, um detector de altura, que é geralmente baseado na *transformada rápida de Fourier* (FFT)[8], retorna informações como frequência, amplitude e fase do sinal de áudio que alimenta o detector. Nesse sentido, abre-se um campo vasto de relacionamento das características extraídas do *mundo externo* e a estrutura eletroacústica em tempo real programada pelo compositor. Por exemplo, o compositor pode utilizar a informação de amplitude para modular a quantidade de harmônicos que comporão uma síntese sonora, ou associar as frequências detectadas ao disparo deste ou daquele conjunto harmônico. Porém, as decisões do compositor são cruciais nesse processo, já que a mera transposição de um universo a outro poderia gerar resultados de pouca utilidade composicional. Fica evidente que a mera transposição de um conjunto de dinâmicas, valores que variariam por exemplo de 0 a 1[9], para o universo frequencial, mesmo que re-escalonando-os para valores de 20 a 22000 não seria muito mais interessante estruturalmente do que uma geração de dados randômicos[10].

[7] Confira (WILSON; COTTLE; COLLINS, 2011, p. 439-461).

[8] A transformada rápida de Fourier é um algorítimo matemático utilizado para calcular de forma mais eficiente a *transformada direta de Fourier* (TDF) e sua inversa. É utilizada em diversas aplicações que envolvem processamento digital de sinal, incluindo o processamento de áudio e vídeo.

[9] A maioria dos sistemas computacionais que é utilizada para aplicações de áudio em tempo real manipula os dados dentro de faixas de representação. Neste exemplo utilizamos a forma como o SuperCollider lida com a amplitude. Nessa linguagem, a amplitude é escalonada para valores que variam de 0, equivalendo à ausência de sinal, até 1, equivalendo à amplitude máxima possível.

[10] Não podemos afirmar categoricamente que os resultados no exemplo dado sejam sempre desinteressantes. Porém, considerando que em situações de processamento em tempo real o custo computacional das operações deve

Portanto, a transformação direta de uma grandeza à outra, salvo em raras exceções, não é tão inventiva musicalmente por lidarmos, nesses casos, com universos simbólicos diferentes, e no caso das redes harmônicas de Pousseur, também devem ser considerada com cautela.

Como já esboçamos anteriormente, uma rede pode receber como *entradas* as frequências que compõem o conjunto de notas que será identificado em sua estrutura e, posteriormente, tal conjunto será transformado acomodando-se à nova estrutura de uma rede com eixos distorcidos. Neste processo, poder-se-á manipular o conjunto de intervalos que determinam a estrutura da rede original e sua nota central, bem como o conjunto de intervalos que determinam a estrutura da rede transformada e sua nota central. Portanto, há que se decidir como realizar a transformações de informações obtidas pelos *extratores de características*, para que tais informações possam *controlar* as entradas da rede.

Se considerarmos que as redes harmônicas foram desenvolvidas por Pousseur visando a relacionar espaços harmônicos diversos, mais polares ou tonais com mais multipolares ou não tonais, passando por outros espaços harmônicos não tão claros quanto às polarizações, poderíamos estabelecer uma gradação de espaços harmônicos diversos. Nesse sentido, poderíamos compreender as redes harmônicas como uma ferramenta de geração harmônica que varia, de forma razoavelmente contínua, entre extremos, do tonal ao não-tonal, facilitando, em meio à música em tempo real, o relacionamento entre os dados obtidos da dimensão instrumental e os resultados das redes harmônicas. Portanto, há que se encontrar uma forma de categorizar essa gradação harmônica proveniente das redes de forma razoavelmente escalar, equiparando-se, assim, aos dados obtidos pelos extratores de características, que são geralmente escalas variando dentro de limiares específicos.

No próximo capítulo, realizamos uma breve discussão sobre os conceitos de tensão harmônica e como eles podem ser aplicados às redes harmônicas de Pousseur, sempre em meio à música em tempo real, para que possamos ter um controle mais efetivo de seus resultados.

---

sempre ser dimensionado para evitar ruídos indesejáveis que colocariam em risco a qualidade da obra, Poder-se-iam obter resultados muito próximos e mais eficientes sem que fosse necessário utilizar *extratores de características* aumentado consideravelmente o custo computacional para a realização desta tarefa.

3 *Consonâncias, Dissonâncias e Tensão Harmônica*

O estudo sobre a tensão musical está cada vez mais presente na agenda de pesquisadores de todo o mundo. De uma forma sumária, a tensão musical tem sido utilizada como um conceito para abarcar diversas facetas do universo sonoro musical. Ora a tensão está relacionada a aspectos métricos[1], ora a aspectos harmônicos[2], ora ligada ao plano dinâmico [3] e, em alguns casos, relacionada a diversos parâmetros musicais simultaneamente[4]. Porém, os estudos mais recorrentes concentram-se na consideração da tensão musical como um aspecto perceptivo correlato à dialética entre consonância e dissonância.

Mosco Carner (1941), musicólogo austro-inglês, aborda tal dialética partindo da verificação de três fatos que considera centrais para a história da harmonia: o relacionamento entre consonância e dissonância; o equilíbrio entre os níveis horizontal e vertical da polifonia; e o conceito de tonalidade. Isolemos aqui o primeiro, que é o que nos interessa para este estudo.

Carner considera que o relacionamento entre consonância e dissonância, pensado como uma dialética entre relaxamento e tensão, é uma propriedade que governa os processos dos seres vivos em diversas facetas do viver. "Essa relação é apenas uma manifestação especial no universo da música de um fenômeno psicológico geral que acompanha toda nossa vida física, mental e emocional."[5] (CARNER, 1941, p. 123). Assim como na vida tais relacionamentos ou contraposições entre tensão e relaxamento geram movimento, em música o relacionamento

[1] Ver (KRUMHANSL, 1996; FARBOOD, 2012).
[2] Ver (LERDAHL, 1996; LERDAHL; KRUMHANSL, 2007).
[3] Confira: (ARNHEIM, 1984).
[4] Ver (GRANOT; EITAN, 2011; PATTY, 2009).
[5] "This relation is only a special manifestation in the realm of music of a general psychological phenomenon that accompanies our entire mental, emotional and physical life."

entre diferentes graus de consonância e dissonância propicia movimento e eliminação da monotonia. Para Carner, o movimento musical não restringe-se somente à dimensão temporal. O relacionamento entre as tensões e relaxamentos, decorrentes das consonâncias e dissonâncias, também desempenham um papel importantíssimo nesse aspecto.

Jeppesen (1992), no interessante histórico que faz do desenvolvimento da teoria do contraponto, demonstra como essa preocupação já estava presente na Renascença, em especial nas obras de Josquin Desprez, Johannes Ockeghem, Guillaume Dufay e Gilles Binchois. Afirma que o movimento da dissonância para a consonância constituía um movimento de grande valor estético que não poderia ser substituído por qualquer outro procedimento. Gioseffo Zarlino foi um dos teóricos que sintetizou em teoria essa prática tão corrente:

> Não apenas a dissonância não é desagradável, mas, ao contrário, ela desperta grande prazer através do aumento de suavidade e doçura que ela empresta à consonância que a sucede. E por essa razão tudo torna-se mais claro tão logo é colocado em contraste com seu oposto.[6] (ZARLINO, 1589 apud JEPPESEN, 1992, p. 16)

Para Carner, não é possível inferirmos uma taxa absoluta de tensão correta para equilibrar a oposição entre consonância e dissonância, já que cada período da história fixou uma norma específica de aceitação de dissonâncias, ou em suas palavras, o estranho ou estrangeiro foi gradualmente aclimatado em meio as consonâncias.

> Em outras palavras, o ouvido musical de uma geração tornou-se gradualmente acostumado com o que a geração anterior considerava uma forte dissonância, com o resultado de que a antiga discordância passa a ser aceita como uma concordância.[7] (CARNER, 1941, p 125)

Tal citação remete-nos à passagem de Webern (1984), na qual compara a história da música com o aumento da aceitação, pelo ouvido, dos harmônicos superiores de um som.

> Como já disse, uma nota é um complexo formado por um som fundamental e seus harmônicos. Houve então um processo gradual, no qual a música explorou, um após o outro, cada nível desse material composto. Esse foi o caminho: fez-se recurso primeiramente ao que estava mais próximo e após ao que estava mais distante. (WEBERN, 1984, p. 34-35)

[6] "Not only is such a dissoance not displeasing but, on the contrary, it arouses grat pleasure through the increase mildness and sweetness which it lends to the succeeding consonance. And this for the reason that everything more clearly as soon as it is placed in contrast with its opposite."

[7] "In other words, the musical ears of one generation became gradually accustomed to what the preceding generation considered a harsh dissonance, with the result that the former discord comes to be accepted as a concord."

Ainda no mesmo sentido e anteriormente a Webern, Schoenberg (2001), seu mestre, afirma, ao abordar os conceitos de consonância e dissonância a partir da série harmônica:

> os harmônicos mais próximos contribuem *mais*, os mais distantes, *menos*. A diferença entre eles é gradual e não substancial. (...) Tudo depende, tão-somente, da crescente capacidade do ouvido analisador em familiarizar-se com os harmônicos mais distantes, ampliando o conceito de "som eufônico, suscetível de fazer arte", possibilitando, assim, que todos esses fenômenos naturais tenham um lugar no conjunto. O que hoje é distante, amanhã pode ser próximo; é apenas uma questão de capacidade de aproximar-se. A evolução da música tem seguido esse curso: incluindo, no domínio dos recursos artísticos, um número cada vez maior de possibilidades de complexos já existentes na constituição do som. (SCHOENBERG, 2001, p. 58-59)

Dentro desse contexto, podemos citar o interessante trabalho de Tenney (1988): *A history of Consonance and Dissonance* — posteriormente retomado por Sethares (2004) —, que apresenta um vasto panorama acerca do uso das consonâncias e dissonâncias ao longo da História. Tenney divide tais recurso em cinco tipos distintos de uso que cobrem três grandes períodos da história da música.

No primeiro bloco histórico, que abarca a prática musical da Antiguidade a *Ars Antiqua*, Tenney propõe a existência de duas formas básicas de uso da consonância e dissonância, que denomina por*consonância melódica* e *consonância polifônica*. O segundo bloco histórico, que se estende da *Ars Nova* até a *Seconda Pratica* do primeiro Barroco, é caracterizado pelo uso da *consonância contrapontística*. Por fim, o último bloco histórico considerado por Tenney é o que se inicia em Rameau e prossegue aos dias atuais, englobando duas formas distintas de uso da consonância e dissonância: a *consonância funcional* e a *consonância psicoacústica*.

O conceito de *consonância melódica* engloba o uso monódico do jogo de consonância e dissonância no qual a definição do que é consonante e dissonante depende da vizinhança dentro de um contexto melódico, tal qual ocorrera na prática musical grega e no canto gregoriano.

Os usos denominados por Tenney de *consonância polifônica* e *consonância contrapontística* são muito similares. Dizem respeito à caracterização do que é consonante e dissonante a partir da estrutura intervalar, a despeito do que ocorre em nível de perfil melódico. O primeiro, porém, engloba o uso de consonâncias e dissonâncias principalmente no período do *Organum*,

no qual as consonâncias e dissonâncias são fortemente pré-estabelecidas nos sistemas composicionais, logicamente decorrente de um pensamento pitagórico do período anterior. Já o segundo, por englobar o período subsequente — da *Ars Nova* a *Seconda Pratica* —, caracteriza-se pelo uso de consonâncias e dissonâncias em meio às técnicas que sofrem maior influência do resultado mais "harmônico" do relacionamento entre vozes, o que fez, por exemplo, com que o intervalo de Quarta fosse considerado dissonante (salvo em certas circunstâncias) ou com que houvesse uma diferenciação entre intervalos como o de Segunda Aumentada e o de Terça Menor, que dependendo do sistema de afinação poderiam ser equivalentes, mas em meio à música *ficta* eram considerados de forma diferente. Há nesse período, pois, uma presença muito mais forte dos sistemas "harmônicos" na caracterização do que é "consonante" ou "dissonante". A passagem para o uso do baixo cifrado na *Seconda Pratica*, por exemplo, fez com que a caracterização do que é ou não consonante passasse de uma pré-determinação fixa intervalar (Segundas, Sétimas, Trítono: dissonâncias; Terças, Sextas, Quintas, Oitavas e Uníssonos: consonâncias) para uma determinação da consonância como aquilo que pertencia a estrutura acórdica determinada pela cifragem e o que era dissonância como aquilo que estava ausente da estrutura acórdica cifrada. Tal diferenciação foi de grande importância para o desenvolvimento dos Madrigais Representativos da *Seconda Pratica* nos quais tal uso de consonâncias e dissonâncias tiveram um forte papel retórico-dramático, como podemos verificar em diversas obras de Claudio Monteverdi, principalmente a partir do seu sexto livro de madrigais.

A *consonância funcional* diz respeito à estipulação de consonâncias e dissonâncias em meio ao jogo de relacionamentos determinados pela força que a tônica desempenha na estrutura do acorde. Obviamente, este conceito proposto por Tenney engloba toda a prática musical que tem Rameau como principal teórico.

Nesse contexto, diversos são os trabalhos que se dedicam ao estudo da tensão harmônica como aspecto correlato ao uso das consonâncias e dissonâncias. Lerdahl (2001), concebe uma longa lista de publicações que se dedicam ao estudo da tensão musical, grande parte deles condensados em seu livro *Tonal Pitch Space*. O conceito de *tensão musical*, apresentado pelo autor, centra-se na ideia de que relaxamento e tensão são metáforas para os conceitos de *estabilidade*

e *instabilidade*, típicos dos movimentos dos elementos constitutivos de um espaço tonal. Nesse sentido, Lerdahl filia-se à vertente de autores que buscaram a caracterização dos espaços de relacionamentos entre regiões acústicas que expressam os distanciamentos entre si, os *Tonnetze*, tais quais denominados por Riemann. Para este autor, um dos primeiros *Tonnetz* ou quadro de relacionamento entre regiões harmônicas foi proposto por Johann David Heinichen em 1728 e consiste em um ciclo de quintas intercalado pelas tonalidades das relativas menores. Dispondo linearmente tal ciclo de quintas, teríamos algo como:

... Bb g F d C a G e ... [8]

Autores posteriores como Mattheson e Kellner consideraram que tal tabela de proximidades harmônicas apresentava problemas, já que em relação ao Dó Maior, por exemplo, a tonalidade de Ré menor situa-se mais próxima do que a tonalidade de Fá maior. Como proposta para corrigir tal equívoco, Kellner sugere a confecção de um ciclo de quintas formado por dois ciclos concêntricos que têm as tonalidades maiores no círculo mais externo e as tonalidades menores no círculo interno. Posteriormente, Gottfried Weber propôs uma nova tabela em que dispõe não só as relações de vizinhança por Quintas, mas também as regiões paralelas maiores e menores como adjacentes:

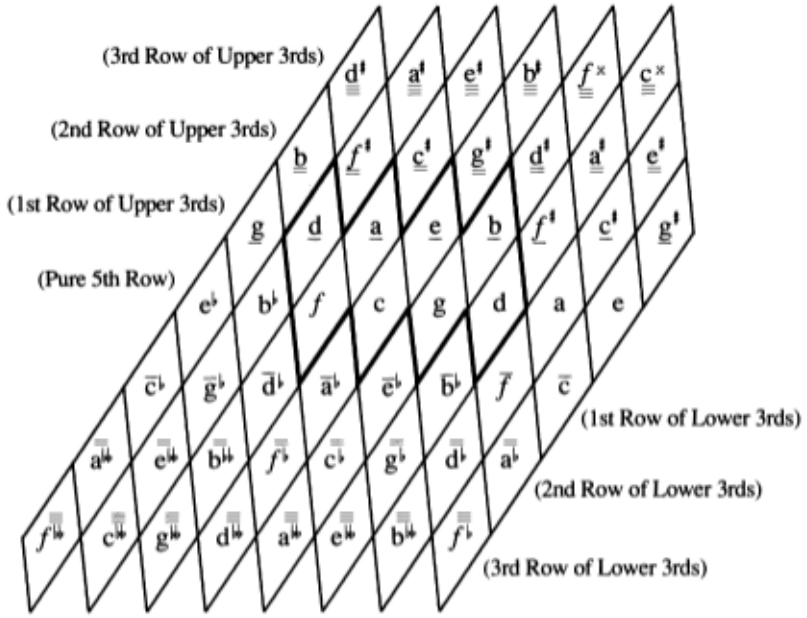
d♯	F♯	f♯	A	a	C	c
g♯	B	b	D	d	F	f
c♯	E	e	G	g	B♭	b♭
f♯	A	a	C	c	E♭	e♭
b	D	d	F	f	A♭	a♭
e	G	g	B♭	d♭	D♭	d♭
a	C	c	E♭	e♭	G♭	g♭

Tabela 3.1: Tabela de relacionamento harmônico de Gottfried Weber — extraído de (LERDAHL, 2001, location: 960)

Diversos outros quadros ou balanços de relacionamento intervalar foram desenvolvidos ao longo da história por Riemann, Schoenberg, Krumhansl, entre outros. Riemann foi um dos teóricos da música que pretendeu continuar os trabalhos de Stumpf e de Helmholtz em direção

[8] Letras minúsculas indicam tonalidades menores e letras maiúsculas, tonalidades maiores.

à transposição das fundações do pensamento musical de suas bases fisiológicas para bases psicológicas. Nesse sentido, dedicou-se à busca de uma teoria psicológica da música tonal que, devido a suas convicções idealistas, denominou por *Teoria da Imaginação Tonal*. Riemann pretendia compreender como se configuram as estruturas de pensamento humano no que se referem ao som musical como um todo, considerando seus aspectos metafóricos, melódicos e harmônicos. Como ponto culminante desse processo de investigação, que passa por uma valorosa produção pedagógica musical, Riemann desenvolve seus mapas de representação das tonalidades, usualmente denominadas por *Tonnetze* ou *redes tonais*. Riemann (1992), em seu artigo *Ideas for a Study 'On the Imagination of Tone'*, desenvolve um quadro de relacionamento entre regiões tonais considerando as vizinhanças por Quintas, Terças Maiores e Terças Menores, bem como entre as regiões paralelas maiores e menores:



O aspecto que mais nos interessa aqui é que tais quadros foram utilizados para traçar relações de proximidade e distanciamento entre espaços tonais, o que equivaleria, segundo Lerdahl, à concepção de estabilidade e instabilidade. Quanto mais distante na tabela de relacionamentos uma dada obra se direciona a partir de seu centro (tônica), tanto maior será a tensão geral do trecho atingido e vice-versa.

Para Lerdahl, essa diferença de tensão está justificada em meio a uma hipótese cognitiva

esboçada por Deutsch (1980) que postula que a percepção geral dos indivíduos tende a organizar espaços auditivos mais complexos em espaços menos complexos. Por exemplo, um acorde — uma estrutura de Terças selecionada a partir de um espaço diatônico de possibilidades, que por sua vez é um subconjunto de um espaço cromático —, tende a ser caracterizado por sua Quinta principal, embasado na lógica da série harmônica, passando para um espaço mais reduzido de Quintas e por sua vez fortemente representado pela sua tônica, que opera em um espaço de oitavas mais reduzido ainda.

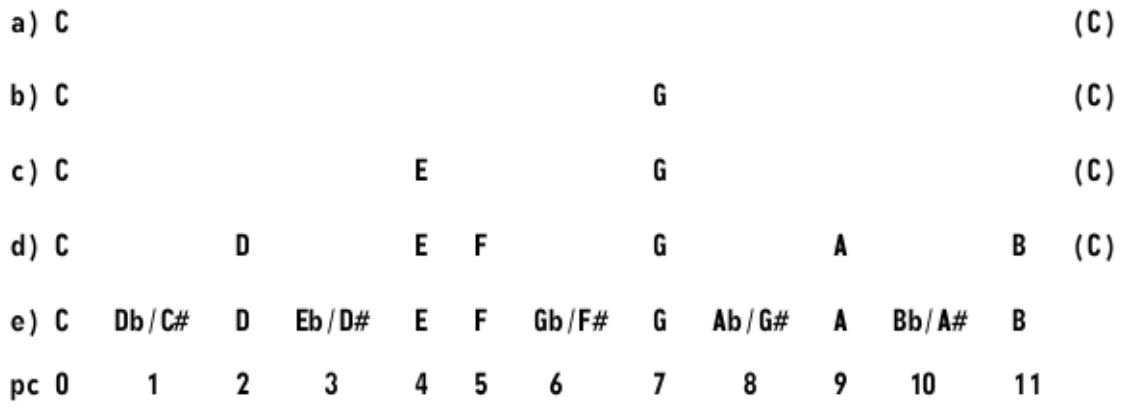


Figura 3.1: Caracterização do Espaço Harmônico de Lerdahl. Extraído de Lerdahl 2001 (location 1056)

Dessa forma, Lerdahl considera que o distanciamento entre regiões harmônicas diferentes deve ser calculado a partir da quantidade de movimentos realizados no espaço imediatamente superior ao conjunto de notas que se avalia. Por exemplo, se se intenta obter a distância harmônica do movimento harmônico que parte do acorde de Dó Maior para o acorde de Ré Maior, deve-se subir, a partir de Dó Maior, para o espaço harmônico imediatamente acima ao dos acordes, portanto indo para o espaço de relacionamento entre Quintas, e descobrir quantos passos no espaço de Quintas devem ser operados para se atingir o acorde desejado: dois passos a partir de Dó (Dó para Sol, e Sol para Ré). Aliado a esse cálculo, Lerdahl também soma a quantidade de notas diferentes entre os acordes para chegar à distância definitiva entre as duas regiões harmônicas. Nesse sentido, para o autor, quanto mais distante estão as regiões, maior será a sensação de tensão decorrente do movimento harmônico[9].

[9]A teoria de Lerdahl tem o intuito de propor uma nova tabela de distanciamento entre regiões harmônicas a partir de pressupostos cognitivos estudados pelo autor durante vários anos de pesquisa. Sua teoria é vasta e

A despeito da complexidade da teoria de Lerdahl, parece-nos que suas proposições centram-se demasiadamente em espaços tonais fortemente calcados na estrutura da Tríade. O autor propõe usos diferentes de suas análises também para espaços hexatônicos e octatônicos, visando a sua aplicação na música contemporânea. Acreditamos, portanto, que o trabalho do teórico francês Edmond Costère seja bastante salutar neste sentido.

Para Costère (1954, 1962), autor abordado por Menezes (1979, 2002) e mais recentemente por Ramires (2001) e Bittencourt (2007), os conjuntos de notas denominadas *gamas* são mais ou menos fortalecidas pelo papel que suas notas vizinhas desempenham nesse jogo de fortalecimentos. Uma nota sofre influências, que a polariza, de suas vizinhas harmônicas (Quinta acima e abaixo) — pois estas figuram em sua série harmônica em posição de grande destaque —, de suas sensíveis melódicas (segunda menor acima e abaixo) — devido à potencialidade atrativa melódica que tal movimento possui e de si mesma. Cada uma das notas ditas *cardinais polares* de um som gera um peso harmônico que caracteriza a força de atração que esse som desempenha em um espaço acústico. Costère demonstra tais jogos de forças, que designa por *densidade cardinal*, em tabelas analíticas, como podemos ver na figura 3.2

	Dó	Dó#	Ré	Ré#	Mi	Fá	Fá#	Sol	Sol#	Lá	Lá#	Si
Sol	1		1				1	1	1			
Mi				1	1	1				1		1
Dó	1	1				1		1				1
	2	(1	1	1)	1	(2	1)	2	(1	1		2)

Figura 3.2: Tabela de Densidade Cardinal do acorde de Dó Maior

Como podemos verificar na figura 3.2, foi atribuído o valor 1 para cada nota constitutiva da entidade analisada, bem como para cada nota no espaço cromático que possua relação de *cardinalidade* (polaridade) com cada uma das notas constitutivas do acorde. Temos assim atri-

fortemente carregada de teoremas e equações e sua explicação detalhada demandaria um trabalho hercúleo que supera a necessidade e o foco deste trabalho. Aqui, apresentamos a teoria de Lerdahl apenas como ilustração de uma das abordagens possíveis à hipótese da *consonância funcional* de Tenney e de como esses estudos têm sido desenvolvidos na atualidade.

buído o valor 1 para as notas Dó (nota constitutiva), Fá, Sol, Re♭ e Si e assim subsequentemente para cada nota constitutiva. Realiza-se posteriormente a soma de todos os valores atribuídos e obtêm-se, na linha inferior, os valores de cardinalidade da entidade estudada, que, neste exemplo, terá densidade cardinal de cinco pontos (2 + 1 + 2; Densidades Cardinais de Dó, Mi e Sol, respectivamente). Para avaliarmos se a entidade é cardinalmente estável ou instável, basta verificarmos se a sua densidade cardinal é maior ou menor que a densidade cardinal dos sons mais fortes extrínsecos à entidade, ou seja, da densidade cardinal dos sons mais polares que não pertencem à entidade analisada. No caso do acorde de Dó maior, os sons cardinais extrínsecos mais fortes são Fá e Si, ambos com dois pontos de densidade cardinal, totalizando quatro pontos de densidade cardinal e, portanto, permitindo-nos concluir que a entidade Dó Maior é cardinalmente estável, já que possui densidade cardinal maior ou igual a esse valor[10].

Para Costère, a tensão harmônica é na verdade concebida como instabilidade ou estabilidade da entidade. Um entidade estável não pressupõe a necessidade de se movimentar para outra entidade, tendo portanto, baixo dinamismo. Já uma entidade cardinalmente instável necessita encontrar seu equilíbrio em outra região acústica, possuindo assim um maior dinamismo sonoro.

	Dó	Dó#	Ré	Ré#	Mi	Fá	Fá#	Sol	Sol#	Lá	Lá#	Si
Sib				1		1				1	1	1
Sol	1		1				1	1	1			
Mi				1	1	1				1		1
Dó	1	1				1		1				1
	2	(1	1	2)	1	(3	1)	2	(1	2)	1	(3)

Figura 3.3: Tabela de Densidade Cardinal do Acorde de Dó com sétima

Na figura 3.3, podemos perceber que a densidade cardinal da entidade é de seis pontos

[10]O resultado do cálculo, neste exemplo, será: Densidade Cardinal de Dó Maior = 5; Densidade Cardinal dos sons extrínsecos mais polares = 5, pois, deve-se considerar uma quantidade igual de sons intrínsecos e extrínsecos na análise. Os sons extrínsecos considerados serão Fá e Si, por serem os mais polares, e mais um outro qualquer, pois todos têm valor igual a 1, de forma que sejam comparados 3 sons intrínsecos e 3 sons extrínsecos.

contra dez pontos dos sons extrínsecos mais fortes, constituindo um exemplo de uma entidade cardinalmente instável que tem propensão cardinal, ou dinamismo, a se dirigir às notas Fá e Si (sons extrínsecos mais fortes). Tal fato justifica inclusive o uso de tal acorde como Dominante de Fá, ou ainda como acorde de Sexta Aumentada resolvendo em Si.

Costère também estuda as relações de estabilidade e instabilidade das entidades em meio a contextos tonais, fazendo uso do que denomina por tabela de *gravidade tonal*, bem como das relações de estabilidade e instabilidade entre as transposições da entidade através dos cálculos obtidos a partir da tabela de *gravidade transpositora*. A despeito das diferenças entre os procedimentos, o princípio será sempre o mesmo: quando os valores cardinais dos sons do conjunto de sons intrínsecos à entidade forem maiores do que a somatória do mesmo número de sons extrínsecos mais fortes, teremos uma entidade estável e vice-versa.

A partir das teorias apresentadas até aqui, como exemplo do que Tenney caracteriza por *consonância funcional*, pudemos perceber que o conceito de tensão harmônica é geralmente tratado como correlato da distância entre regiões acústicas, o que demonstra o aspecto funcional que a dissonância desempenha em meio ao sistema tonal e também não tonal. Retomamos assim a assertiva de Carner, que afirma que em cada período da história da música há uma taxa específica de aceitação ou um limiar específico que divide aquilo que é consonante do que é dissonante, geralmente em um tipo de dialética que define que *o que é dissonante deve encontrar sua resolução em algo mais consonante*, como fica comprovado a partir de Costère. Na história da música, até pelo menos o fim do período da *consonância funcional*, os sistemas composicionais caracterizaram-se em grande parte, ou pelo menos no que se refere ao jogo de consonâncias e dissonâncias, por uma superação das normas de aceitação do que ocorria no período anterior e a subsequente eleição de uma discordância em um nível mais complexo do que o anterior, manifestando uma importância, para o discurso musical, de um certo caráter "repousante" no movimento que vai da tensão ao relaxamento.

Para Schoenberg, esse caráter "repousante" se dá quando uma sonoridade que se encontra filiada às regiões mais altas da série harmônica direciona-se às regiões mais próximas de seu iní-

cio, de sua fundamental, e é a partir dessa lógica que postula as consonâncias e as dissonâncias como entidades não exatamente opostas ou distintas, mas numa gradação entre extremos.

Somente na música de Webern é que tal necessidade repousante será então transformada, para que emerja da multipolarização obtida a partir da simultaneidade de intervalos com polarizações diversas. Esses passam a ganhar autonomia em relação à sua existência em um nível melódico, principalmente quando as sensíveis melódicas, com seu alto poder polarizador linear, são utilizadas simultaneamente, o que se convencionou chamar de harmonia de simultaneidades. Tal característica multipolar ou centrífuga, como afirma Pousseur (2009), acaba por acarretar em uma homogeneização no nível das tensões harmônicas resultantes desse tipo de discurso:

> Reina por toda parte uma tensão igual, a qual não se trata mais de resolver, e que constitui o valor específico, a razão de ser da nova linguagem. É, portanto, absolutamente conveniente qualificar a música de Webern de "pontual", já que nela cada ponto, cada evento sonoro elementar adquire uma importância *harmônica* igual, e uma vez que toda espécie de subordinação se vê excluída. Observa-se, porém, que ela é aqui legitimada de uma maneira mais interior, mais orgânica do que fora até hoje. (POUSSEUR, 2009b, p. 51)

Ao chegarmos então em Webern sob a ótica de Pousseur, colocamo-nos frente a um dos pontos principais que motivou nossa abordagem. Pousseur apresenta em seu texto "Apoteose de Rameau" um repertório de técnicas por ele desenvolvidas e utilizadas em diversas de suas obras, tais como *Votre Faust* (1961-68), *Quintette à la Mémoire d'Anton Webern* (1955), *Couleurs Croisées* (1967), entre outras, decorrentes de um desejo de fazer "rimar", como havíamos já destacado, os universos harmônicos de um Monteverdi e de um Webern.

Para Pousseur, há, pois, uma homogeneidade presente na música pós-weberniana, decorrente da própria música desse mestre e ocasionada por um conjunto de "medidas de precaução destinadas a impedir que emergissem determinadas propriedades harmônicas". Gera-se assim, a partir dessa "paralisia parcialmente voluntária" assumida pelos compositores pós-webernianos, uma distância entre os níveis estrutural e perceptual. Já detectava-se tal homogeneidade mesmo na obra considerada fundadora do serialismo integral, a saber: *Modes de valeurs et d'intensités* (1949) de Olivier Messiaen:

> Dessa invariância do som, a obra passou aos ouvintes uma certa impressão de monotonia, mas são esses três minutos de música para piano, apresentada

> durante uma noite memorável do Curso de Verão em Darmstadt, que iniciou todo o movimento pós-weberniano do pós-guerra e que iria em breve ganhar o mundo inteiro (Nota de programa - IRCAM, 1981)[11].

Karlheinz Stockhausen, com o desenvolvimento da técnica de grupos, também buscou formas de eliminar essa "monotonia", de forma a resgatar aspectos mais perceptuais ou "experienciais". Assim é que afirma o compositor alemão: "Entende-se por *grupo* uma quantidade determinada de sons que estão conectados por meio de proporções relativas a uma ordem superior de qualidade experiencial." (STOCKHAUSEN, 1963 apud ASSIS, 2011, p. 137).

Nota-se um caminho histórico de desenvolvimento que buscou expandir os ganhos obtidos pelas técnicas seriais, incluindo agora, ou re-incluindo, estruturas em um nível superior e portanto perceptual de relacionamentos formais que minimizassem a monotonia das primeiras experiências do serialismo integral. Paralelamente ao desenvolvimento das técnicas de grupo, podemos situar o trabalho de especulação harmônica de Pousseur, em especial de suas ideias de organização dos espaços harmônicos em redes de relacionamento, que vimos do capítulo anterior.

Pousseur pretendeu, como vimos, inspirado pela ideia de citação histórica e ancorado pela função metalinguística, resgatar e reintegrar em sua música a própria história da harmonia enquanto processo composicional. No contexto do panorama de Tenney esboçado até aqui, o pensamento pousseuriano, que engloba diversos sistemas harmônicos em um único, parece integrar os diversos usos das consonâncias e dissonâncias em um grande meta-sistema de relacionamentos. Se para Carner cada sistema harmônico ao longo da história tem seu nível de concordâncias e discordâncias e cada novo sistema histórico superou as discordâncias do sistema anterior, e, por fim, as redes de Pousseur permitem que façamos coexistir todos os sistemas harmônicos históricos em uma mesma obra, veremos emergir uma dialética não somente entre as dissonâncias e consonâncias de um sistema harmônico, mas também uma dialética entre os diversos sistemas harmônicos justapostos ou sobrepostos. Portanto, as consonâncias e dissonâncias poderão ser avaliadas por um meta-sistema de referências da mesma forma que Pousseur buscou uma

[11] Du fait de l'invariance des sons, l'oeuvre dégage à l'audition une certaine impression de monotonie, mais ce sont de ces trois minutes de musique de piano, révélées au cours d'une mémorable soirée des sessions d'été de Darmstadt, que sortit tout le mouvement post-webernien de l'après-guerre qui allait bientôt gagner le monde entier.

metagramática que abarcasse os diversos sistemas harmônicos em um mesmo jogo de relações. Para tal estudo, a dissonância sensorial ou cognitiva, última forma de classificação dos usos de consonâncias e dissonâncias apresentada por Tenney, parecer bastante pertinente.

3.1 A dissonância sensorial ou cognitiva como ferramenta para a classificação da Tensão Harmônica

Ainda dentro de um ângulo retrospectivo, podemos considerar que desde Pitágoras têm-se discutido formas de separar as consonâncias das dissonâncias. Uma das mais conhecidas teorias nesse sentido está relacionada com a razão intervalar, utilizada inclusive por Pousseur para calcular a polarização das notas em um conjunto harmônico, como pudemos constatar anteriormente.

Dentro desse paradigma, mais à frente na história da música, podemos encontrar a interessante passagem de Galilei:

> Consonâncias agradáveis são pares de sons que atingem o ouvido com uma certa regularidade; essa regularidade consiste no fato de que os pulsos produzidos pelos dois sons, no mesmo intervalo de tempo, devem ser de número proporcional, de forma a não manter o tímpano em um tormento perceptual, pendendo em duas direções diferentes de forma a produzir impulsos sempre discordantes[12] (GALILEI, 1963 apud PLOMP; LEVELT, 1965, p. 549).

A partir do século XVII, quando se descobriu que os sons instrumentais eram formados por harmônicos, a discussão sobre consonâncias e dissonâncias muda de foco e passa-se a considerar que o que é mais consonante está relacionado com a coincidência entre os harmônicos superiores dos sons envolvidos. A partir da consideração dessa hipótese é que centram-se os estudos da vertente denominada por Tenney de estudos sobre *consonância cognitiva*. Helmholtz é um dos principais teóricos dessa hipótese, expandindo-a de forma a considerar que os batimentos gerados pela proximidades dos harmônicos (aspereza ou rugosidade) também desempenha

[12] "Agreeable consonances are pairs of tones which strike the ear with a certain regularity; this regularity consists in the fact that the pulses delivered by the two tones,in the same interval of time, shall be commensurable number, so in as not to keep the ear drum in perpetual torment, bending in two different directions in order to yield to the ever-discordant impulses."

um papel importante na caracterização da consonância ou dissonância, como verem mais detalhadamente abaixo.

Há atualmente uma grande quantidade de trabalhos[13], principalmente nas áreas da física, da cognição e da psicoacústica, que se dedicam ao estudo do fenômeno da dissonância. Em sua grande maioria, parece ser consenso que um dos principais métodos para a medição das dissonâncias consiste no cálculo de aspereza tal qual proposto por Helmholtz, que é o que abordamos aqui, porém a título de esclarecimento, consideramos sucintamente outras hipóteses.[14].

Principalmente a partir dos estudos de Terhardt (1984), diversos aspectos têm sido considerados para criar modelos explicativos ou descrever o fenômeno da dissonância cognitiva, como o desenvolvimento dos conceitos de *sharpness* (geralmente traduzido por *brilho*); *tonalness* ou *harmonicidade* e *pitch commonality* ou *comunalidade de altura*. Tais conceitos são muitas vezes entendidos como a explicação psicoacústica de determinadas práticas composicionais, teóricas ou harmônicas, como o brilho relacionado à aspereza de um timbre, a harmonicidade relacionada à predição da fundamental de um espectro sonoro e a comunalidade de altura considerando-se como são percebidas as relações de proximidade e distanciamento entre sons dentro de um contexto musical, obviamente relacionando-se com a condução de voz e tipos de movimentos harmônicos.

Os autores que discutem tais conceitos consideram que todos os parâmetros analisados se relacionam de alguma forma com o conceito de dissonância. O conceito de brilho, dentre todos o mais simples, é o que se caracteriza pela quantidade de energia espectral no registro agudo de um espectro sonoro. Nesse sentido, se um som apresenta um alto grau de brilho, ele seria um pouco mais dissonante, já que a presença mais proeminente de harmônicos agudos confere maior relevância perceptual a parciais mais próximos entre si e, portanto, mais sobrepostos em suas bandas-críticas[15]. Por isso o conceito em inglês, *sharpness*, parecer ser mais pertinente

[13](PARNCUTT, 1988; PARNCUTT; STRASBURGER, 1994; PARNCUTT, 2007, Cf.), (TERHARDT, 1984), (THOMPSON; PARNCUTT, 1997),(PLOMP; LEVELT, 1965).

[14]O texto de (PORRES, 2012) apresenta uma consistente revisão dos trabalhos que se dedicam às teorias cognitivas da consonância e dissonância.

[15]O conceito de banda-crítica refere-se à largura de banda de frequência na qual dois ou mais sons se sobrepõem consideravelmente na membrana basilar, prejudicando a discriminação das frequências individuais. Tal conceito será abordado à frente com mais detalhes. Vide, a esse respeito, Menezes (2003, p. 78–87) e Roederer (2002,

para a descrição de tal fenômeno do que sua tradução.

O conceito de *harmonicidade* está relacionado à evidência da percepção de altura de um espectro sonoro. Ou seja, quanto mais um espectro se aproxima da série harmônica natural, mais fácil será a identificação de uma frequência única para aquele som e portanto, maior será a *harmonicidade* desse espectro. Quanto mais o conjunto espectral dificultar a predição de sua fundamental, menor será seu *Tonalness* e portanto maior será o índice de dissonância desse espectro. O conceito de *harmonicidade* está fortemente relacionado com o conceito de predição da fundamental de um som, inspirado logicamente pelas ideias de Rameau e Helmholtz, mas a taxa de inarmonicidade espectral, que dificulta a percepção da fundamental, parece ser um "efeito colateral" considerado por todos os teóricos que discutem o conceito.

Por fim, os estudos sobre comunalidade de altura dedicam-se à compreensão de como dois espectros sonoros podem ser mais próximos ou mais distantes entre si. Sons que tenham alto grau de coincidência entre seus conteúdos espectrais são considerados mais próximos e portanto menos contrastantes entre si.

Podemos perceber que, em todos esses estudos, a medição de dissonância parece ser um efeito mais secundário se comparada com o conceito de aspereza proposto por Helmholtz (1954). Nesse sentido, nossa hipótese considerará o cálculo de aspereza, também chamado *rugosidade*, como aspecto relevante para o cálculo da taxa de dissonância/tensão harmônica[16].

A aspereza de um som, a partir da hipótese de Helmholtz, está relacionada com os padrões de batimento que emergem da proximidade entre os parciais da série harmônica de um ou mais sons, em especial quando há um certo grau de sobreposição das bandas críticas de dois sons.

A teoria de Helmholtz para a categorização das consonâncias e dissonâncias, descrita no

p. 53–63)

[16]Passaremos a chamar, apenas por questões práticas, a taxa de dissonância por *tensão harmônica*. Como esboçamos nos capítulos precedentes, partimos da ideia de que quanto mais dissonante um conjunto de alturas se apresentar à percepção mais movimento direcional tal conjunto, potencialmente, pode gerar, devido a suas características polares e, portanto, direcionais. Nesse sentido, um conjunto fortemente dissonante apresenta uma maior expectativa de direcionar-se à sua resolução, portanto, tal conjunto é percebido como mais tenso. Há diversos estudos na área da percepção e cognição musical que se dedicam ao relacionamento dos conceitos de dissonância, movimento, expectativa e tensão perceptiva. Para uma visão aprofundada sobre o assunto, sugerimos consultar os trabalhos de Parncutt e Terhardt, já citados aqui e os de Meyer (1956, 1973, 1989).

capítulo X de seu *Sensations of Tone*, apoia-se na noção de batimento decorrente da relação entre dois sons. Helmholtz parte da constatação de que quando duas frequências puras (sem série harmônica associada) estão suficientemente próximas, há a sensação de aspereza ou rugosidade proveniente do batimento que emerge desse tipo de relação. Quando o batimento entre as duas frequências encontra-se próximo a 32 vezes por segundo, temos o ápice da sensação de rugosidade ou "desprazer" auditivo. Tal raciocínio é ampliado por Helmholtz para a análise de todos os batimentos que ocorreriam entre os espectros de duas alturas, propondo uma ordem ou hierarquia geral das consonâncias (HELMHOLTZ, 1954, p. 194):

- As consonâncias perfeitas, denominadas de absolutas, são aquelas nas quais o primeiro harmônico de um dos sons coincide com alguns dos parciais do outro som. Fazem parte desse grupo a Oitava, a Décima-Segunda e a Dupla-Oitava;
- As consonâncias perfeitas que se seguem são a Quinta e a Quarta, pois há concordância considerável entre os parciais das notas envolvidas, não promovendo, pois, grandes distúrbios na sensação de harmonicidade geral dos intervalos;
- O grupo das Sextas Maiores e das Terças Maiores são consideradas consonâncias medianas;
- O grupo das Terças Menores e das Sextas Menores são categorizadas como consonâncias imperfeitas.

Por fim, Helmholtz traça algumas considerações acerca da modificação dos intervalos através do acréscimo de uma Oitava. Alguns intervalos que eram mais harmoniosos tornam-se menos consonantes e vice-versa. O próprio autor esclarece que sua classificação de consonância não considera aspectos contextuais como tonalidade, escalas ou modulações, mas apenas apoia-se no conceito de batimentos, destituídos de qualquer contexto musical.

A pesquisa de Helmholtz foi crucial para o desenvolvimento dos estudos de consonância cognitiva tal como descritos por Tenney. Porém, o trabalho de Plomp e Levelt (1965), que revisou e especificou mais profundamente as experiências de Helmholtz, é considerado como

um dos mais importantes no século XX para a compreensão desse fenômeno. Plomp e Levelt incluem a influência das bandas-críticas aos estudos de batimento de harmônicos superiores de Helmholtz. Os autores descobrem que os fenômenos de batimentos mais rápidos não são percebidos de forma igualitária em todos os casos.

A teoria da discriminação de frequência pelo ouvido humano afirma que percebemos uma determinada altura quando um grupo de células capilares da membrana basilar é ativado. Nesse processo, não somente uma única célula será a responsável por uma determinada frequência: há uma célula, que geralmente é responsável por um pico de ativação, e uma vizinhança, que é ativada em menor grau. Quanto temos sons diferentes que partilham a mesma banda de ativação na membrana basilar, temos a incidência de banda-crítica, e essa sobreposição é a responsável pela percepção de batimento e de aspereza. No entanto, como bem descreveram Plomp e Levelt, há uma variação de grau, dependendo do tamanho da sobreposição ocorrida.

Para melhor compreendermos o fenômeno, consideremos o seguinte exemplo.

Consideremos duas frequências: f_1 e f_2. Quando as duas frequências estiverem em Uníssono ouviremos apenas um som. Ao aumentar gradativamente a frequência de f_2 a partir do Uníssono passaremos a ouvir ainda uma única frequência com altura um pouco mais elevada que f_1 — equivalente à soma das duas frequências divididas por dois, porém, com amplitude modulada com frequência de modulação igual à diferença entre as duas frequências. Esse é o fenômeno de batimento tão conhecido dos músicos. O batimento é resultante de um regime de equivalência e oposição de fase entre os dois sons. Esses batimentos serão claramente percebidos enquanto eles estiverem ocorrendo a cerca de 10 a 16 vezes por segundo. À medida que a diferença entre as frequências superar o limiar de 16 Hz, o batimento desaparecerá, dando lugar a uma sonoridade mais áspera. Nesse ponto, passaremos a ter a ocorrência de bandas-críticas, ou seja, passamos a ter uma forte sobreposição dos "envelopes dinâmicos" de cada frequência na membrana basilar.

Após diversos testes, Plomp e Levelt chegam a uma curva que representa o quanto a incidência de banda-crítica é responsável pela sensação de aspereza geral entre dois sons, conforme

podemos ver na figura 3.4.

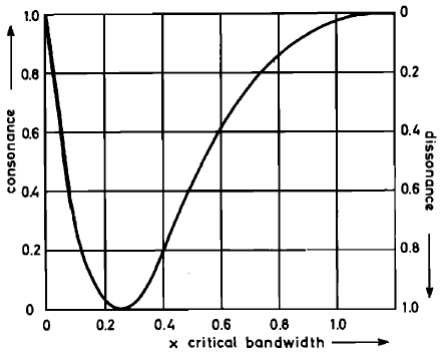


Figura 3.4: Tabela de Rugosidade segundo Plomp e Levelt (1956)

A partir dessa curva, podemos perceber que é em uma sobreposição de cerca de 25% que há o maior grau de sensação de aspereza. Os autores aliam então a curva de incidência de banda-crítica à ideia básica de batimentos dos harmônicos superiores de Helmholtz, estabelecendo então uma curva geral de consonâncias e dissonâncias para os intervalos musicais, conforme podemos verificar na figura 3.5

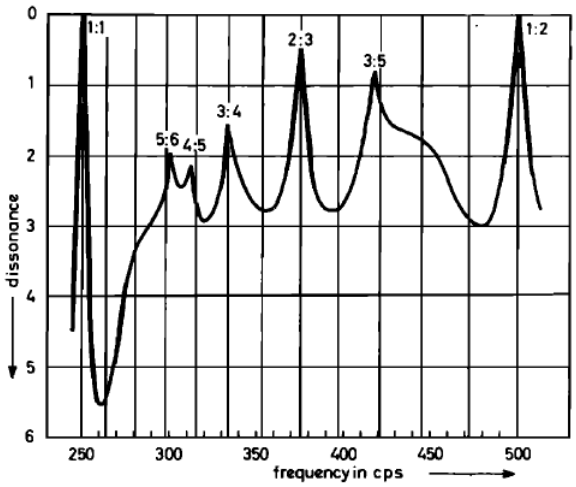


Figura 3.5: Resultado do cálculo de dissonância dos intervalos musicais até a Oitava. Extraído de Plomp e Levelt (1965)

A partir dessa constatação, nosso trabalho centrou-se em transpor o modelo de Plomp e Levelt para um algoritmo computacional com o qual pudéssemos realizar análises dos níveis de consonância e dissonância de conjuntos de notas provenientes das redes harmônicas de Pousseur, ou seja, de seus níveis de tensão harmônica.

3.2 Implementação do Modelo de Cálculo de Tensão Harmônica

Foi calculando os níveis de aspereza ou rugosidade que construímos o nosso modelo de cálculo de taxa de tesão harmônica[17].

O modelo, aqui descrito, consiste em calcular a taxa de rugosidade resultante de todos os parciais pertencentes a um ou mais sons. Vejamos como o cálculo é realizado passo a passo, primeiramente entre dois sons puros e depois entre duas notas com suas séries harmônicas constitutivas.

A primeira etapa do cálculo consiste em descobrir a frequência central de dois sons. Se considerarmos as notas Ré4 e Mi4, 293,66 Hz e 329,62 Hz respectivamente, encontraremos a frequência central a partir da fórmula:

$$fC = \frac{f1 + f2}{2}$$

que no nosso caso será:

$$fC = \frac{293,66 + 329,62}{2}$$

$$fC = 311,64$$

O tamanho da banda-crítica, que varia com a frequência, é dado pela equação:

$$CBW(fC) = 1,72(fC)^{0,65}$$

Portanto:

[17] Para a confecção do algorítimo de cálculo de aspereza, utilizamos procedimentos provenientes tanto de Helmholtz (1954) e Plomp e Levelt (1965), quanto de Ferguson (2000), (PARNCUTT, 2007) e (BIGAND; PARNCUTT; LERDAHL, 1996).

$$CBW(311,64) = 1,72(311,64)^{0,65}$$

$$CBW(311,64) = 71,84$$

Em seguida descobrimos a diferença entre as duas frequências: $f_2 - f_1$.

$$329,62 - 293,66 = 35,96$$

Posteriormente descobrimos quantos porcento da banda crítica há de sobreposição entre as frequências. Para tal, utilizamos a seguinte fórmula:

$$\frac{(f_2 - f_1)}{CBW(fC)}$$

Portanto, no nosso caso:

$$\frac{(329,62 - 293,66)}{71,84} = 0,50$$

A rugosidade varia dependendo de quantos porcento da banda-crítica de sobreposição existe entre as duas frequências. Esse valor deve ser projetado na tabela de curva de rugosidade de Plomp e Levelt, conforme apresentamos na figura 3.4

Ao projetarmos o valor da rugosidade máxima na tabela, buscando no eixo Y a projeção de $x = 0,50$, obteremos o valor geral da rugosidade igual a $0,46$. Considerando que o máximo de consonância na tabela de Plomp e Levelt é 1 e que o máximo dissonância é igual a 0, teremos um intervalo com quase 50% de dissonância possível na escala.

Para usos computacionais, essa curva de rugosidade proposta por Plomp e Levelt pode ser gerada pela seguinte equação, extraída de (BIGAND; PARNCUTT; LERDAHL, 1996):

$$g(x) = [(\frac{ex}{a})exp(\frac{-x}{a})]^i, x < 1,2$$
$$g(x) = 0, x > 1,2 \tag{3.1}$$

onde e é a base dos logaritmos naturais (2,7182818), x é o valor da porcentagem da banda crítica obtido acima (0,50), a é o valor máximo de rugosidade de acordo com a tabela de Plomp e Levelt (0,25), e i é a constante igual a 2, para que se obtenha a forma geral de uma curva padrão de uma equação de segundo grau. Os limites de cálculo vão de $x = 0$ a $x = 1,2$. Para valores maiores que $1,2$, não há rugosidade perceptível entre frequências.

A curva gerada por essa equação pode ser vista na figura 3.6[18].

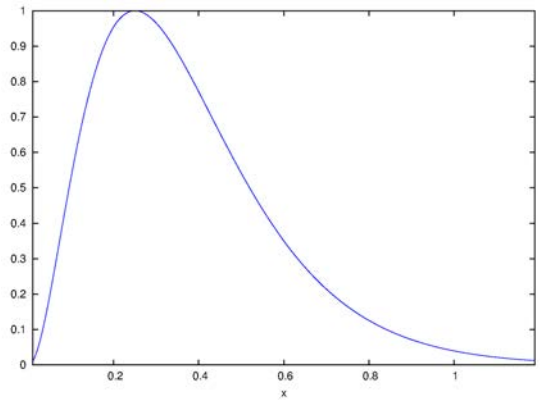


Figura 3.6: Curva de rugosidade gerada pela equação segundo Bigand et al. (1996)

Ainda assim há um outro fator a considerar, apesar de não ter sido descrito por Plomp e Levelt, mas antes por Ferguson (2000) e Bigand, Parncutt e Lerdahl (1996). A amplitude das frequências interfere fortemente na percepção de rugosidade. Parciais mais débeis terão menor influência na sensação geral de rugosidade de um som e podemos, pois, multiplicar o resultado obtido pelas amplitudes dos parciais, promovendo a diminuição do valor de rugosidade. Em nosso modelo, da mesma forma que no modelo de Ferguson, realizamos a multiplicação da amplitude no valor final de rugosidade. Considerando as amplitudes em uma escala que vai de 0 a 1, se o primeiro som, em nosso caso Ré4, tiver uma amplitude igual a $0,3$, e o segundo som tiver uma amplitude igual a $0,1$, obteremos a rugosidade final multiplicando o valor obtido na

[18] A curva está invertida em relação à de Plomp e Levelt e devemos considerar que o máximo de consonância será igual a zero e o máximo de dissonância será igual a um.

tabela pelos dois valores de amplitude. Portanto,

$$g(x) = 0,46 * 0,3 * 0,1$$

$$g(x) = 0,0138$$

demonstrando como o modelo atenua a rugosidade final a partir da multiplicação pelas amplitudes das notas envolvidas no cálculo.

O exemplo apresentado até aqui consiste no cálculo de rugosidade entre dois sons senoidais puros e como dissemos acima, implementamos um modelo que calcula igualmente a rugosidade entre sons compostos, com seus parciais harmônicos. O processo de cálculo da rugosidade entre cada um dos harmônicos se dá da mesma forma em que foi apresentado acima, porém, mostraremos agora como construímos os espectros harmônicos para o cálculo e como o algoritmo realiza o cálculo de harmônico a harmônico.

Primeiramente, o algoritmo — também implementado em SuperCollider pelos mesmos motivos que as redes harmônicas de Pousseur — gera as séries harmônicas de cada nota escolhida para o cálculo. Diferente do modelo implementado por Ferguson, nossa implementação permite escolher a quantidade de harmônicos a ser utilizada no cálculo, o que abordaremos mais adiante. Os testes de Plomp e Levelt utilizaram um conjunto de 6 harmônicos, pois tais autores consideram que, acima disso, os resultados para o cálculo de rugosidade não apresentam grandes diferenças. O modelo de Ferguson utiliza dez harmônicos, enquanto que o nosso permite que a quantidade de harmônicos varie livremente.

A série harmônica gerada terá então n harmônicos com amplitude igual a $\frac{1}{n}$. O primeiro harmônico terá amplitude igual a 1, o segundo $\frac{1}{2}$, o terceiro $\frac{1}{3}$, e assim sucessivamente. As frequências dos harmônicos são ajustadas para o temperamento igual[19].

O sistema de cálculo gera então as séries harmônicas de todas as notas envolvidas, verificando quais são os harmônicos coincidentes e, caso isso ocorra, suas amplitudes são combinadas utilizando a seguinte equação:

[19]Mais à frente abordaremos os resultados obtidos a partir de um outro modelo que implementamos, no qual a série harmônica está disposta tal qual a escala física.

$$amp = \sqrt{x^2 + y^2}$$

Posteriormente, o sistema irá calcular a rugosidade entre cada um dos componentes da série harmônica combinada, calculando a rugosidade de todos os parciais com todos os demais. Se as séries harmônicas escolhidas tiverem, por exemplo, 4 harmônicos, o cálculo procederá como se segue:

$$(f_1, f_2), (f_1, f_3), (f_1, f_4)$$

$$(f_2, f_3), (f_2, f_4)$$

$$(f_3, f_4)$$

Ao final, as rugosidades entre todos os pares de frequências são somadas e depois o resultado é dividido pela amplitude geral de toda a coleção, tal qual a seguinte fórmula extraída de Ferguson (2000):

$$ampFinal = amp_1^2 + amp_2^2 + \ldots + amp_n^2$$

A despeito da aridez da explicação do modelo até aqui, a utilização da aplicação desenvolvida em SuperCollider é bem simples, como podemos aqui verificar[20]:

```
a = HarmonicTension([60,64,67])
a.nHarmonics = 6;
a.roughness;
```

A primeira linha prepara a aplicação para o cálculo, informando que queremos calcular a rugosidade da coleção formada pelas notas MIDI 60, 64 e 67, que são: Dó4, Mi4 e Sol4, respectivamente. A segunda linha cria as séries harmônicas com 6 parciais, e a terceira linha faz o cálculo da tensão harmônica retornando o valor: 0,4406.

[20] Da mesma forma que o algoritmo que realiza os cálculos das Redes Harmônicas de Pousseur, o código com o algoritmo completo do cálculo de Rugosidade encontra-se no Apêndice A deste volume.

O modelo apresenta algumas características interessantes. Uma delas é que fica evidente que o nível de tensão harmônica não é redutível à Oitava. Como a banda-crítica varia dependendo da frequência, o resultado final de tensão também deverá variar. Isso está em concordância com as práticas musicais históricas de abertura de vozes em uma textura coral, regras de distribuições de vozes em uma orquestração, entre outras. Sabemos que em regiões mais graves a ocorrência de sobreposições na banda crítica para intervalos menores é muito maior que na região aguda. Apesar de oriunda de outro contexto, a citação de Pousseur é esclarecedora nesse sentido:

> Por certo que as notas de um coral de Bach, dispostas no registro de uma maneira bem mais desigual e dispersa, produziriam já um tipo de música bem mais difícil de ser classificada nas categorias conhecidas, situando-se entre o tonal e o atonal, entre o antigo e o moderno (POUSSEUR, 2009b, p. 194).

Podemos perceber como o registro desempenha um papel central inclusive para a determinação de qual espaço harmônico estamos inseridos. Em nossa análise, optamos por não desconsiderar esse aspecto.

Já em seu texto *O cromatismo orgânico de Anton Webern* de (1954-1955), Pousseur disserta sobre a importância da distinção entre a localização das notas no registro frequencial e de sua ocupação no interior de uma oitava. Ao analisar a obra de Webern, visando compreender as formas de uso do cromatismo na obra do mestre austríaco, Pousseur enfatiza em diversos trechos a importância do registro. Explicita em sua análise, entre outras coisas, a importância estrutural dada aos intervalos de Segunda e Nona, decorrente do tratamento diferenciado que é dado a esses intervalos.

Pousseur mesmo, em seu texto de 1998 sobre a aplicação das redes para usos analíticos, informa que as análises baseadas em *pitch class* também são válidas principalmente quando queremos compreender ou revelar estruturas mais estatísticas de uma obra musical, enquanto que suas redes são muito mais eficientes para demonstrar estruturas em um outro nível, musicalmente mais pertinente. Retomando as discussões sobre os níveis colorístico, melódico, harmônico e combinatório de Pousseur, ressaltamos que nossa preocupação em compreender os níveis de tensão harmônica repousa muito mais em um nível mais próximo à percepção,

como já afirmamos acima, e portanto, cientes de que as análises com redução à Oitava tem seu valor e uso incontestáveis, optamos por considerar as variações de tensão que a diferença de registros faz emergir nas estruturas musicais.

3.3 Procedimentos de testes do modelo de cálculo de dissonância

Após a implementação, partimos para uma etapa de testes no intuito de verificar se os níveis de tensão harmônica obtidos eram condizentes com os principais estereótipos perceptivos. Existem inúmeros testes que foram realizados pelos autores que desenvolveram os modelos, com músicos e mesmo com pessoas sem treinamento musical, demonstrando que o modelo é extremamente viável. Entretanto, nossa intenção aqui era de testar o modelo para usos mais composicionais do que necessariamente explicativos da percepção humana.

Os primeiros testes que realizamos foram os de observar os níveis de tensão harmônica dos intervalos musicais básicos, inclusive para verificar se o modelo se comportaria tal qual indicado por Plomp e Levelt.

Conseguimos chegar ao mesmo resultado quando partimos das mesmas premissas que Plomp e Levelt[21]. No procedimento de cálculo de tais autores, não está prevista a multiplicação da rugosidade final pelas amplitudes dos parciais. Sendo assim, implementamos em nosso código a possibilidade de escolher se o cálculo será ou não efetuado. Quando a multiplicação não é realizada, obtemos o resultado conforme a figura 3.7, ressaltando que o eixo Y está com os dados invertidos em relação ao gráfico de Plomp e Levelt. Se a multiplicação final da taxa de rugosidade pela dinâmica for efetuada, o resultado final do nível de tensão dos intervalos musicais básicos será tal qual o demonstrado na figura 3.8.

[21] O gráfico apresentado por Plomp e Levelt (cf. figura 3.5) é constituído por uma linha contínua e gradual que demonstra o nível de rugosidade ou aspereza intervalar não só para os intervalos musicais usuais, mas de toda a gama contínua de frequências entre os intervalos musicais básicos. Em diversos textos posteriores, como (SETHARES, 2004), os picos de consonância ocorridos nos intervalos musicais básicos são utilizados como possível explicação para a forte recorrência da escala diatônica na música de muitos povos ocidentais e orientais. Nossos gráficos não representam os intervalos de forma contínua como o gráfico de Plomp e Levelt. As linhas que juntam os níveis de tensão harmônica nos nossos gráficos são apenas recursos visuais para melhor acompanhar a variação de rugosidade de cada um dos intervalos.

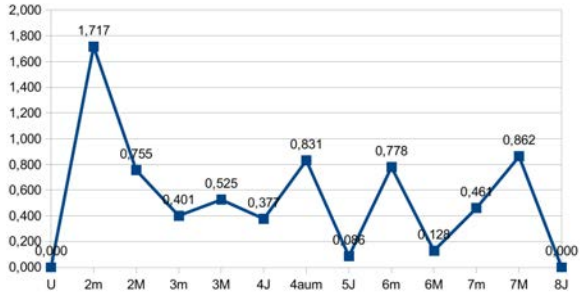


Figura 3.7: Cálculo de Tensão Harmônica dos Intervalos até a Oitava sem a etapa de multiplicação de amplitude

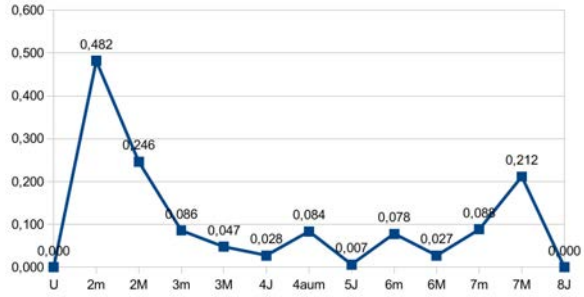


Figura 3.8: Cálculo de Tensão Harmônica dos Intervalos até a oitava com etapa de multiplicação de amplitude

Podemos verificar que a forma geral da curva de intervalos se mantém quase a mesma, havendo, no entanto, mudanças interessantes a serem consideradas. Enquanto na primeira curva temos a Terça Menor como menos tensa que a Terça Maior, na segunda curva esses valores se invertem. Como no primeiro cálculo não há atenuação da rugosidade obtida pela multiplicação de tal valor às amplitudes, a Terça Menor passa a ser mais consonante que a Terça Maior, já que a Terça Maior apresenta dois intervalos de segunda menor até o sexto harmônico, enquanto que a Terça Menor apresenta somente um. Já quando se realiza a multiplicação da aspereza pelas amplitudes, atenuando a rugosidade dos harmônicos superiores, a Terça Maior terá apenas uma Segunda Menor aumentando sua tensão, já que o outro intervalo de Segunda Menor será muito mais débil, enquanto que a Terça Menor terá não só a Segunda Menor já considerada, que não será tão atenuada quanto na série harmônica do intervalo de Terça Maior, por estar disposta mais ao centro da série harmônica, mas também um intervalo de Segunda Maior entre o quarto harmônico de Dó e o terceiro harmônico de Mi♭.

Outra diferença a ressaltar é que no primeiro gráfico temos o intervalo de Trítono como o

intervalo mais tenso do que todos os outros, excetuando a Segunda Menor e a Sétima Maior. Já no segundo gráfico, o intervalo de Trítono perde muito de sua tensão, ficando pouco abaixo da Terça Menor. Tal fenômeno é decorrente dos mesmos motivos explicitados acima acerca das Terças. Como o intervalo de Trítono passa a ter a aspereza de seus harmônicos mais altos atenuados, a aspereza das Segundas Menores formadas entre os parciais mais no início da série é quase da mesma ordem do que temos nas Terças.

Talvez um dos aspectos mais interessantes aqui seja que em ambos os quadros a Segunda Menor apresenta o mais alto grau de tensão, demonstrando sua instabilidade e seu poder de geração de movimento. Fica aqui caracterizado o poder polarizador da Segunda Menor como fenômeno de sensível, tal qual discorrem Costère, Menezes e outros. No caso da Segunda Menor, todos os parciais harmônicos de uma das notas encontram-se em relação de Segunda Menor com os parciais da outra nota, justificando seu alto grau de tensão, propiciando a geração da necessidade de algum movimento para que haja a eliminação dessa tensão, que melodicamente ocorre quando o que se segue confirma a série harmônica de uma das notas. Quando as segundas menores ocorrem simultaneamente, há a polarização que aponta da mesma forma para cada um dos elementos do intervalo, ou, como afirma Menezes, "uma vez simultâneas, ambas as duas frequências que se inter-relacionam por Meio-tom sensibilizam-se reciprocamente" (MENEZES, 2002, p. 114), fenômeno este tão importante para a música da Segunda Escola de Viena e que acarretou no desenvolvimento do conceito de *harmonia de simultaneidade*.

Nesse sentido, o próximo teste que achamos interessante de realizar foi o de verificar a tensão harmônica dos acordes prototípicos da Segunda Escola de Viena segundo descrição de Còstere (Cf. figura 3.9).

Figura 3.9: Acordes prototípicos da Segunda Escola de Viena

Realizamos a comparação inciando com o cálculo da tensão do intervalo de Sétima Maior para que assim pudéssemos verificar como esse intervalo teria sua tensão alterada a partir da inclusão das outras notas intermediárias. A partir da análise desses acordes, apresentada por

Menezes em seu livro *Apoteose de Schoenberg*, podemos verificar que no intervalo de Sétima Maior, como é característico das Segundas Menores e Sétimas Maiores (estas sendo a inversão daquelas) há uma reciprocidade de polarização e a inclusão da nota central estabiliza a polaridade final da entidade ao polarizar uma das notas constituintes do intervalo ao mesmo tempo em que, geralmente, nega a outra. No primeiro caso, a nota Fá incluída no centro do acorde é apolar em relação ao Si, fazendo com que a entidade se polarize em Dó, já que há a polarização de Si para Dó e de Fá para Dó, a polarização de Dó para Si, e a apolarização de Fá para Si, demonstrando que nesse processo de polarização o Dó torna-se mais polar no grupo todo por ter mais polarizações a favor do que contra em relação ao Si.

Nesse sentido, há um processo de estabilização da entidade como um todo o que demonstra como tais entidades foram utilizadas como representação de uma certa "estabilidade" que substituiu, nas obras dos compositores da Segunda Escola de Viena, o acorde perfeito como arquétipo principal. Portanto, nosso método de cálculo de tensão deveria mostrar que ocorre o mesmo tipo de processo para que tivesse algum tipo de validade. Ao realizar os cálculos, obtivemos os resultados conforme figura 3.10.

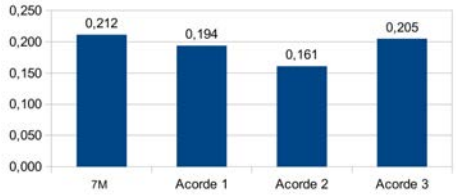


Figura 3.10: Tabela de Tensão harmônica de três acordes prototípicos da Segunda Escola de Viena.

Podemos perceber que o intervalo de Sétima Maior isolado, apresenta o mais alto grau de tensão. Em seguida, o Acorde 1, primeiro acorde da figura 3.9, será menos tenso que o intervalo de Sétima Maior. O segundo acorde será menos tenso ainda, já que aqui temos um processo de estabilização maior ainda que no primeiro acorde, apesar de os dois acordes apresentarem igual peso de confirmação polar, pois tem a favor do Dó duas polarizações: no primeiro, Si para Dó e Fá para Dó; no segundo, Si para Dó e Sol para Dó. No primeiro acorde, a nota Fá apresenta uma melhor confirmação polar da nota Dó que estaria quinta acima dele, enquanto no segundo o intervalo de Quinta reforça mais efetivamente o Dó fundamental do acorde. O

terceiro acorde também é mais estável que o intervalo de Sétima Maior, porém em um grau muito menos expressivo que os outros dois, já que a polarização aqui é direcionada à nota Si, pois esta tem a seu favor dois movimentos de polarização, enquanto a nota Dó tem a seu favor apenas um e uma apolarização realizada pelo Fá♯. Nesse sentido, temos uma estabilização que não aponta para a nota mais grave, sua "fundamental", mas para a nota mais aguda, o que dá a esse acorde uma sonoridade muito mais instável do que a dos dois anteriores[22].

Em relação aos acordes restantes, realizamos o mesmo processo. Calculamos a tensão do intervalo de Nona Menor para depois compararmos com os acordes completos, e tivemos o mesmo tipo de resultado que o obtido para os três acordes anteriormente analisados. A inclusão da nota central, que realiza o processo de desambiguação das forças polarizadoras do intervalo de Nona Menor, resulta em uma expressiva diminuição do nível geral de tensão harmônica dos acordes.

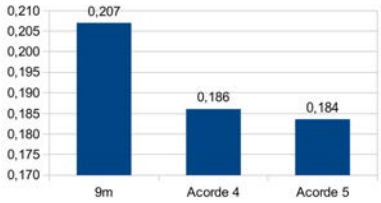


Figura 3.11: Tensão harmônica de dois acordes prototípicos da Segunda Escola de Viena.

O primeiro deles, o Acorde 4, é um pouco mais tenso do que o segundo pelos mesmos motivos que diferenciaram os Acordes 1 e 2, a saber, a posição da Quarta na parte inferior do acorde.

A partir dessas análises, podemos inferir que o método de cálculo de tensão harmônica é capaz de expressar, logicamente em um nível de análise de outra natureza do que a análise de polarizações, as mesmas lógicas sistêmicas que fundamentam os processos de polarização acústica, tão importantes para a compreensão da música.

Realizamos inúmeros outros testes com modificações de parâmetros de análise, como por exemplo quais as diferenças de resultados obtidos com números variados de harmônicos, com

[22]Esse é um dos casos em que a teoria de harmonicidade apontaria a instabilidade ou dissonância geral do acorde como mais elevada, ao demonstrar que a estrutura de harmônicos formada pelos seus constituintes não confirma a nota mais grave, e sim a mais aguda.

ou sem multiplicação da amplitude no fator final de aspereza, e com um método de cálculo no qual a série harmônica construída não tivesse seus parciais arredondados para o temperamento igual, mas obedecesse às proporções da escala física. Em todos os cálculos, os resultados tiveram valores absolutos diferentes, porém proporcionalmente equivalentes. Confeccionamos tais testes calculando o nível de tensão harmônica dos acordes: Dó Maior, Dó Menor, Dó aumentado, Dó diminuto, Dó-Fá-Si♭ e Dó com sétima, todos iniciando a partir do Dó4 e com configurações diferentes do processo de cálculo. Os resultados podem ser verificados na figura 3.12.

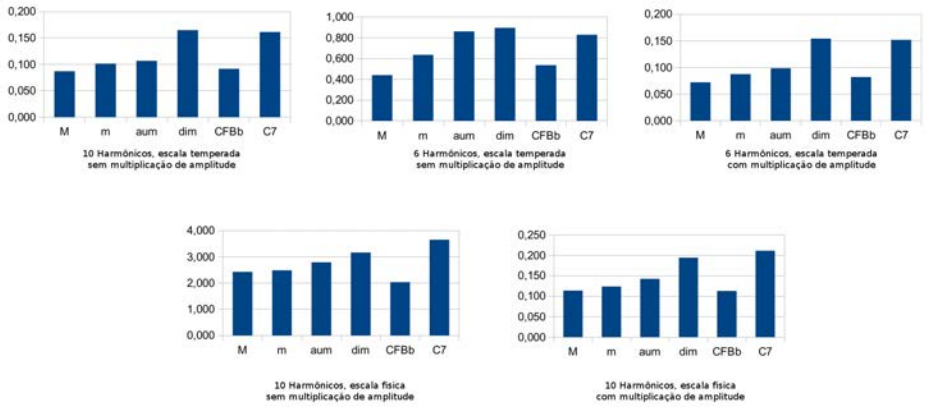


Figura 3.12: Tabela comparativa de resultados de diversas configurações de cálculo de tensão.

Pudemos perceber que o cálculo de tensão harmônica tem grande potencial classificatório para discriminar gradativamente diversos tipos de materiais harmônicos. Nesse sentido, aplicamos os cálculos de tensão harmônica às especulações harmônicas propostas por Pousseur, em especial às permutações cíclicas e às redes harmônicas.

3.4 Cálculo de tensão harmônica das permutações cíclicas e das redes harmônicas de Pousseur

Ainda no intuito de verificar como os diferentes espaços acústicos ou harmônicos discutidos por Pousseur poderiam ser categorizados em relação à tensão harmônica, nos detivemos, inicialmente, à análise da tensão harmônica dos processos de permutação cíclica de Pousseur. Para tal, utilizamos o exemplo discutido por Flo Menezes em seu *Apoteose de Schoenberg*, re-

produzido aqui na figura 1.2, que apresenta uma transformação de uma série dodecafônica em doze permutações. O exemplo demonstra, entre outras coisas, uma interessante propriedade que resulta do processo, a saber: a modificação paulatina de um espaço harmônico cromático em um espaço hexatônico, processo esse que Pousseur desenvolveu já no intuito de fazer rimar espaços harmônicos diferentes a partir de uma mesma lógica organizacional.

Para nossa análise, realizamos o cálculo da tensão harmônica partindo da série original e chegando à sexta permutação, portanto: sete conjuntos de notas diferentes, já que, pela natureza do próprio processo de permutação, após a sexta transformação os conjuntos são retransformados até chegarem ao original, passando pelos mesmos conjuntos obtidos desde o início. Portanto, a permutação VII resultará no conjunto de notas da permutação V; a permutação VIII resultará no conjunto de notas da permutação IV, e assim sucessivamente.

É interessante notar que, da mesma forma que o conjunto de notas vai se reduzindo, introduzindo repetições de notas já existentes e por assim dizer diminuindo a complexidade de polarizações, pois não se terá mais o total cromático, as tensões harmônicas se reduzem paralelamente à estabilização harmônica do conjunto, conforme podemos verificar na figura 3.13.

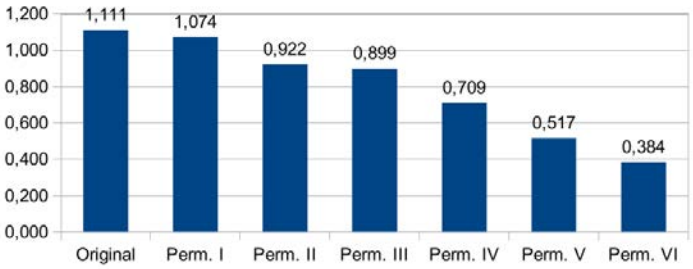


Figura 3.13: Tensão harmônica das Permutações Cíclicas de Pousseur.

Posteriormente, reproduzimos o exemplo do uso das redes harmônicas que Pousseur apresenta em seu texto. Como já abordamos acima, Pousseur utiliza um canto integracionista negro que possui funções harmônicas tonais bem definidas e que dessa forma pudessem se manter minimamente reconhecíveis após os processos de distorção obtida das redes. Busca, dessa forma, sair de um espaço harmônico rigorosamente tonal e, após diferentes tipos de distorções, transformá-lo em um espaço mais complexo, mais próximo a uma multipolaridade weberniana.

Portanto, interessava-nos aqui compreender se os resultados dos cálculos de tensão harmônica descreveriam de forma eficiente os diferentes espaços harmônicos obtidos com as distorções dos eixos das redes. As lógicas de transformação dos eixos para intervalos mais dissonantes gerariam conteúdos harmônicos mais ou menos dissonantes quando analisados com o algoritmo de cálculo de tensão harmônica?

As transformações propostas por Pousseur para o canto *We Shall Overcome* (confira figura 1.13) apresentaram o nível de tensão harmônica tal qual o que se encontra na figura 3.14.

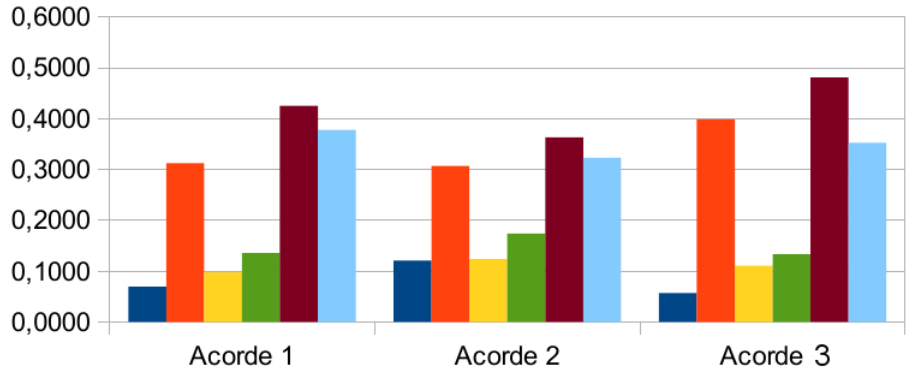


Figura 3.14: Tensão harmônica das sequências de acordes do exemplo de redes harmônicas de Pousseur

O gráfico apresenta três conjuntos de dados. Cada grupo demonstra como um acorde varia sua tensão harmônica dependendo do tipo de distorção ao qual foram submetidos os eixos das redes harmônicas. Temos então, no primeiro conjunto, os níveis de tensão harmônica do acorde 1, primeiro na sua versão original e depois em cada uma das cinco resultantes das redes transformadas. O segundo bloco apresenta o mesmo processo para o acorde 2, e o terceiro bloco o mesmo para o acorde 3.

Todos os processos de transformação resultaram em algum aumento de tensão em relação ao acorde original, mas a primeira transformação, à Quarta e à Quinta, apresentaram um acréscimo de tensão muito mais expressivo que as demais. Para compreendermos o que ocorreu, vejamos quais as transformações de eixo efetuadas por Pousseur.

Como podemos verificar na tabela acima, a rede original é constituída pelos eixos de Quinta Justa, Oitava Justa e Terça Maior. A primeira transformação modifica o eixo de Oitava Justa

redes	eixos
original	5J, 8J e 3M
transformada 1	5J, 7M e 3M
transformada 2	6M, 8J, 3M
transformada 3	5J, 8J, 4J
transformada 4	6M, 7M, 3M
transformada 5	7M, 9M, 5dim

Tabela 3.2: Tabela de configuração das redes harmônicas do exemplo de Pousseur

para uma Sétima Maior. Na segunda transformação, o eixo de Quinta Justa foi distorcido para uma Sexta Maior. Na terceira, o eixo de Terça Maior torna-se uma Quarta Justa. Na quarta transformação, temos duas mudanças: o eixo de Oitava Justa passa à Sétima Maior e o eixo de Quinta Justa passa a ser uma Sexta Maior. Por fim, a última transformação modifica todos os eixos: a Oitava Justa torna-se Nona Maior, a Quinta Justa é alargada para uma Sétima Maior, e a Terça Maior torna-se Trítono.

Ao avaliarmos tais configurações, podemos perceber que em todos os processos de transformação que há a presença do intervalo de Sétima Maior, o aumento da tensão harmônica foi bem mais expressivo. Já nas configurações em que os eixos são representados por intervalos mais consonantes, tivemos um aumento de tensão harmônica mais tímido; caso das transformações 2 e 3, nas quais as redes foram configuradas com eixos em 8J, 6M e 3M e 8J, 5J e 4J, respectivamente.

É evidente o papel desempenhado pelo intervalo de Sétima Maior, inversão da Segunda Menor, no aumento da tensão harmônica — com todo seu potencial polarizador. Uma transformação que contivesse um eixo em Segunda Menor deveria produzir o mesmo tipo de efeito e a análise efetuada através do cálculo de tensão harmônica deveria demonstrar resultado similar. Ao definirmos a rede transformadora com os eixos em Quinta Justa, Oitava Justa e Segunda Menor, obtivemos também um aumento expressivo de tensão harmônica nos acordes resultantes, como podemos perceber na figura 3.15.

As definições do exemplo de Pousseur prestam-se a interessantes considerações. O procedimento que realizou buscou primeiro representar um conjunto de acordes fortemente tonais em

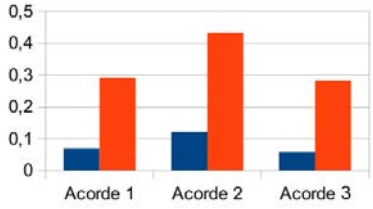


Figura 3.15: Comparação do nível de tensão harmônica entre os acordes originais e transformados pela rede com eixos em 5J, 8J e 2m.

um espaço sistematicamente tonal: com eixos em 5J, 8J e 3M. Portanto, a localização das notas originais nessa rede inicial seria a mais próxima possível do centro, o que demonstra como a rede pode representar muito fielmente um determinado espaço harmônico. As transformações subsequentes acarretaram um processo de adensamento ou complexificação das estruturas iniciais. A partir disso, passamos a nos perguntar se o processo inverso poderia ser feito. Será que um conjunto harmônico com alto grau de tensão poderia ser estabilizado por algum tipo de transformação dos eixos da rede?

Para testar tal hipótese, realizamos uma análise das tensões harmônicas de diversos arquétipos harmônicos apresentados por Menezes em seu Apoteose de Schoenberg (MENEZES, 2002, p. 319) (Cf. figura 3.16) e utilizados na composição TransFormantes I (1983), os quais denominou por arquétipos Wagner, Berg, blues, diminuto, Mahler, Schoenberg, Berg/Stockhausen, Stravinsky/Pousseur, Debussy, entre outros, no intuito de localizar qual deles apresentava o maior nível de tensão harmônica.

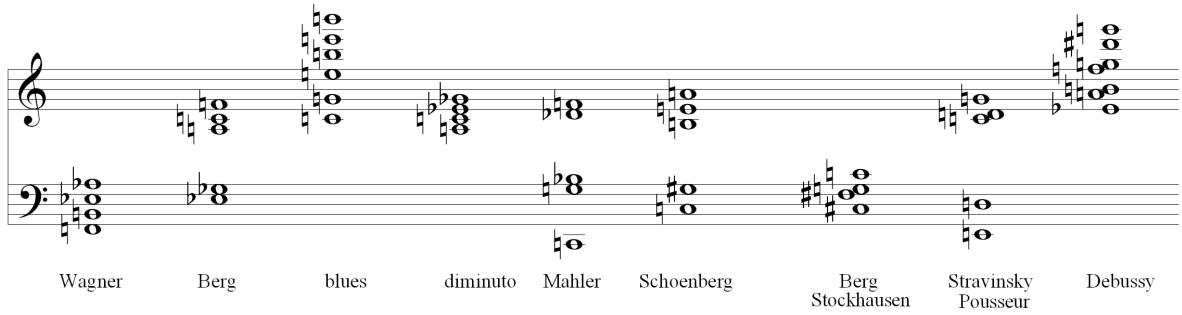


Figura 3.16: Arquétipos harmônicos testados. Extraído de Menezes (2002), p. 319.

Um dos que apresentou o maior nível de tensão harmônica foi o arquétipo Berg/Stockhausen e a partir dele passamos a diversos testes.

O primeiro foi o de verificar o que ocorria se realizássemos as mesmas transformações que Pousseur efetuou no exemplo acima. Ou seja, localizar o arquétipo na rede original e depois transformá-lo de acordo com as cinco distorções propostas por Pousseur. O resultado obtido pode ser verificado na figura 3.17.

Figura 3.17: Tensão harmônica do arquétipo Berg em cinco configurações de redes harmônicas.

O resultado não nos pareceu muito consistente. Os aumentos e diminuições de tensão harmônica não parecem apresentar qualquer tipo de lógica associada às escolhas dos eixos das redes. O fato a considerar foi que neste teste o arquétipo Berg foi localizado na rede inicial de características estruturais fortemente tonais. Os eixos em 5J, 8J e 3M, como já vimos acima, são muito propícios para representar entidades que tenham em si estruturas tonais. Ao localizar um arquétipo com um alto nível de complexidade nessa rede, como o de Berg, localizaremos as notas em posições mais distantes do centro. Podemos inferir que as posições onde foram localizadas as notas do arquétipo Berg no espaço de representação mais tipicamente tonal, como a configuração inicial faz emergir, são as formas como um espaço tonal se relacionaria com tal entidade harmônica. As notas estariam mais distantes do centro, em relacionamentos mais secundários ou mais indiretos em relação a tal centro. A partir disso, buscamos a configuração de rede que melhor representaria o espaço harmônico para acomodar as notas do arquétipo Berg. Então verificamos que uma rede com centro em Dó♯3, a "fundamental" do arquétipo, com eixos em Trítono, Sétima Maior e Quarta Justa ofereceria todas as notas do arquétipo já nas primeiras posições a partir do centro. Prosseguindo, realizamos as mesmas transformações de eixos do exemplo de Pousseur tendo como original a configuração aqui apresentada, e incluímos a rede original do teste anterior (rede com maior tendência tonal formada pelos intervalos de 5J, 8J e 3M) como última transformação a ser testada. Os resultados obtidos estão demonstrados na figura 3.18.

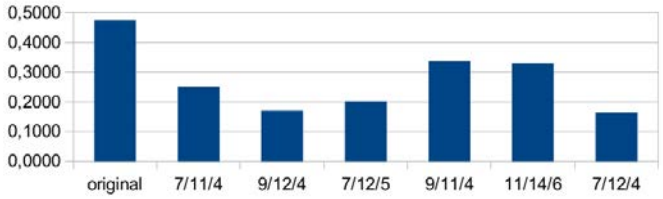


Figura 3.18: Tensão harmônica do arquétipo Berg com rede inicial modificada

Os resultados neste teste foram muito mais consistentes e praticamente representam o inverso do teste com os acordes tonais do exemplo de Pousseur. Enquanto naquele tínhamos como ponto de partida um grupo de entidades tonais representadas em uma rede fortemente tonal — verificamos um aumento expressivo de tensão nas redes que tinham dissonâncias, como a Segunda Menor e a Sétima Maior, em seus eixos —, neste teste, partindo de uma entidade com alto grau de tensão representada em uma rede com estrutura também formada por eixos mais dissonantes, verificamos uma diminuição de tensão em todas as transformações, principalmente naquelas em que os eixos são mais consonantes.

A partir da própria lógica estrutural das redes e de seus processos de transformação, podemos estabelecer algumas regras básicas de funcionamento que serão de grande utilidade quando abordarmos mais diretamente a utilização das redes nas obras em tempo-real.

- Para que haja uma direcionalidade de aumento ou diminuição de tensão, as entidades iniciais devem ser representadas em um espaço harmônico de rede que melhor descreva a entidade inicial, ou seja, as notas da entidade devem estar localizadas o mais perto possível do centro da rede, de preferência tendo grande parte de seus intervalos constitutivos como eixos da rede;

- Se a entidade estiver “bem localizada” na rede inicial e for uma entidade mais estável, as transformações de eixos mais dissonantes, em especial as redes transformadoras que contiverem em seus eixos os intervalos de Segunda Menor ou Sétima Maior, gerarão entidades harmônicas mais tensas que a original;

- Se a entidade inicial for mais tensa ou instável e estiver “bem localizada” em sua rede original, as transformações mais consonantes, ou seja, redes que contiverem intervalos mais

consonantes em seus eixos, gerarão entidades harmônicas menos tensas que o original e portanto mais estáveis.

Fica aqui evidente o alto potencial que as redes harmônicas de Pousseur têm para a geração de materiais harmônicos e melódicos para a composição musical. A própria lógica de construção das redes harmônicas, que verificamos no trabalho de Pousseur, obedece a um padrão fortemente relacionado com as teorias acústicas de polarização, o que acarreta uma sólida representação de espaços acústicos diversos, cada um com suas lógicas internas. Além das já conhecidas propriedades de manutenção de perfil melódico que as redes apresentam, a possibilidade de controle da tensão harmônica que elas demonstram pode ser um interessante recurso composicional que visa construir uma metagramática de relacionamento de formas diferentes de organização de alturas, ora tonais, ora hexatônicas, ora não tonais, como desejava Pousseur. Além disso, a compreensão do nível de tensão harmônica das entidades resultantes da rede configura-se como interessante ferramenta de controle das redes para uso em tempo real.

No próximo capítulo demonstraremos, a partir de casos práticos, como as redes e o cálculo de tensão podem ser utilizados na composição em tempo real.

4 *Utilização das Redes Harmônicas de Pousseur na música em tempo real*

Os diversos exemplos de aplicação das redes harmônicas de Pousseur apresentados neste capítulo são retirados da minha obra para violoncelo e eletrônica em tempo real intitulada *Traverser le réseau*, uma direta homenagem a Henri Pousseur. A obra baseia-se, entre outras coisas, em processos eletroacústicos já explorados em outras duas composições, a saber: *Mutazione* para violão e eletrônica em tempo real de 2008 e *O resto no copo* para contrabaixo e eletrônica em tempo real de 2010. A primeira é anterior ao desenvolvimento deste texto e a segunda foi composta durante o início do processo de doutoramento. Com esta última, fui, com grande honra, agraciado com o prêmio Funarte de Composição Clássica (2010).

Tanto em *Mutazione* quanto em *O resto no copo*, busquei maneiras de obter elementos da performance instrumental que pudessem interferir nas estruturas eletroacústicas geradas em tempo real, logicamente inspirado pela *théorie des verrous* de Manoury. Além disso, investigava processos composicionais nos quais a interferência ocorresse nas duas direções: tanto do instrumento para a eletrônica, quanto da eletrônica para o instrumentista.

No trecho inicial de *Mutazione* (figura 4.1), paralelamente à escritura instrumental, é gerada eletronicamente uma camada harmônica formada pelas mesmas notas que compõem a entidade inicial da peça. Tal camada é constituída de diversos processos de síntese que, por sua vez, estão associados à amplitude detectada da dimensão instrumental. Pretendi nessa peça investigar formas de relacionar, ainda que metaforicamente, a dimensão eletroacústica ao gestual do instrumentista, partindo do parâmetro da dinâmica, uma vez que, geralmente, o instrumentista necessita de gestos mais amplos e enérgicos para executar dinâmicas mais fortes e gestos mais

contidos e calmos para dinâmicas mais delicadas. A peça toda desenvolve-se nesse sentido, buscando transformar, "mutar", gestuais instrumentais em texturas, mais densas ou menos densas, mais tensas ou menos tensas, na parte eletroacústica.

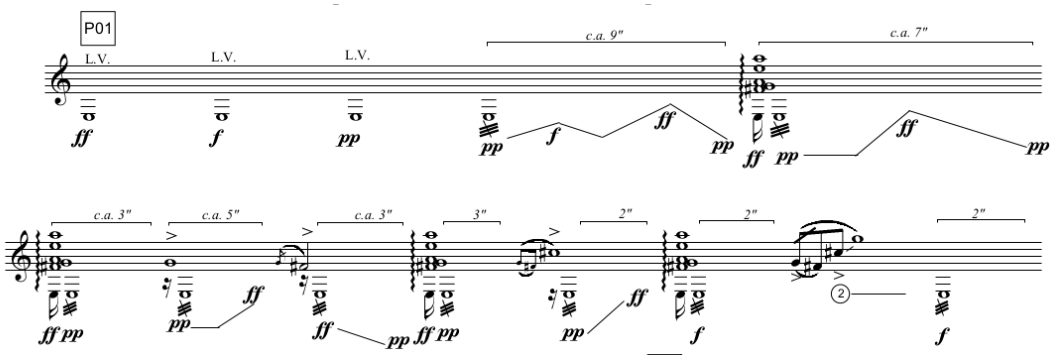


Figura 4.1: Trecho inicial da obra *Mutazione* para violão e eletrônica em tempo real

Os acordes gerados eletronicamente variam de duas formas básicas: quanto às alturas que o compõem e quanto à sua constituição espectral.

No que se refere às alturas, os acordes terão uma quantidade maior ou menor de notas, diretamente proporcional à dinâmica captada. Além disso, a distribuição ao longo da tessitura também varia de forma proporcional à dinâmica: quanto mais forte a dinâmica captada, mais o acorde se espalhará ao longo do registro e, quanto menor a dinâmica, mais cerrada torna-se a posição do acorde, além de se direcionar ao registro agudo. No exemplo 4.2, podemos ver três casos de acordes gerados em tempo real. O primeiro podendo ocorrer em dinâmicas *ff*, o segundo em dinâmicas médias (*mf* e *mp*) e o terceiro em dinâmicas *pp*. A quantidade total de notas e a distribuição exata no registro poderá variar sutilmente, já que há parâmetros aleatórios que interferem em tais características.

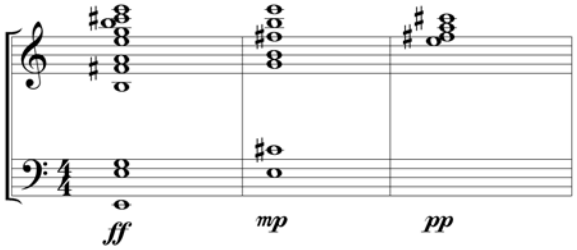


Figura 4.2: Exemplo de acordes gerados em tempo real nos quais a quantidade de notas e a distribuição no registro estão associados à dinâmica instrumental captada em tempo real.

No que se refere ao conteúdo espectral dos acordes, diversos parâmetros do sintetizador es-

tão ligados à dinâmica instrumental. Os acordes são gerados por síntese subtrativa[1] associando um banco de filtros Passa-Banda[2] a um gerador de ruído-branco. Por sua vez, a largura de banda do filtro está associada a um oscilador de baixa frequência, que resultará em um tipo de vibrato nas frequências geradas. Tanto a largura da banda, quanto a velocidade do oscilador de baixa frequência estão associados de forma proporcional à dinâmica proveniente do instrumentista. Quanto maior a dinâmica captada, maior será a largura da banda do filtro, bem como maior será a velocidade do vibrato, aumentando consideravelmente a aspereza do timbre proveniente do ruído branco filtrado e, assim, ampliando sua complexidade espectral.

Já em *O resto no copo* as associações entre o instrumentista e a dimensão eletroacústica são estendidas para além da dinâmica instrumental. De forma semelhante ao que ocorre em *Mutazione*, na primeira seção da peça os acordes também serão gerados recebendo influências da dinâmica instrumental. Porém, a detecção de determinadas frequências é responsável pelo disparo dos acordes da dimensão eletroacústica.

Na quinta seção da peça, todo o trecho do contrabaixo é re-sintetizado com modificações nas alturas, realizando uma permutação das notas da entidade harmônica, de forma a construir uma camada polifônica estruturada a partir das próprias notas da entidade do trecho (confira a figura 4.3). As permutações são construídas de modo a polarizar a nota principal da entidade (E♭) e desestabilizar as demais.

Tais procedimentos desenvolvidos em *Mutazione* e em *O resto no copo* inspiraram e prepararam, em grande parte, as investigações realizadas nesse texto. As manipulações harmônicas realizadas nessas duas obras ainda pareciam ocorrer, de certa forma, rígidas demais se comparadas às possibilidades de interação que a escritura em tempo real permitia e, nesse sentido, é que dedicamos nossos esforços. Como fazer com que o dado harmônico e, portanto, estruturas mais profundas da obra fossem influenciadas pela dimensão instrumental? As redes harmônicas

[1] Nesta primeira seção, início da peça, utilizei tanto procedimentos de síntese subtrativa quanto de síntese aditiva como uma metáfora à própria história da música eletroacústica em seu início. Os eventos sonoros gerados por síntese aditiva também são influenciados por características extraídas da parte instrumental, mas não os abordamos aqui por considerar que os exemplos apresentados são suficientes para suportar a argumentação realizada neste capítulo

[2] O filtro passa-banda ou passa-faixa é um dispositivo que permite a passagem de uma faixa de frequências determinada e rejeita ou atenua as frequências restantes.

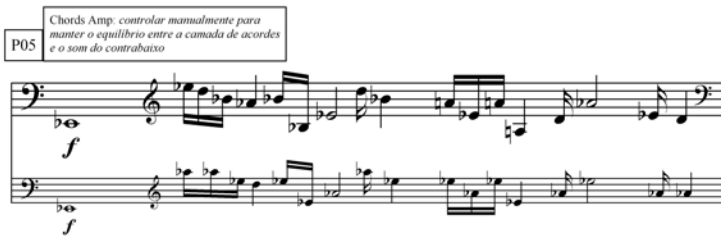



Figura 4.3: Sessão 5 de *O resto no Copo* para contrabaixo e eletrônica em tempo real. Demonstração da camada polifônica gerada em tempo real a partir da parte do contrabaixo. A parte original do contrabaixo está na primeira pauta do sistema e a transcrição aproximada da parte eletroacústica está na segunda pauta do sistema.

de Pousseur pareceram uma interessante ferramenta nesse sentido.

A obra *Traverser le réseau* pretendeu explorar ao máximo as funcionalidades das redes harmônicas de Pousseur aplicadas à música em tempo real. A obra parte de um acorde extraído da *Sagração da Primavera* de Stravinsky (confira figura 4.4), do movimento *Rondes Printanières*. O acorde escolhido, que na nossa obra foi utilizado transposto uma Terça Maior abaixo para melhor se acomodar à tessitura do violoncelo, sobrepõe politonalmente um acorde de Fá Maior a um acorde de Lá bemol Menor. A escolha desse acorde de Stravinsky como ponto de partida da peça foi inspirada pela ideias de Pousseur. Se Pousseur intentou fazer rimar dois extremos que iam do tonal ao multipolar weberniano, o universo politonal stravinskiano poderia, como Pousseur mesmo parece acreditar, caracterizar o meio desse caminho e em *Traverser le réseau*, tal acorde configura-se como pilar central da obra.

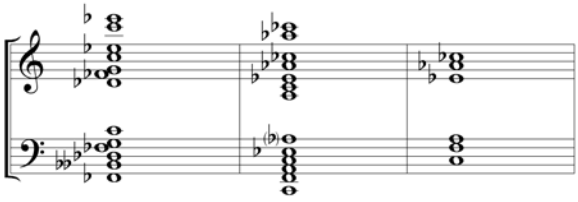


Figura 4.4: Acorde extraído do movimento *Rondes printanières* da Sagração da Primavera de Igor Stravinsky; transposição utilizada na peça *Traverser le réseau* e acorde reduzido aos seus constituintes básicos.

O primeiro passo foi o de investigar qual a rede harmônica que melhor representaria o acorde stravinskiano. Uma rede com centro em Dó e eixos em Sexta Maior, Oitava e Quarta Justa pareceu ser a mais eficiente. (confira figura 4.5).

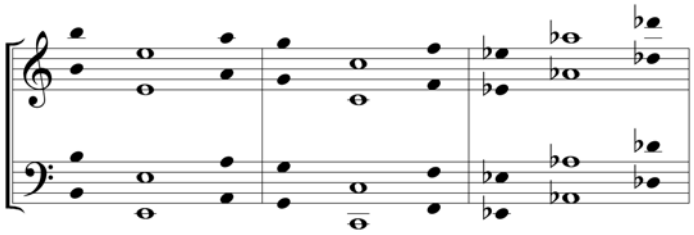


Figura 4.5: Rede Harmonica de Pousseur com centro de Dó e eixos sexta menor, oitava justa, quarta justa.

Posteriormente, utilizando tanto as redes harmônicas implementadas em SuperCollider quanto o método de cálculo de tensão harmônica, passamos a investigar quais seriam as transformações das redes harmônicas que resultassem em um conjunto harmônico fortemente estável, de pouca tensão harmônica e um outro de forte instabilidade ou forte grau de tensão harmônica. Obtivemos dois outros conjuntos harmônicos que estabelecem os extremos harmônicos razoavelmente equidistantes ao acorde stravinskiano. Na figura 4.6, podemos verificar os conjuntos harmônicos provenientes das três redes harmônicas.

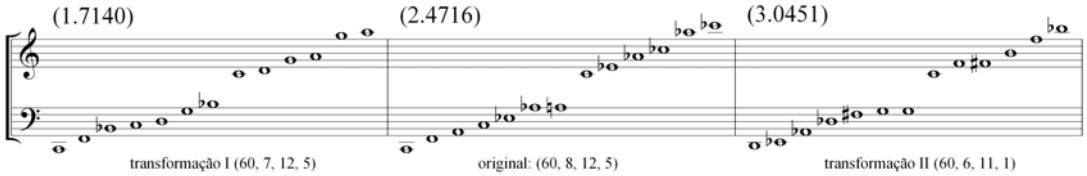


Figura 4.6: Resultado da transformação da entidade principal da peça através das manipulações das redes harmônicas de Pousseur. Ao centro, temos a entidade original. Nas pontas, as transformações realizadas utilizando as redes tal qual a configuração indicada abaixo da pauta. Os valores acima indicam o grau de tensão harmônica geral de cada coleção, obtido pelo cálculo de tensão harmônica discutido anteriormente.

Podemos perceber que o primeiro conjunto de notas (transformação I) tem forte tendência tonal. Já o último conjunto de notas (transformação II) aproxima-se do total cromático, exceto pela ausência das notas Mi e Lá. Toda a peça foi elaborada, especialmente a escritura instrumental, a partir desses três conjuntos harmônicos que demarcam o começo, o meio e o fim do caminho harmônico que pretendíamos fazer rimar à maneira de Pousseur.

A primeira seção (confira figura 4.7) elabora a ideia de bitonalidade da entidade principal. O trecho instrumental foi elaborado na forma de uma passagem gradual cruzada de uma região harmônica à outra, associando cada uma das regiões (Fá Maior e Lá bemol Menor) a um tipo

de modo de produção de som e a uma dinâmica. O universo harmônico do Lá bemol Menor está relacionado ao *pizzicato* com dinâmicas mais delicadas, enquanto o de Fá Maior está relacionado ao uso do *arco* com dinâmicas fortes. Ao decorrer do trecho, os dois universos se sobrepõem e se cruzam, invertendo tanto o modo de produção de som, quanto o plano dinâmico geral. Neste trecho, teremos, paralelamente à escritura instrumental, o primeiro exemplo de uso das redes harmônicas de Pousseur em tempo real. A camada eletroacústica irá produzir um conjunto harmônico, formado pelas notas geradas pela rede harmônica principal da peça, que será influenciado pela dinâmica captada da dimensão instrumental, tanto em seu aspecto métrico, quanto em seu aspecto espacial.

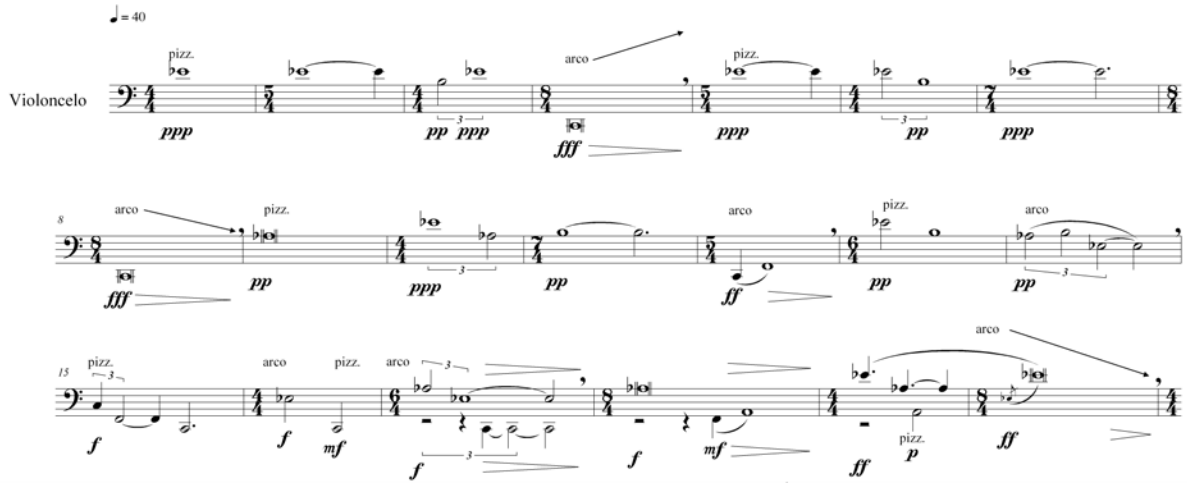



Figura 4.7: Trecho inicial da peça *Traverser le réseau* (2013)

Na figura 4.8, podemos verificar a partitura da camada harmônica gerada em tempo real. É possível perceber que a densidade geral do trecho, no que se refere à quantidade de notas temporalmente mais próximas e simultâneas, aumenta quando o instrumentista executa as dinâmicas mais fortes. Os trechos marcados em vermelho (final do primeiro sistema, início do segundo sistema e final do último sistema) ocorrem ligeiramente após os trechos em *ff* da parte instrumental. Quando as dinâmicas são mais delicadas (*pp* e *p*), a densidade da camada harmônica é muito menor. Deve-se ressaltar que a transcrição apresentada na figura 4.8 não representa os envelopes dinâmicos, nem a posição e a movimentação das notas no espaço, fatores também importantes para a estrutura da obra e influenciados pela ação instrumental.

Sobrepostos a essa camada harmônica razoavelmente contínua, outros objetos sonoros são

Figura 4.8: Camada harmônica gerada pela escritura em tempo real a partir da relação das redes harmônicas de Pousseur com os dados da dinâmica obtidas da escritura instrumental.

gerados e, por sua vez, também são influenciados pela dinâmica instrumental. Um conjunto de sensores obtém as dinâmicas do instrumentista, as frequências das notas que ele executa e o ataque de cada nota do violoncelo. Quando o computador detectar um ataque, ele enviará aos sintetizadores as informações de dinâmica e frequência da nota tocada pelo violoncelista. A informação dinâmica será dividida em 11 faixas correspondentes às dinâmicas grafadas na partitura, que vão, aproximadamente, do *ppp* ao *fff*. Uma das três redes harmônicas principais da peça será associada a cada um desses patamares dinâmicos. Aos quatro primeiros patamares dinâmicos está associada a rede de maior tendência tonal, portanto a de menor tensão harmônica. Aos quatro patamares intermediários está associada a rede harmônica original e, aos três últimos patamares, está associada a rede harmônica mais tensa. Por sua vez, a frequência da nota detectada pelo conjunto de sensores será utilizada para determinar a nota central das redes harmônicas. Após determinada a rede a ser utilizada (associada a cada um dos 11 patamares dinâmicos) e sua nota central, serão geradas, por essa rede harmônica, as notas para essa segunda camada harmônica. As durações serão determinadas de acordo com cada um dos onze patamares dinâmicos. Em dinâmicas mais delicadas serão gerados ritmos mais lentos e regulares.

Para dinâmicas mais acentuadas as notas terão durações muito mais curtas e métrica fortemente irregular. As figuras 4.9 a 4.14 apresentam alguns exemplos de frases geradas em tempo real para situações dinâmicas diversas[3].

No primeiro e segundo casos, (figuras 4.9 e 4.10), podemos conferir as frases que são geradas a partir da primeira e segunda notas da peça (confira figura 4.7). A dinâmica *ppp* será responsável pela determinação do uso da rede *transformada I* (confira figura 4.6) e pela determinação do ritmo de notas longas e regulares.

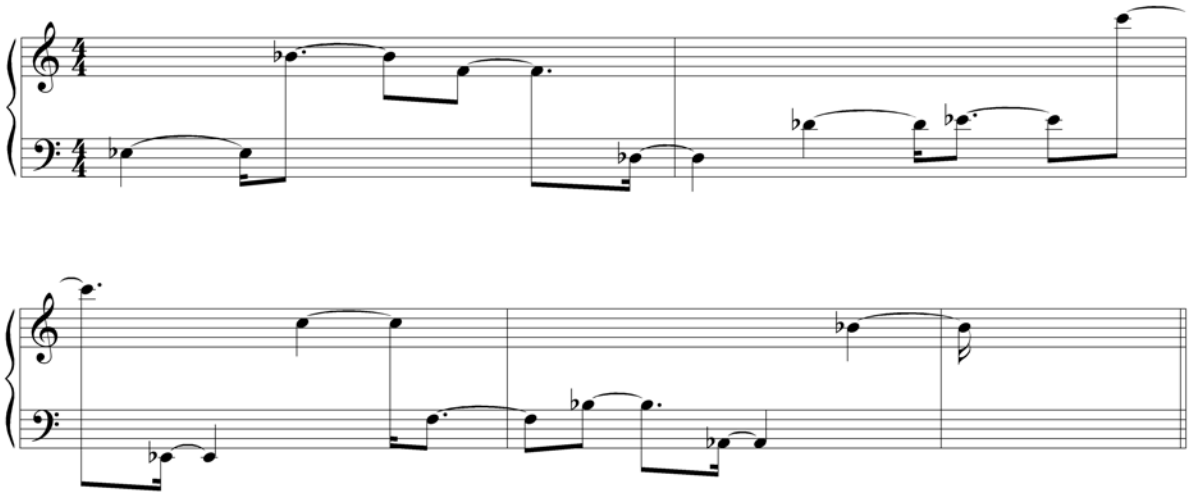



Figura 4.9: Exemplo de frase musical gerada em tempo real, utilizando as redes harmônicas de Pousseur associadas à detecção de frequência e amplitude da dimensão instrumental.

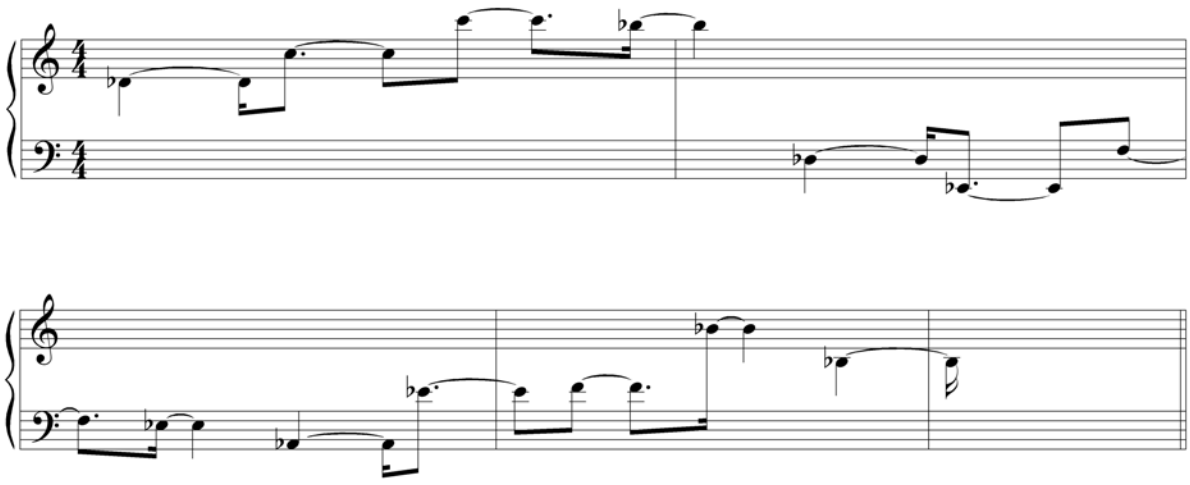



Figura 4.10: Exemplo de frase musical gerada em tempo real, utilizando as redes harmônicas de Pousseur associadas à detecção de frequência e amplitude da dimensão instrumental.

[3] As frases transcritas nos exemplos a seguir tem durações aproximadas em relação ao que acontece na camada eletroacústica em tempo real.

A terceira frase (figura 4.11) é gerada a partir da terceira nota da peça (Si♭$_3$). A dinâmica dessa nota será responsável por determinar o uso da rede harmônica *transformada I* e com durações também longas e regulares, porém um pouco menos longas que as dos exemplos anteriores.

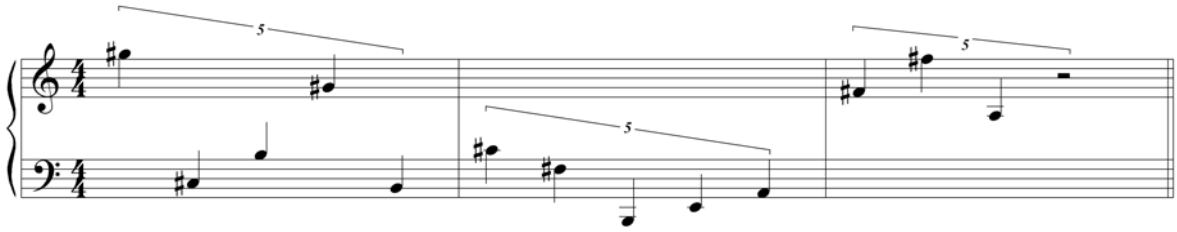



Figura 4.11: Exemplo de frase musical gerada em tempo real, utilizando as redes harmônicas de Pousseur associadas à detecção de frequência e amplitude da dimensão instrumental.

Os exemplos das figuras 4.12 e 4.13 transcrevem as frases geradas em uma dinâmica mais intermediária *(*f) e *(*mf), respectivamente. As frases foram geradas a partir das notas E♭$_3$ e Dó$_2$ (compasso 16). Tais dinâmicas intermediárias são responsáveis por determinar o uso da rede harmônica *original* e pelo uso de ritmos mais rápidos e razoavelmente irregulares.

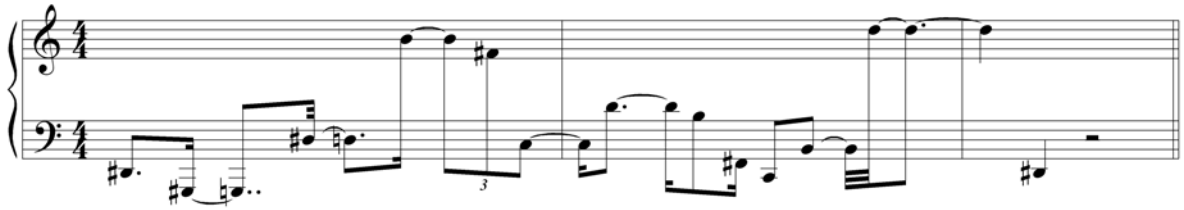



Figura 4.12: Exemplo de frase musical gerada em tempo real, utilizando as redes harmônicas de Pousseur associadas à detecção de frequência e amplitude da dimensão instrumental.

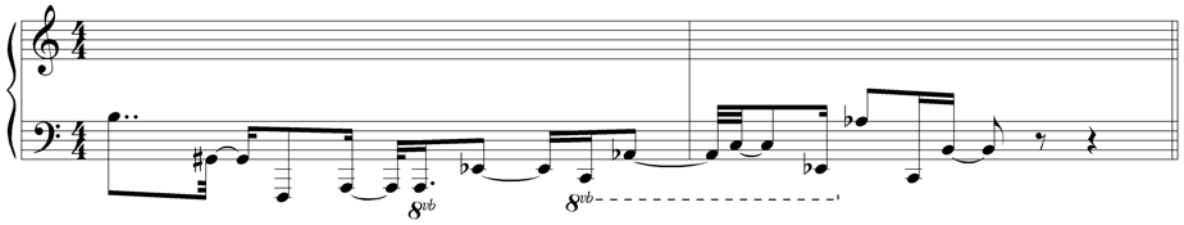



Figura 4.13: Exemplo de frase musical gerada em tempo real utilizando as redes harmônicas de Pousseur associadas à detecção de frequência e amplitude detectadas da dimensão instrumental.

O exemplo transcrito na figura 4.14 é gerado a partir da nota Dó$_2$ do compasso 4, em dinâmica *fff*. Nesses trechos de dinâmica acentuada, as notas são geradas a partir da rede *trans-*

formada II, portanto, com maior grau de tensão harmônica e com ritmos rápidos e fortemente irregulares.

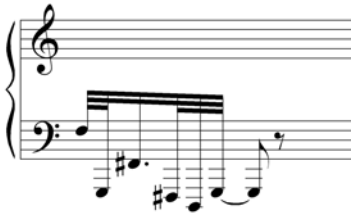



Figura 4.14: Exemplo de frase musical gerada em tempo real utilizando as redes harmônicas de Pousseur associadas à detecção de frequência e amplitude detectadas da dimensão instrumental.

Outro uso das redes harmônicas presente na peça pode ser verificado em sua segunda parte (confira figura 4.15). Uma camada polifônica é produzida através de síntese granular e, por sua vez, as frequências da síntese são geradas pelas três redes harmônicas principais da peça. Nesse trecho são detectadas as alturas tocadas pelo violoncelista e tais alturas são localizadas na rede harmônica original, para então serem projetadas nas redes harmônicas *transformadas I* e *II*. A escolha das redes nas quais serão projetadas as notas do violoncelo são determinadas por suas dinâmicas, também seccionadas em patamares, agora três e não mais onze: fraco, médio e forte. Em dinâmicas mais suaves (*pp* e *p*), as notas originais permanecem sem alteração e as mesmas frequências da parte instrumental são enviadas para o processo de síntese granular. Quando as dinâmicas são intermediárias, as notas do violoncelo são re-mapeadas na estrutura da rede harmônica *transformada I*. Por fim, as notas dinamicamente mais proeminentes são re-mapeadas na estrutura da rede harmônica *transformada II*. Os controles de quantidade de grãos e de densidade da distribuição temporal dos grãos também são determinados de acordo com os três patamares dinâmicos. No primeiro, mais fraco ou *piano*, é gerada grande quantidade de grãos, de modo que a sonoridade geral tenda a um som praticamente contínuo. Em dinâmicas mais fortes, a quantidade de grãos diminui gradativamente e a densidade da distribuição temporal também diminui, gerando grãos ritmicamente mais irregulares. O envelope geral dos grãos também se modifica gradativamente de um envelope senoidal a um envelope mais percussivo.

Na figura 4.15, podemos ver as notas que são geradas pelas redes harmônicas transcritas na pauta inferior da partitura. Acima de cada conjunto de notas estão identificadas as redes que

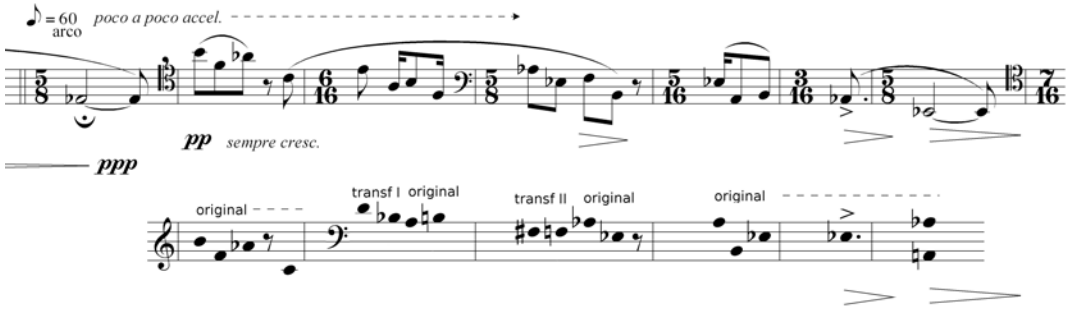


Figura 4.15: Segunda parte de *Traverser le réseau*.

deram origem a elas.

Na terceira parte da peça, as redes foram utilizadas de outra forma, como um tipo de síntese espectral gerando uma massa sonora muito mais complexa e concentrada temporalmente. Nesse processo eletroacústico, a associação entre a tensão harmônica e a dinâmica é a mais próxima na peça inteira. Criamos um *array* de dados contendo a projeção da rede original em redes transformadas com todas as combinações de eixos possíveis (da segunda menor à oitava). Tais conjuntos de notas são ordenados sequencialmente utilizando o cálculo de tensão harmônica, do menos tenso ao mais tenso. Assim, os conjuntos de notas provenientes das redes harmônicas são categorizados na forma de uma gradação de tensão. A partir desse *array* ordenado, podemos criar uma associação direta com a variação dinâmica obtida do violoncelista e sintetizar a massa harmônica, construindo um objeto sonoro fortemente variado e de grande densidade. O processo eletroacústico capta, a uma taxa de 4 vezes por segundo, a dinâmica instrumental. Tal valor dinâmico é utilizado para recuperar o conjunto harmônico em uma posição proporcionalmente equivalente do *array* ordenado. A figura 4.16 apresenta uma visão esquemática do relacionamento das redes harmônicas, do cálculo de tensão harmônica e da variação dinâmica instrumental. Por sua vez, na figura 4.17, podemos verificar quais as notas são utilizadas no processo de síntese, provenientes das redes harmônicas ordenadas através do cálculo de tensão harmônica.

A linha central da figura 4.17 refere-se ao valor resultante do cálculo de tensão harmônica do conjunto de notas proveniente das redes harmônicas. As pequenas variações da curva de tensão harmônica são decorrentes do ponto exato em que a dinâmica é extraída do instrumento.

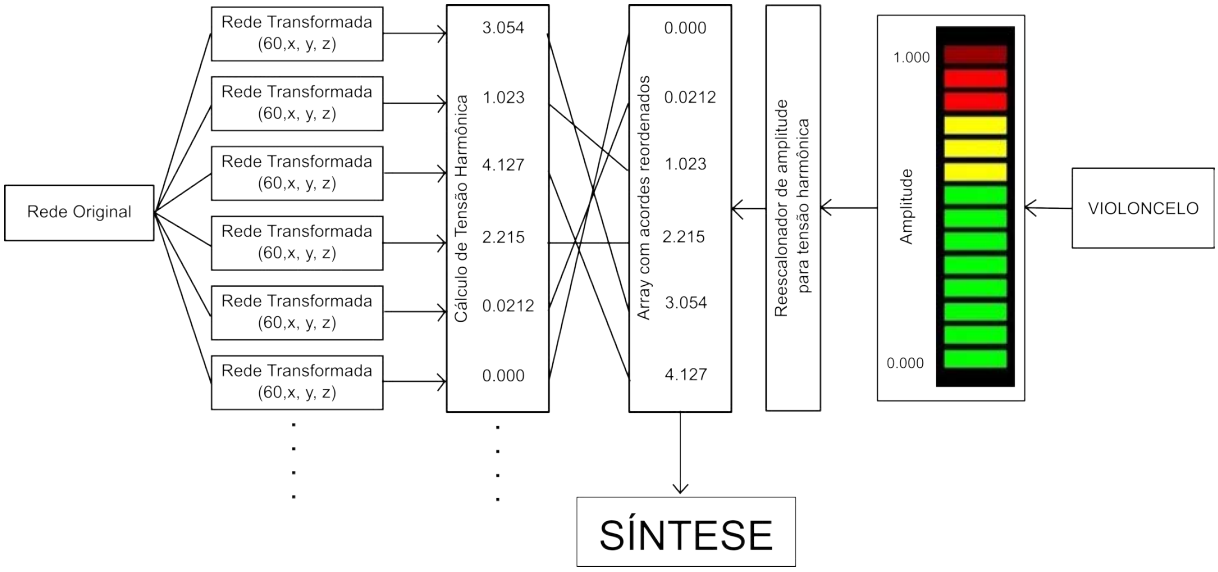


Figura 4.16: Representação esquemática do uso das Redes Harmônicas em conjunto com o cálculo de tensão harmônica.

Pequenas variações de amplitude, muitas vezes associadas ao vibrato instrumental, geram tal curva menos linear se comparada com a representação da forma de onda da primeira parte da figura. Podemos perceber que o conteúdo harmônico parte de um conjunto com alto grau de tensão harmônica (acordes com forte tendência cromática) para um conjunto harmônico muito mais estável. A diminuição da quantidade de notas ocorre devido a eliminação das repetições realizadas no processo de síntese.

Um outro exemplo do uso das redes harmônicas em tempo real pode ser verificado na quinta seção da peça. O trecho apresenta um acentuado caráter de improvisação. Nesse trecho, pede-se que o instrumentista improvise a partir das notas que o computador lhe oferecer. As dinâmicas não estão estabelecidas na partitura e, portanto, o instrumentista tem liberdade para escolher o perfil dinâmico que pretende realizar (confira figura 4.18). Suas escolhas irão interferir diretamente nas notas que o computador gerará para os trechos de improviso. As notas que o computador calcula são obtidas através das redes harmônicas e são localizadas na mesma tabela de redes hierarquizadas, utilizada na seção discutida acima.

Nas figuras 4.19 a 4.22 estão reproduzidas as telas do software que o instrumentista verá ao tocar o trecho da figura 4.18[4].

[4]O SuperCollider, por ser uma linguagem de programação não visual, não tem suporte à notação musical. As telas visualizadas nas figuras 4.19 a 4.22 são criadas a partir de uma extensão para SuperCollider, escrita por este

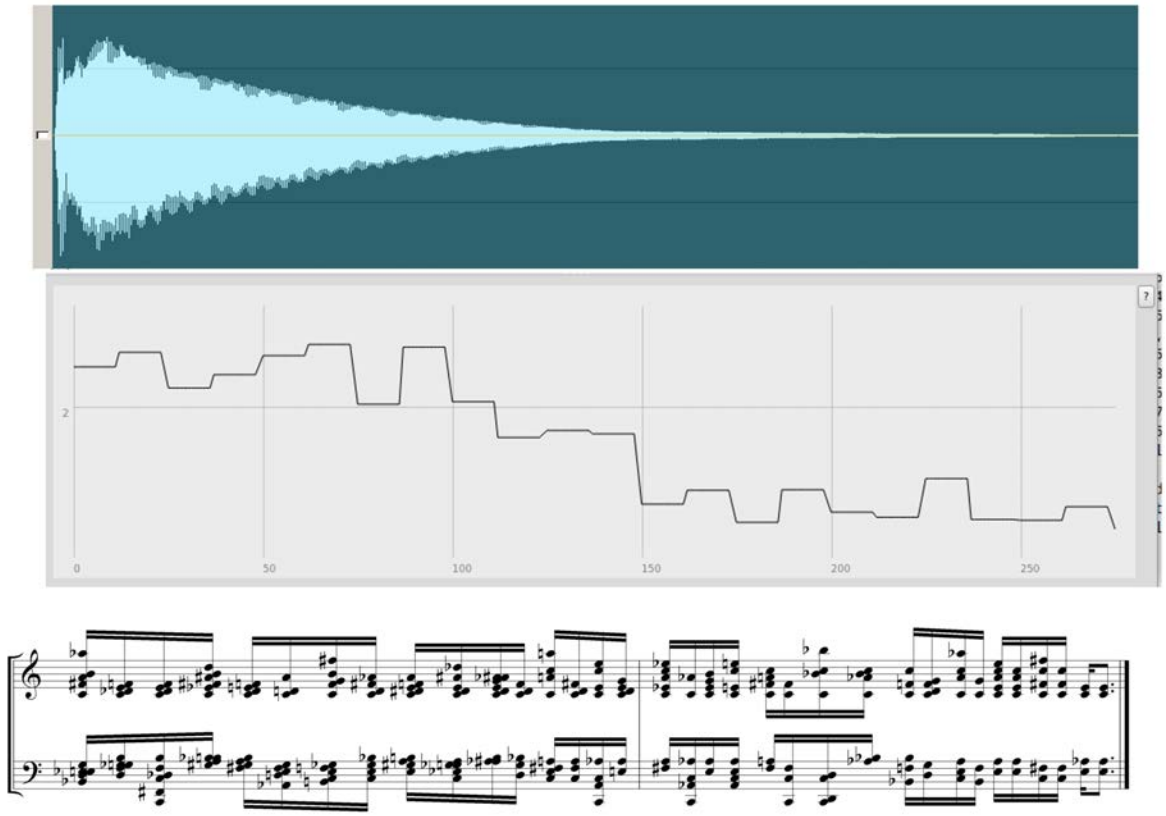


Figura 4.17: Relacionamento entre dinâmica instrumental e redes harmônicas ordenadas a partir do cálculo de tensão harmônica

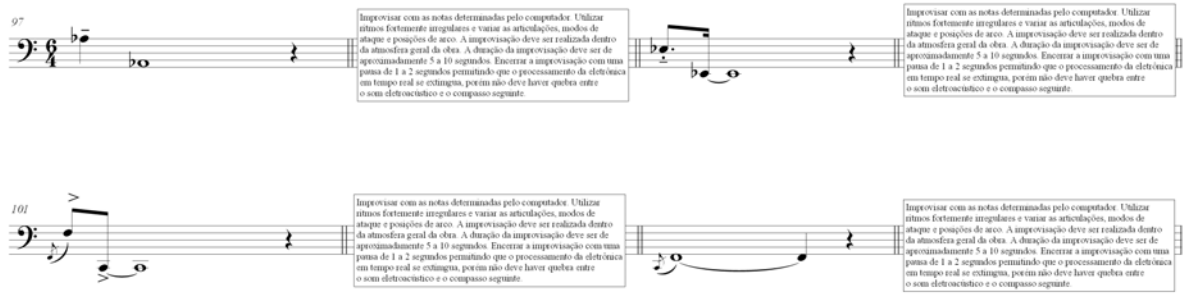



Figura 4.18: Trecho de improvisação em *Traverser le réseau*

Se o instrumentista decidir tocar um dos trechos em dinâmica *ppp* o computador irá escolher as notas, utilizando as redes harmônicas, tal qual a figura 4.19.

Se a dinâmica instrumental equivaler a um *fff* a rede harmônica resulta o conjunto de notas

autor, que faz a comunicação entre o SuperCollider e o módulo de notação gráfica e musical InScore, criado pelos músicos e pesquisadores do Centre National de Création Musicale de Lyon. Para mais informações sobre o InScore consultar: http://inscore.sourceforge.net/ e Fober et al. (2010).

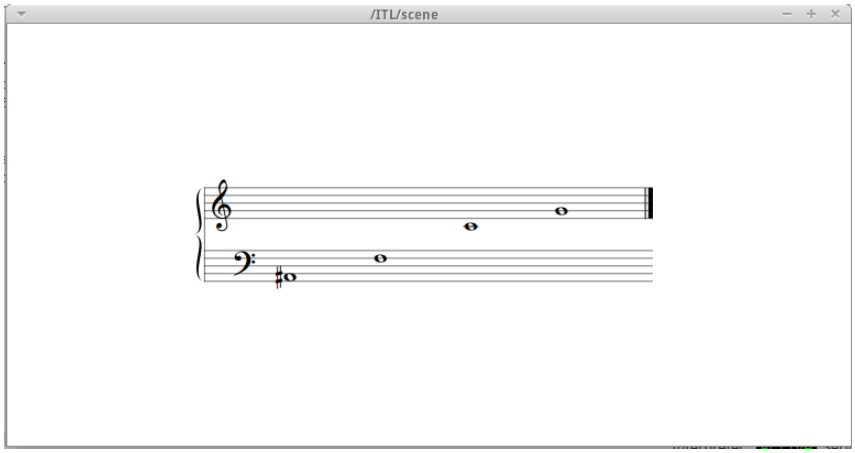


Figura 4.19: Tela da aplicação em SuperCollider para o trecho de improvisação de *Traverser le réseau*.

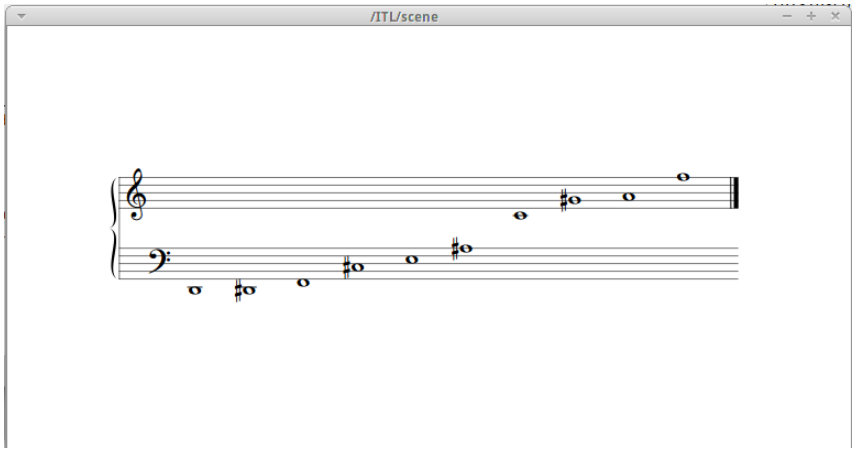


Figura 4.20: Tela da aplicação em SuperCollider para o trecho de improvisação de *Traverser le réseau*.

tal qual a figura 4.20.

A figura 4.21 apresenta o conjunto de notas resultantes da captação de uma dinâmica intermediária, aproximadamente um *mp*. É interessante ressaltar que nesse exemplo o conjunto de notas proveniente das redes harmônicas expressa um espaço harmônico fortemente associada à uma escala de tons inteiros (faltando somente a nota fá♯ para completar a escala), um espaço harmônico mais intermediário entre os extremos fortemente tonais e estáveis da rede *transformada I* e fortemente cromático e instável da rede *transformada II*. Na figura 4.22, temos o conjunto de notas que é gerado a partir de uma dinâmica próxima à *mf*, também intermediária. Nesse conjunto harmônico, podemos perceber uma certa tendência politonal. Há a justaposição dos acordes de Fá Maior e Fá♯ sustenido Maior, ou ainda, uma escala de Ré menor natural (Ré, Mi, Fá, Sol, Lá, Si♭, Dó) e um trecho da escala de Ré Maior (Ré, Mi, Fá♯, Sol, Lá, Dó♯) o que

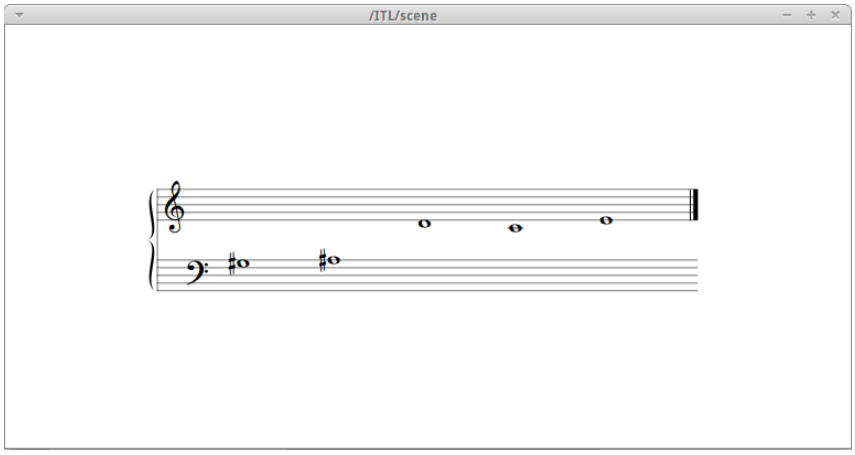


Figura 4.21: Tela da aplicação em SuperCollider para o trecho de improvisação de *Traverser le réseau*.

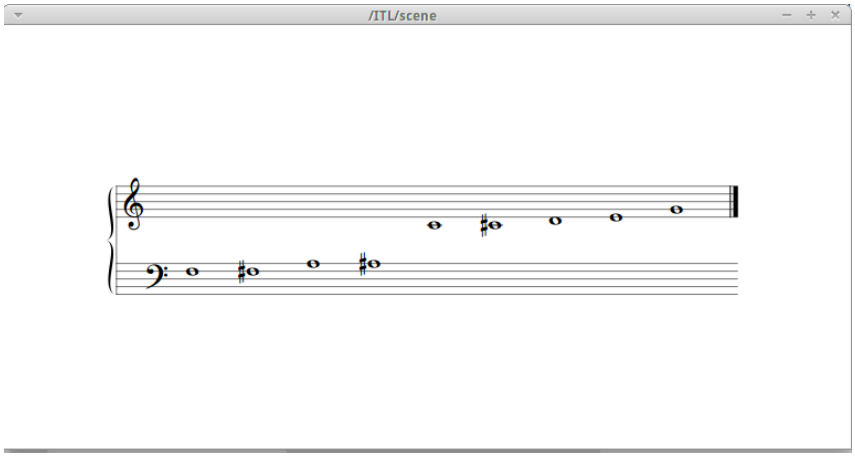


Figura 4.22: Tela da aplicação em SuperCollider para o trecho de improvisação de *Traverser le réseau*.

ocasiona uma interessante ocorrência do arquétipo Maior-Menor stravinskiano (Ré, Fá, Fá♯, Lá).

Pudemos perceber, a partir dos exemplos acima, algumas formas de integração das redes harmônicas de Pousseur em obras em tempo real. Quando as redes são hierarquizadas a partir dos cálculos de tensão harmônica, obtemos um nível de controle mais detalhado dos campos harmônicos que as redes representam. Dessa forma, pode-se operar em um nível de controle discursivo mais detalhado na geração de material harmônico em tempo real. Acreditamos que os fluxos discursivos resultantes da oposição gradativa ou direta de entidades harmônicas mais tensas ou menos tensas podem ser um interessante campo de investigação para a composição em tempo real.

5 *Conclusões ou apontamentos provisórios?*

Correndo o risco de parecer que este trecho do texto encontra-se fora da ordem no qual deveria aparecer, dedicamo-nos a um percurso um pouco mais pessoal que, ao mesmo tempo que sintetiza as ideias principais do texto, revela algumas motivações que guiaram nosso trajeto.

As relações entre o interprete e a obra e a relação entre a obra e o público, portanto, duas formas diversas ou complementares da relação entre a escritura instrumental ou eletroacústica e o *outro*, a alteridade à figura do compositor, o relacionamento com mundo que nos cerca, foram os dois aspectos que sempre instigaram minhas investigações composicionais.

Durante a formação como compositor, o contato com a *Obra Aberta* de Umberto Eco (1990) foi profundamente marcante e fez-me compreender a importância de me tornar sensível ao universo de possibilidades que se espreita entre a partitura e o interprete ou entre a interpretação e o público. Complementarmente, não podia desconsiderar o argumento de Berio que assevera que a ideia de *abertura* no processo composicional não será "audível" ou "compreensível" ao público. O público, principalmente em uma primeira audição, não perceberá, no ato da apreensão do fenômeno musical, se aquilo que ouve é ou não decorrente de um processo de escritura mais aberto ou mais fechado[1]. Manoury, como já pudemos verificar anteriormente, parece apresentar uma postura mais conciliadora e menos polarizada entre "abertura" e "fechamento" em música. Para Manoury, em especial na música eletroacústica, abertura e fechamento constituem-se como

[1]Em sua conferência *O alter Duft*, em *Remembering the future* (2006), Berio dedica-se, entre outras coisas, à discussão do conceito de Obra Aberta em música, bem como às suas derivações em conceitos como *inacabado*, *aleatório*, *indeterminado* e *acaso*. Ao considerar a posição do ouvinte frente às obras que se apoiam em tais conceitos, Berio considera que "tudo que eles [os ouvintes] ouvem pela primeira vez é invariavelmente fechado".

dois polos que demarcam o início e o fim de uma vasta gradação de possibilidades de interação entre obra e mundo. Será na relação entre a escritura instrumental e a eletroacústica que Manoury considerará os mais variados graus de abertura ou fechamento, portanto, na *interação* entre essas duas dimensões.

Dispendi, a partir da influência de Manoury, esforços na investigação das relações de interação entre instrumentista e a eletroacústica, de forma que as interferências fossem mútuas e, aproximadamente, no mesmo grau de intensidade[2]. *Mutazione* para violão e eletrônica em tempo real e, posteriormente, *O resto no copo* para contrabaixo e eletrônica em tempo real foram realizadas com tal intuito. Almejei fornecer ao instrumentista a possibilidade de interferir de forma mais profunda na dimensão eletroacústica, ao mesmo tempo em que ele dependesse dos resultados da eletrônica em tempo real para desempenhar certos aspectos de sua parte. Nessas duas obras, centrei esforços em investigar como os elementos extraídos do som instrumental pudessem ser direcionados às características específicas da escritura eletroacústica.

Como pudemos verificar durante este texto, um dos pontos mais importantes a se considerar na estruturação da música eletroacústica em tempo real é o da transformação de dados de uma natureza à outra. A captação de som, de imagem, ou de gestos, fornecerá dados, geralmente em representação numérica, que são próprios ao tipo de sensor utilizado, sendo, pois, a escolha da forma de utilizar tais dados um aspecto composicional de relevância central.

Em *O resto no copo*, aspectos da dinâmica instrumental e das frequências instrumentais são transformados e direcionados para os mais variados controles de síntese e processamento: tamanho da banda de filtros, quantidades de harmônicos em uma nota, velocidade de vibratos, entre outros. Porém, ainda me parecia que faltava explorar a interação entre o instrumento e a eletrônica de forma um pouco mais profunda. Almejava que o instrumentista pudesse estender sua "influência" ao campo das alturas, ou mais especificamente, ao dado harmônico.

Durante a discussão apresentada neste texto, pudemos esclarecer como consideramos os conceitos de altura e harmonia. A altura, como bem elucida Pousseur, não se restringe apenas a

[2]Para autores como Garnett (2001) e Scipio (2003), o próprio conceito de interação depende desse "equilíbrio" entre as dimensões envolvidas, sendo elas: instrumentistas e eletroacústica ou público e obra, por exemplo.

um simples parâmetro do som e a harmonia não pode ser considerada apenas como a dimensão vertical do agrupamento de alturas. Portanto, em *Traverser le réseau*, busquei uma forma de elaborar a peça na qual o dado harmônico pudesse receber interferências do "mundo exterior", porém, mantendo um rigor estrutural e especulativo.

Como o próprio nome da peça deixa transparecer, o pensamento de redes harmônicas de Pousseur foi central para o intuito que se pretendia. As redes harmônicas, ao serem inseridas no universo da eletrônica em tempo real, possibilitaram um nível de controle harmônico realmente instigante. O forte caráter referencial em relação à história da harmonia que as redes possuem, aliado à possibilidade de "transitar" entre os diversos espaços harmônicos históricos, foram as características que nos inspiraram a construir uma versão das redes para uso na música em tempo real. Porém, ainda restava compreender como relacionar as propriedades tão instigantes das redes harmônicas com as informações provenientes da dimensão instrumental. A viagem, ou travessia, por entre diversos espaços harmônicos que as redes permitem tinha que ser organizada de alguma forma, em algum tipo de "escala" ou gradação para que pudéssemos "acoplar" as redes harmônicas às diversas características extraídas do fluxo de informações provenientes da escritura instrumental. Nesse sentido, os argumentos de Carner, Schoenberg, Webern, Pousseur, Costère, Menezes, Helmholtz e Tenney embasaram a hipótese de que os diversos espaços harmônicos provenientes das redes pudessem ser classificados e organizados a partir do que passamos a chamar de nível de *tensão harmônica*. A despeito da arbitrariedade na determinação de quais são os intervalos musicais que comporão os eixos das redes harmônicas, pudemos perceber que diversas combinações específicas nos eixos, e transformações também específicas, geram comportamentos direcionais muito instigantes que, por sua vez, também se manifestaram como modificações "direcionais" de tensão harmônica.

Como demonstramos acima, *Traverser le réseau* tenta atravessar essa "floresta"[3] de possibilidades de relacionamento entre as redes harmônicas e o instrumentista. Tenta, visto que, sabemos haverem outras possibilidades de interação e diversos outros usos das redes harmôni-

[3]Fazemos aqui uma homenagem à *Traverser la fôret* (1987) de Henri Pousseur, peça que inspirou o título e metaforicamente a travessia pelas redes harmônicas que realizamos em *Traverser le réseau*.

cas em tempo real que podem ser investigados.

Quais seriam os resultados artísticos do relacionamento entre as redes harmônicas e a captação de outros elementos do mundo exterior como o gesto do instrumentista, sua dimensão corporal? Como seria compor obras que se utilizassem das redes harmônicas relacionadas ao corpo de um dançarino, de um ator? Como poderíamos articular obras em que as redes fossem utilizadas relacionadas a parâmetros obtidos do universo visual?

Enfim, que outras *Traverser le réseau* possam contribuir com possíveis respostas a essas perguntas.

APÊNDICE A – Códigos das Classes Pousseur e HarmonicTension para SuperCollider

A.1 Rede Harmônica de Pousseur

```
/*

This project implement for SuperCollider the Harmonics Networks developed by Henri Pousseur as described in his paper
"L'Apothéose de Rameau - Essai sur la Question Harmonique". In: Musiques Nouvelles XXI, fasc. 2-4 de la Revue
d'Esthétique, Paris: Éditions Klincksieck, 1968. p.105-72

Made by Flavio Luiz Schiavoni <  >
and Rael B. Gimenes Toffolo <rael dot gimenes at gmail dot com>

Sites com documentação de SC
http://danielnouri.org/docs/SuperColliderHelp/Help.html
http://doc.sccode.org/Help.html

Para usar esta classe é necessário primeiramente instanciar uma rede de Pousseur.
A instanciação recebe como parâmetro o centro da rede e os intervalos dos eixos a serem andados.

Exemplos de eixos são:
- 4 semitons (terça maior)
- 7 semintons (Quinta justa)
- 12 semitons (oitava justa).

Uma vez montada a rede é possível pedir para traçar o caminho para encontrar determinadas notas.
Estas notas são passadas como um array de midi.

Este caminho pode ser usado em outras redes de forma que, independentemente de seus intervalos de construção,
ela irá andar por estes caminhos e encontrar as notas no meio deles.

*/

Pousseur{

var
<>center, // Centro da rede. Uma nota Midi
<>axis1,  // Define a quantidade de semitons no primeiro eixo
<>axis2, // intervalo do segundo eixo
<>axis3, // intervalo do terceiro eixo
<>path, // Guarda o caminho dos vértices até a raiz
<>intervals; // Guarda os intervalos do caminho

// O construtor irá receber 3 parametros que sao os intervalos do primeiro, segundo e terceiro eixo

*new{  arg center, axis1, axis2, axis3;
"INIT CLASS".postln;
^super.new.init(center, axis1, axis2, axis3);
}
```

```
// Metodo de inicialização

init { arg c, x, y, z;
var queue, actualNode, nextNode;  //Guarda a fila

this.center_(c);
this.axis1_(x);
this.axis2_(y);
this.axis3_(z);
// Array de tamanho 128,128 para nossa matriz de adjacência
this.path = Array.newClear(128);
this.intervals = Array.newClear(128);
queue = Array.new(128);

queue.add(center);
path[center] = "R";
intervals[center] = "R";

{queue.size != 0}.while ({
actualNode = queue[0];
// Verifico se os filhos foram visitados e se cabem no array.

nextNode = actualNode.asInteger + this.axis1.asInteger;
if( nextNode <= 127 and: { nextNode >= 0 and: {path[nextNode] == nil} } , {
this.path[nextNode]=actualNode;
this.intervals[nextNode]='F';
queue.add(nextNode);
});

nextNode = actualNode.asInteger - this.axis1.asInteger;
if( nextNode <= 127 and: { nextNode >= 0 and: {path[nextNode] == nil} } , {
this.path[nextNode]=actualNode;
this.intervals[nextNode]='f';
queue.add(nextNode);
});

nextNode = actualNode.asInteger + this.axis2.asInteger;
if( nextNode <= 127 and: { nextNode >= 0 and: {path[nextNode] == nil} } , {
this.path[nextNode]=actualNode;
this.intervals[nextNode]='S';
queue.add(nextNode);
});

nextNode = actualNode.asInteger - this.axis2.asInteger;
if( nextNode <= 127 and: { nextNode >= 0 and: {path[nextNode] == nil} } , {
this.path[nextNode]=actualNode;
this.intervals[nextNode]='s';
queue.add(nextNode);
});

nextNode = actualNode.asInteger + this.axis3.asInteger;
if( nextNode <= 127 and: { nextNode >= 0 and: {path[nextNode] == nil} } , {
this.path[nextNode]=actualNode;
this.intervals[nextNode]='T';
queue.add(nextNode);
});

nextNode = actualNode.asInteger - this.axis3.asInteger;
if( nextNode <= 127 and: { nextNode >= 0 and: {path[nextNode] == nil} } , {
this.path[nextNode]=actualNode;
this.intervals[nextNode]='t';
queue.add(nextNode);
});

queue.removeAt(0);
 });

}

// Este metodo irá receber um array de notas e transformá-lo em um array de caminhos
notes2path{ arg notes;
var output, actualNode;
```

```
output = "";

notes.size.do{|i| //Para todas as notas
actualNode = notes[i];
output = output ++ "C ";
{actualNode != this.center}.while ({ //Caminha até chegar ao centro.
output = output ++ this.intervals[actualNode] ++ " ";
actualNode = this.path[actualNode];
});
output = output ++ "X ";
};
output = output[0..(output.size-2)]; // retira o último espaço em branco.
^output.split($ );
}


// Este metodo irá receber um array de caminho e devolver um array de notas
// Note que podemos ter problemas pois nao ha como garantir que o caminho cabe dentro do espaço de notas.
// Não sei o que retornar neste caso.

path2notes{ arg path;
var output, tempSum;

output = Array.new;

path.size.do{|i| //Para todas as notas
if( path[i].ascii == "X".ascii, { output = output ++ tempSum; });
if( path[i].ascii == "C".ascii, { tempSum = this.center.asInteger;});
if( path[i].ascii == "F".ascii, { tempSum = tempSum.asInteger + this.axis1.asInteger;});
if( path[i].ascii == "f".ascii, { tempSum = tempSum.asInteger - this.axis1.asInteger;});
if( path[i].ascii == "S".ascii, { tempSum = tempSum.asInteger + this.axis2.asInteger;});
if( path[i].ascii == "s".ascii, { tempSum = tempSum.asInteger - this.axis2.asInteger;});
if( path[i].ascii == "T".ascii, { tempSum = tempSum.asInteger + this.axis3.asInteger;});
if( path[i].ascii == "t".ascii, { tempSum = tempSum.asInteger - this.axis3.asInteger;});
};

//output = output[0..(output.size-2)]; // retira o último espaço em branco.
//^output.split($ );
^output;
}

notesNames{ arg arrayNotes;

var name, octave, testCase, nameOut, stringNotes;

stringNotes = "";
arrayNotes.do({ arg z;
var i;
i = z.asInteger;
name = i-(12*(i.div(12)));
octave = (i.div(12))-1;

testCase = case
{name == 0 } { "C" ++ octave ++", " }
{name == 1 } { "C#" ++ octave ++", " }
{name == 2 } { "D" ++ octave ++", " }
{name == 3 } { "D#" ++ octave ++", " }
{name == 4 } { "E" ++ octave ++", " }
{name == 5 } { "F" ++ octave ++", " }
{name == 6 } { "F#" ++ octave ++", " }
{name == 7 } { "G" ++ octave ++", " }
{name == 8 } { "G#" ++ octave ++", " }
{name == 9 } { "A" ++ octave ++", " }
{name == 10 } { "A#" ++ octave ++", " }
{name == 11 } { "B" ++ octave ++", " };
stringNotes = stringNotes ++ testCase;
});
stringNotes.removeAt(stringNotes.size-1);
stringNotes.removeAt(stringNotes.size-1);
^stringNotes;
}

}
```

A.2 Cálculo de Tensão Harmônica

```
 /* Classe Supercollider para Cálculo de Tensão Harmônica usando algorítimo de Rugosidade de Plomp e Levelt.
**
** and some calculate methodes based in
**
**  FERGUSON, S. Concerto for piano and orhestra. Phd Thesis - Faculty of Music,
**  McGuill University, Montreal, December 2000.
**
** HarmTension.new([freq1,freq2,freq...]); versão com Harmônicos em Temperamento Igual
**
** HarmTensionNT.new([freq1,freq2,freq...]); versão com Harmônicos escala Física
**
** a classe gera automaticamente a série harmônica com n parciais e array de amplitudes h = 1/n (amplitudes
decrescentes)
**
**
** Designed by Rael B. Gimenes <rael dot gimenes at gmail dot com>
**
**
*/

HarmonicTension {

var <>nHarmonics = 10, <>notes;
var <>arrayNotes, <>arrayAmps, <>arrayRoughness;
var arrayNotesTemp, arrayAmpsTemp, posForClean, sizeForClean;
var <>multiply = false;

*new { arg args;
^super.new.init(args);
}

init { | newNotes |

this.notes_(newNotes);
}

serieHarmonica { arg myNotes;
arrayNotes = Array.fill(250,0);
arrayAmps = Array.fill(250,0);
arrayNotesTemp = Array.fill(250,0); // cria big array para mesclar todas as notas
arrayAmpsTemp = Array.fill(250,0); // cria big array para mesclar todas as intensidades
myNotes.do({ arg itemColecao;

// monta serie harmonica de cada item da colecao e coloca na posicao do big array

nHarmonics.do({arg countHarm;

var freqHz, freqHzFinal, posicao;
freqHz = itemColecao.midicps; // transforma o item da coleção em Hz.
freqHzFinal = (freqHz*(countHarm+1)).cpsmidi.round; // calcula cada harmonico

posicao = freqHzFinal; // posição do array para colocar a nota
arrayNotesTemp.put(posicao,freqHzFinal); // coloca o harmônico no big array
if ((arrayAmpsTemp[posicao] != 0),// verifica se tem algum harmonico naquela posicao
{ var amp1, amp2, ampFinal; // se sim colocar raiz quadrada da soma
amp1 = arrayAmpsTemp[posicao];
amp2 = 1/(countHarm+1);
ampFinal = sqrt((amp1*amp1)+(amp2*amp2));
if (ampFinal > 1, {ampFinal = 1},{});
arrayAmpsTemp.put(posicao,ampFinal)},
{arrayAmpsTemp.put(posicao,1/(countHarm+1))});
// se posição não tem harmonico coloca amplitude calculada do harmonico.
});
```

```
});
posForClean = 0;
sizeForClean = 0;
arrayNotesTemp.do({ arg item, i;
  if ((item != 0), { arrayNotes.put(posForClean,item); posForClean = posForClean+1;
sizeForClean=sizeForClean+1;},{});
});
arrayNotes = arrayNotes.copyRange(0,(sizeForClean-1));

posForClean = 0;
sizeForClean = 0;
arrayAmpsTemp.do({ arg item, i;
  if ((item != 0), { arrayAmps.put(posForClean,item); posForClean = posForClean+1;
sizeForClean=sizeForClean+1;},{});
});
arrayAmps = arrayAmps.copyRange(0,(sizeForClean-1));

}



/* view {
var graphic,arrayPlot;
graphic = GNUPlot.new;
arrayPlot = Array.fill(10,0);
10.do({arg i ; arrayPlot.put(i,[overtones[i],amplitudes[i]])});
graphic.scatter(arrayPlot);
}
*/

help {  "Uso da Classe:

var = HarmonicTension([note, note, note, note,..])  De uma a quantas notas quiser

Para verificar valores:

instance.arrayNotes (mostra o Array com o espectro de notas e series harmonicas)
instance.arrayAmps (mostra amplitudes de cada nota)
instance.arrayRoughness (mostra o array depois de calcular Roughness)
instance.roughness (calcula a rugosidade da colecao)
instance.nHarmonics (quantidade de harmonicos utilizados no calculo) (default: 10)
instance.nHarmonics = (x)   modifica a quantidade de harmonicos usados para calculo
instance.help (mostra essa mensagem)
instance.multiply = true;   Multiplica valor da rugosidade pelo produto das amplitudes
(algoritmo de Ferguson)
instance.multiply = false; Não multiplica.

".postln;
}

centralFreq { arg freq1,freq2;
var cf;
// freq1=freq1-12;freq2=freq2-12; // Parncutt Midinote
cf = (freq1.midicps+freq2.midicps)/2;
//"  central freq = ".post; cf.postln;
^cf;
}

cbw { arg cf, freq1,freq2, amp1, amp2;
var tempBc, bandaCritica, difFreq;
// freq1=freq1-12;freq2=freq2-12; // ParncuttMidinote
tempBc = 1.72*(cf**0.65);
//"tempBC = ".post; tempBc.postln;
difFreq = (freq2.midicps-freq1.midicps);
bandaCritica = (difFreq/tempBc);
if (bandaCritica > 1.2,{bandaCritica=0},{});
//"banda critica = ".post; bandaCritica.postln;
^bandaCritica;

}

roughTable { arg cbw, amp1, amp2;
```

```
var tempCbw;
tempCbw =  (((2.7182818*cbw)/0.25)*exp((cbw*(-1))/0.25))**2;
//"valor de rugosidade = ".post; tempCbw.postln;
//"table = ".post; (tempCbw*(amp1*amp2)).postln;
if (multiply, {^tempCbw*(amp1*amp2);}, {^tempCbw});

}

roughness { var arraySize, countInt, freq1, freq2, amp1, amp2, cfreq, cb, rough, high, calcRough, calcAmp,
somaAmps, finalRough;
arrayRoughness = Array.new;
this.serieHarmonica(this.notes);
arraySize = arrayNotes.size;
//"Array Size = ".post; arraySize.postln;
(arraySize-1).do({arg low;
//"Low = ".post; low.postln;
for ((low+1), (arraySize-1), {arg high; //"high = ".post; high.postln;
freq1 = arrayNotes[low]; //"freq 1 = ".post; freq1.post; " | ".post;
freq2 = arrayNotes[high];// "freq 2 = ".post; freq2.post; " | ".post;
amp1 = arrayAmps[low]; //"amp 1 = ".post; amp1.post; " | ".post;
amp2 = arrayAmps[high]; //" amp2 = ".post; amp2.post; " | ".postln;
cfreq = this.centralFreq(freq1,freq2);
cb = this.cbw(cfreq,freq1,freq2, amp1, amp2);
rough = this.roughTable(cb, amp1,amp2);
this.arrayRoughness = this.arrayRoughness ++ rough;
});

});
somaAmps = (this.arrayAmps*this.arrayAmps);
calcRough = this.arrayRoughness.sum;
calcAmp = somaAmps.sum;
finalRough = (calcRough/calcAmp);
//"Rugosidade final = ".post; finalRough.postln;
^finalRough;
}


}

HarmonicTensionNT {

var <>nHarmonics = 10, <>notes;
var <>arrayNotes, <>arrayAmps, <>arrayRoughness;
var arrayNotesTemp, arrayAmpsTemp, posForClean, sizeForClean;
var <>multiply = false;

*new { arg args;
^super.new.init(args);
}

init { | newNotes |
this.notes_(newNotes);
this.serieHarmonica(notes);
}

serieHarmonica { arg myNotes;
arrayNotes = Array.fill(250,0);
arrayAmps = Array.fill(250,0);
arrayNotesTemp = Array.fill(125500,0); // cria big array para mesclar todas as notas
arrayAmpsTemp = Array.fill(1255500,0); // cria big array para mesclar todas as intensidades
myNotes.do({ arg itemColecao;
nHarmonics.do({arg countHarm;

var freqHz, freqHzFinal, posicao;
freqHz = itemColecao.midicps; // transforma o item da coleção em Hz.
freqHzFinal = (freqHz*(countHarm+1)); // calcula cada um dos harmônicos
posicao = freqHzFinal.asInteger;
// posição do array para colocar a nota
arrayNotesTemp.put(posicao,freqHzFinal);
if ((arrayAmpsTemp[posicao] != 0),
{ var amp1, amp2, ampFinal;
amp1 = arrayAmpsTemp[posicao];
amp2 = 1/(countHarm+1);
```

```
ampFinal = sqrt((amp1*amp1)+(amp2*amp2));
if (ampFinal > 1, {ampFinal = 1},{});
arrayAmpsTemp.put(posicao,ampFinal)},
{arrayAmpsTemp.put(posicao,1/(countHarm+1))});
});

});
posForClean = 0;
sizeForClean = 0;
arrayNotesTemp.do({ arg item, i;
  if ((item != 0), { arrayNotes.put(posForClean,item); posForClean = posForClean+1;
sizeForClean=sizeForClean+1;},{});
});
arrayNotes = arrayNotes.copyRange(0,(sizeForClean-1));

posForClean = 0;
sizeForClean = 0;
arrayAmpsTemp.do({ arg item, i;
  if ((item != 0), { arrayAmps.put(posForClean,item); posForClean = posForClean+1;
sizeForClean=sizeForClean+1;},{});
});
arrayAmps = arrayAmps.copyRange(0,(sizeForClean-1));

}



/* view {
var graphic,arrayPlot;
graphic = GNUPlot.new;
arrayPlot = Array.fill(10,0);
10.do({arg i ; arrayPlot.put(i,[overtones[i],amplitudes[i]])});
graphic.scatter(arrayPlot);
}
*/

help {  "Uso da Classe:

var = HarmonicTension([note, note, note, note,..])  De uma a quantas notas quiser

Para verificar valores:

instance.arrayNotes (mostra o Array com o espectro de notas e series harmonicas)
instance.arrayAmps (mostra amplitudes de cada nota)
instance.arrayRoughness (mostra o array depois de calcular Roughness)
instance.roughness (calcula a rugosidade da colecao)
instance.nHarmonics (quantidade de harmonicos utilizados no calculo) (default: 10)
instance.nHarmonics = (x)   modifica a quantidade de harmonicos usados para calculo
instance.help (mostra essa mensagem)
instance.multiply = true;   Multiplica valor da rugosidade pelo produto das amplitudes
(algoritmo de Ferguson)
instance.multiply = false; Não multiplica.

".postln;
}

centralFreq { arg freq1,freq2;
var cf;
// freq1=freq1-12;freq2=freq2-12; // Parncutt Midinote
cf = (freq1+freq2)/2;
//"  central freq = ".post; cf.postln;
^cf;
}

cbw { arg cf, freq1,freq2, amp1, amp2;
var tempBc, bandaCritica, difFreq;
// freq1=freq1-12;freq2=freq2-12; // ParncuttMidinote
tempBc = 1.72*(cf**0.65);
//"tempBC = ".post; tempBc.postln;
difFreq = (freq2-freq1);
bandaCritica = (difFreq/tempBc);
if (bandaCritica > 1.2,{bandaCritica=0},{});
//"banda critica = ".post; bandaCritica.postln;
```

```
^bandaCritica;

}

roughTable { arg cbw, amp1, amp2;
var tempCbw;
tempCbw =  (((2.7182818*cbw)/0.25)*exp((cbw*(-1))/0.25))**2;
//"valor de rugosidade = ".post; tempCbw.postln;
//"table = ".post; (tempCbw*(amp1*amp2)).postln;
if (multiply, {^tempCbw*(amp1*amp2);}, {^tempCbw});

}

roughness { var arraySize, countInt, freq1, freq2, amp1, amp2, cfreq, cb, rough, high, calcRough, calcAmp,
somaAmps, finalRough;
arrayRoughness = Array.new;
//this.serieHarmonica(this.notes);
arraySize = arrayNotes.size;
//"Array Size = ".post; arraySize.postln;
(arraySize-1).do({arg low;
//"Low = ".post; low.postln;
for ((low+1), (arraySize-1), {arg high; //"high = ".post; high.postln;
freq1 = arrayNotes[low]; //"freq 1 = ".post; freq1.post; " | ".post;
freq2 = arrayNotes[high];// "freq 2 = ".post; freq2.post; " | ".post;
amp1 = arrayAmps[low]; //"amp 1 = ".post; amp1.post; " | ".post;
amp2 = arrayAmps[high]; //" amp2 = ".post; amp2.post; " | ".postln;
cfreq = this.centralFreq(freq1,freq2);
cb = this.cbw(cfreq,freq1,freq2, amp1, amp2);
rough = this.roughTable(cb, amp1,amp2);
this.arrayRoughness = this.arrayRoughness ++ rough;
});

});
somaAmps = (this.arrayAmps*this.arrayAmps);
calcRough = this.arrayRoughness.sum;
calcAmp = somaAmps.sum;
finalRough = (calcRough/calcAmp);
//"Rugosidade final = ".post; finalRough.postln;
^finalRough;
}




}
```

APÊNDICE B – O resto no copo para contrabaixo e eletrônica em tempo real: partitura e código do patch

O resto no copo

para Contrabaixo e Live-electronics

ao amigo Alexandre Rosa

de

Rael B. Gimenes Toffolo

O resto no copo

para contrabaixo e Live-Electronics

BULA

O resto no copo é uma obra desenvolvida com a linguagem de programação *SuperCollider,* disponível para as plataformas *GNU/Linux*, *Macintosh* e *Windows,* entre outras. A escolha dessa linguagem para o desenvovimento da obra é justificada por sua ampla flexibilidade e por estar disponível para os mais diversos sistemas operacionais, o que acreditamos ser um grande facilitador para o instrumentista que deseja tocá-la.

As indicações dentro dos quadrados, com excessão da indicação sobre o *Tremolo* no último sistema da página 3, são reservadas para as modificações a serem executadas no software controlador do *live-electronics.*

Os simbolos P01 P02 , etc, indicam os momentos onde os botões do painel do *live-electronics* devem ser acionados (veja reprodução da tela do controlador do *live-electronics* na p. 3 da bula). Tais botões são responsáveis por configurar inúmeros parâmetros do processamento de sinal. Textos complementares, também dentro de quadrados, indicam quando alterações manuais de outros parametros devem ser executados no decorrer da música, como por exemplo:

Chords Amp: *dim devagar*
GRAIN Wet: *dim devagar*

Neste bloco, o *slider* indicado por Chords Amp deve ter seus valores diminuidos devagar e o botão Wet no painel **GRAIN** também deve ter seus valores diminuidos com calma.

Geralmente as mudanças de sessão onde os botões P01, P02, etc, devem ser acionados, são colocadas sobre eventos longos do contrabaixo para que dessa forma as transições do *live-electronics* aconteçam sem quebras bruscas.

Todas as configurações do *live-electronics* estão pré-determinadas de acordo com as estruturas harmônicas e temporais da peça, porém elas podem ser manipuladas de forma diferenciada do que foi previsto, inclusive com a possibilidade de modificar as pré-determinações de alguns comportamentos no código fonte do processador em anexo à partitura. Para realizar tais modificações o usuário deve conhecer um pouco da linguagem *SuperCollider* e identificar no código fonte os trechos marcados como /***** DETERMINAÇÕES INICIAIS.

Durante toda a obra, o software que controla o *live-electronics* utiliza as informações de dinâmica produzidas pelo contrabaixista para manipular diversos parâmetros, como densidade de perfis harmônicos, fatores multiplicativos de filtros de frequência, velocidade dos granuladores de sinal, entre outros. Dessa forma, inúmeros parâmetros associados à densidade da obra estão diretamente relacionados com a dinâmica em que o contrabaixista toca sua parte. A idéia central é que o contrabaixista tenha liberdade para interferir em todos esses parâmetros a partir da dinâmica, portanto o interprete deve considerar as variações que lhe são possíveis durante a preparação da obra.

Considerações sobre a escrita:

As durações da peça são relativas. Deve-se sempre considerar a interação entre a dimensão instrumental e a dimensão do *live-electronics*. Modificações temporais são bem vindas se o instrumentista achar interessante para valorizar algum evento sonoro que foi produzido pela interação entre o som do contrabaixo e o processamento de sinal.

Os acidentes são somente válidos para as notas que indicam. A ausência de acidentes indica *nota natural*. Alguns acidentes foram repetidos apenas como acidentes de aviso para facilitar a leitura de alguns trechos. Para não poluir a diagramação da partitura os parenteses dos acidentes de aviso foram suprimidos.

As barras de compasso tracejadas apenas indicam frases estruturais e não devem interferir na duração das notas. Servem apenas para indicar grandes unidades melódicas. Não deve haver quebras temporais nessas barras.

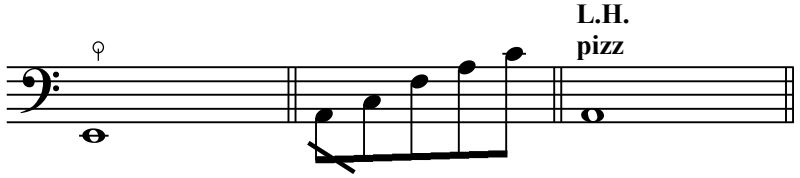
Mudanças de scordatura:

Há duas mudanças de scordatura na peça e que são realizadas no meio da obra. Indicadas como: *nota 1* (p. 3) e *nota 2* (p. 6).

Nota 1: a mudança de afinação da corda 4 (MI) deve ser realizada em *pizzicato* descendo a afinação para RÉ. O instrumentista tem liberdade para rearticular a corda MI e as demais quantas vezes for necessário até que a afinação esteja a contento. Tal mudança de afinação deve ser realizada em total integração com os processamentos de sinal.

Nota 2: Neste trecho o instrumentista deve retornar a afinação da corda 4 para MI, porém utilizando o arco. Da mesma forma que na indicação acima, o instrumentista tem liberdade para rearticular as cordas o tempo que for necessário até que a afinação esteja a contento. Também realizar tal processo em total integração com o processamento de sinal.

Simbolos especiais:



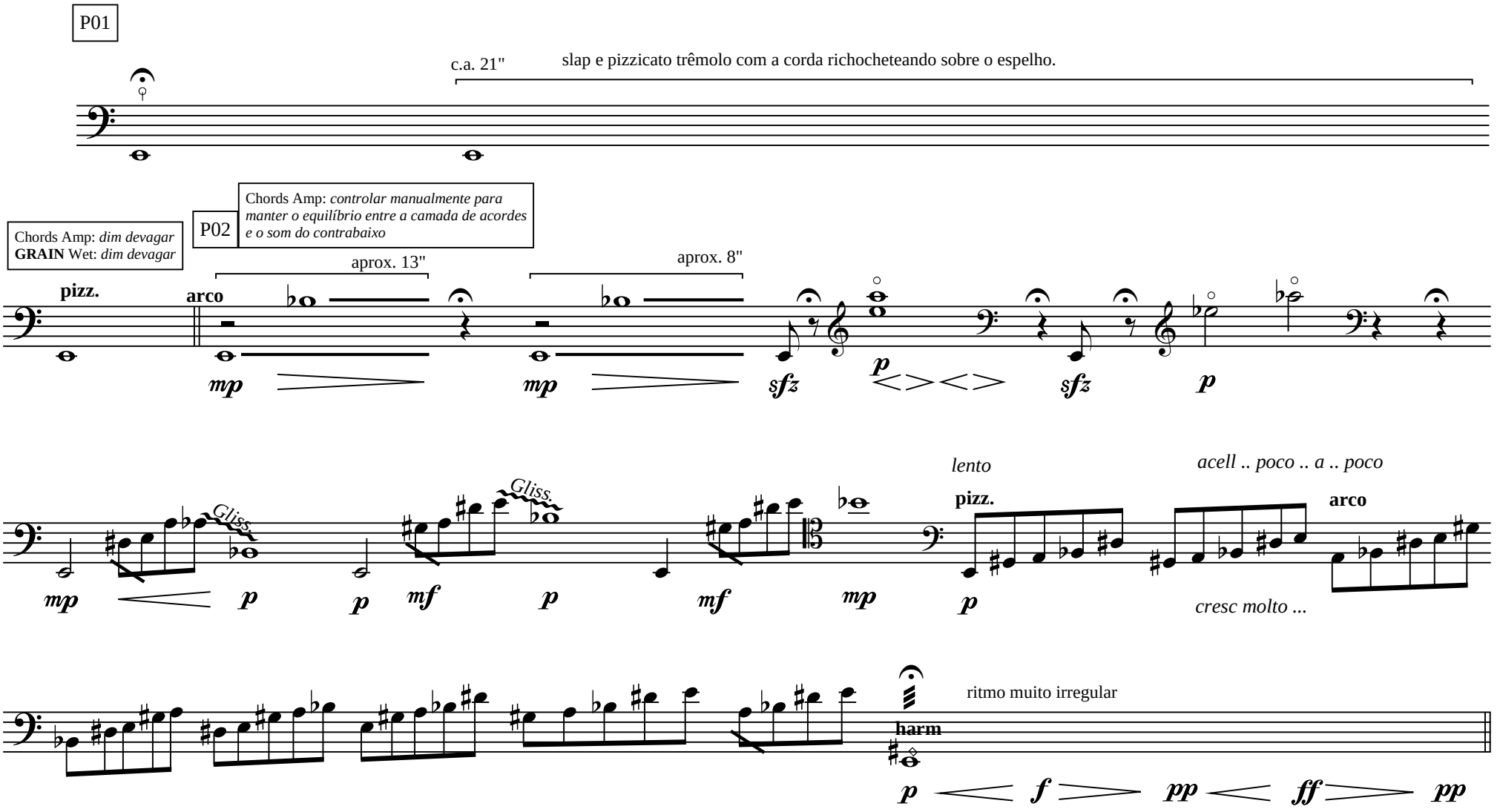
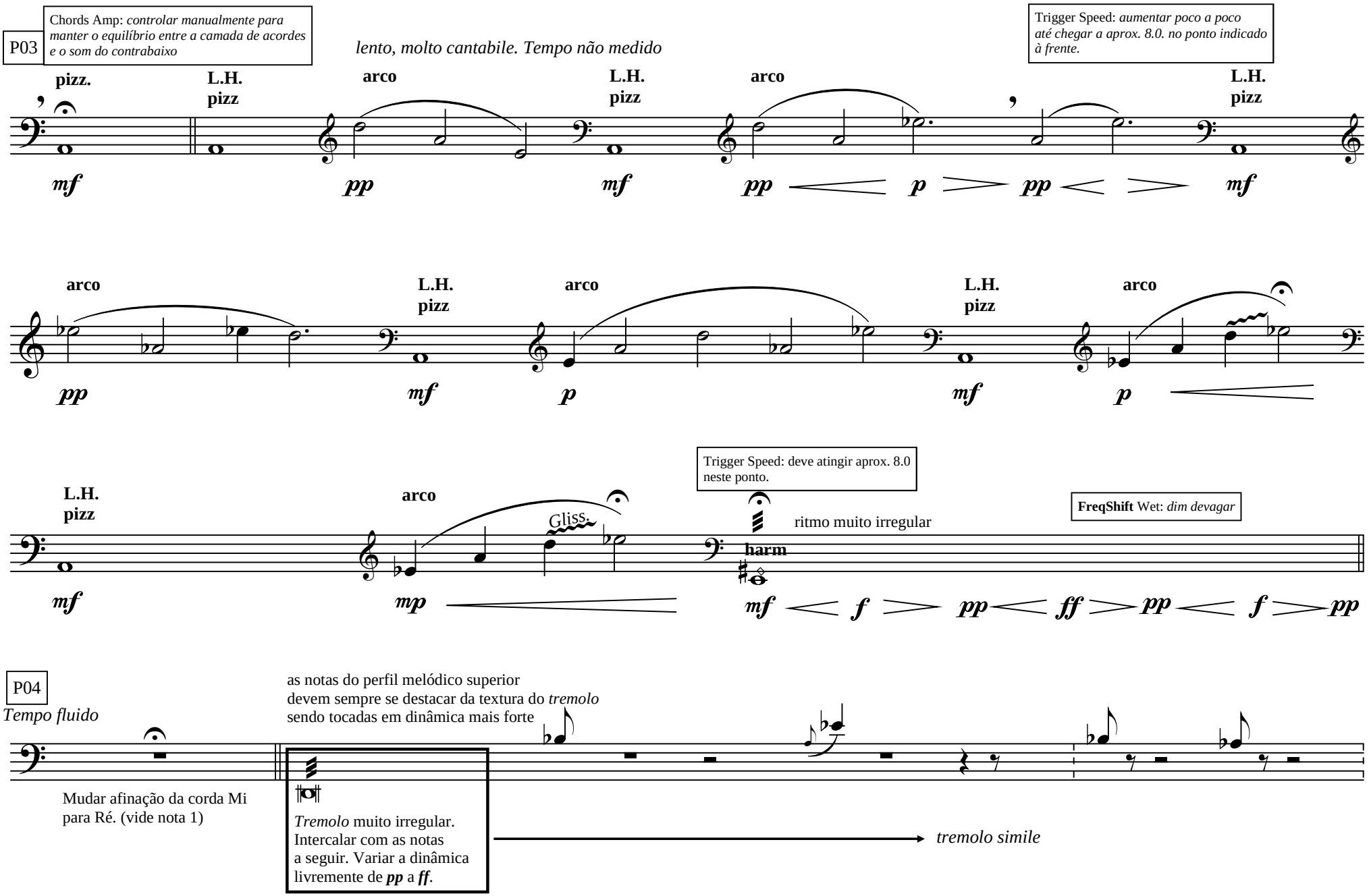
pizzicato Bartòk — *Tocar o mais rápido possível* — *pizzicato de mão esquerda*

Interface do *live-electronics*

Para manipular o live-electronics apenas uma configuração inicial deve ser feita após conectar o microfone ou microfones no sistema.
No painel **Main Controls** selecione o canal de entrada do sinal (Input Channel) e acerte o Input Amp para o máximo. Ligue o botão P01 (que ficará em vermelho como o botão P03 da imagem acima) logo antes do contrabaixista iniciar a performance da peça. Após essa configuração basta seguir as indicações da partitura. Detalhes mais profundos sobre o funcionamento do *live-electronics* podem ser obtidos nos cometários do código-fonte ou no site do compositor: http://www.dmu.uem.br/lappso/index.php?title=Toffolo

O resto no copo

para Contrabaixo e Live-electronics

Rael B. Gimenes Toffolo


P03
Chords Amp: *controlar manualmente para manter o equilíbrio entre a camada de acordes e o som do contrabaixo*
lento, molto cantabile. Tempo não medido
Trigger Speed: *aumentar poco a poco até chegar a aprox. 8.0. no ponto indicado à frente.*
pizz.
L.H. pizz
arco
mf
pp
p
Trigger Speed: deve atingir aprox. 8.0 neste ponto.
ritmo muito irregular
FreqShift Wet: *dim devagar*
Gliss.
harm
mp
ff
P04
Tempo fluido
as notas do perfil melódico superior devem sempre se destacar da textura do *tremolo* sendo tocadas em dinâmica mais forte
Mudar afinação da corda Mi para Ré. (vide nota 1)
Tremolo muito irregular. Intercalar com as notas a seguir. Variar a dinâmica livremente de ***pp*** a ***ff***.
tremolo simile

Trigger Speed: *aumentar poco a poco até chegar ao máximo no ponto indicado à frente.*

cresc.. poco .. a .. poco

tremolo simile

acell .. poco .. a .. poco

tremolo simile

tremolo simile

Trigger Speed: deve atingir o máximo neste ponto.

tremulo irregular

FREQ SHIFT Wet: *dim devagar*
GRAIN Wet: *dim devagar*

ff

fim do trêmolo em Ré

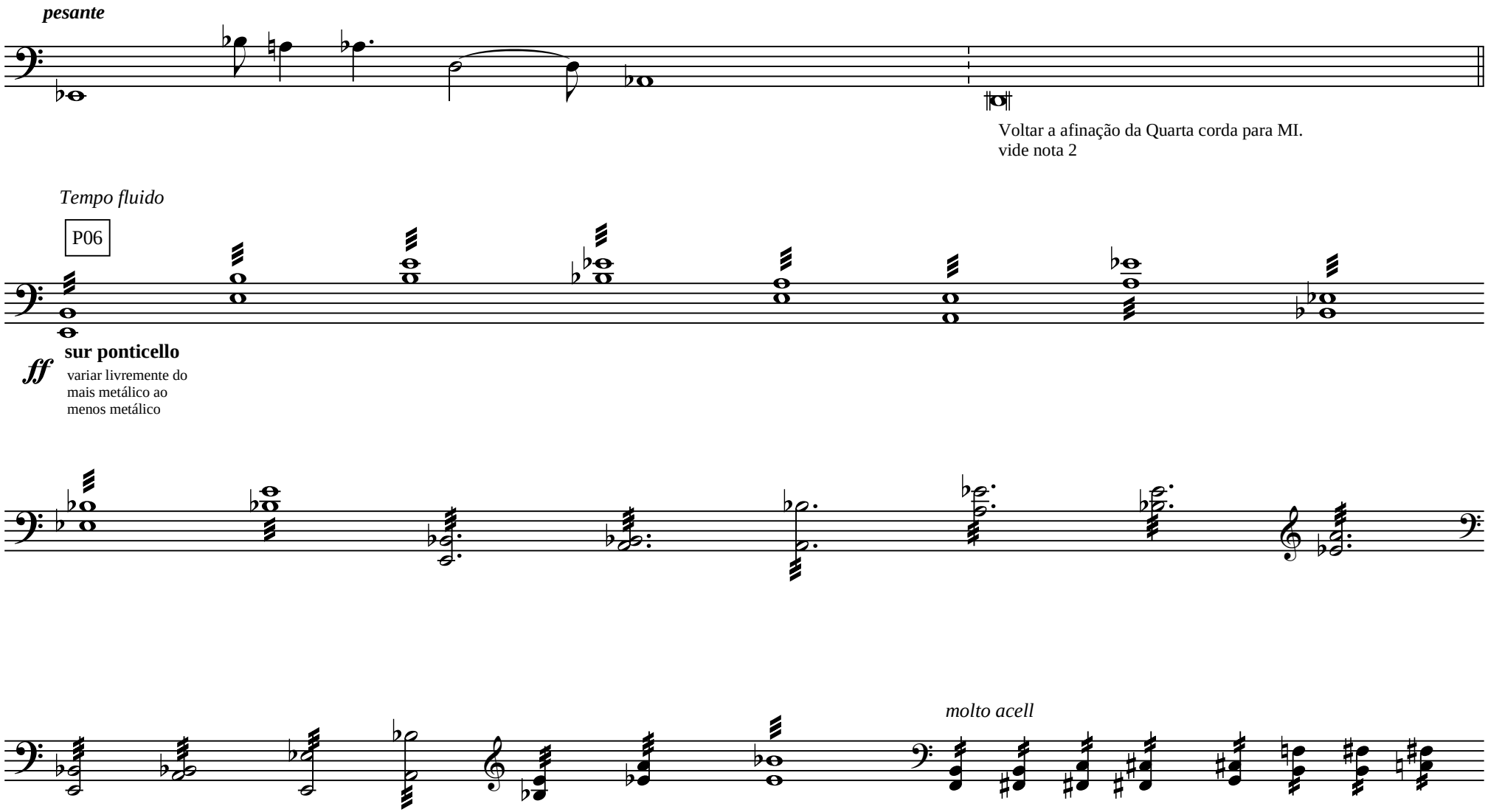
P05

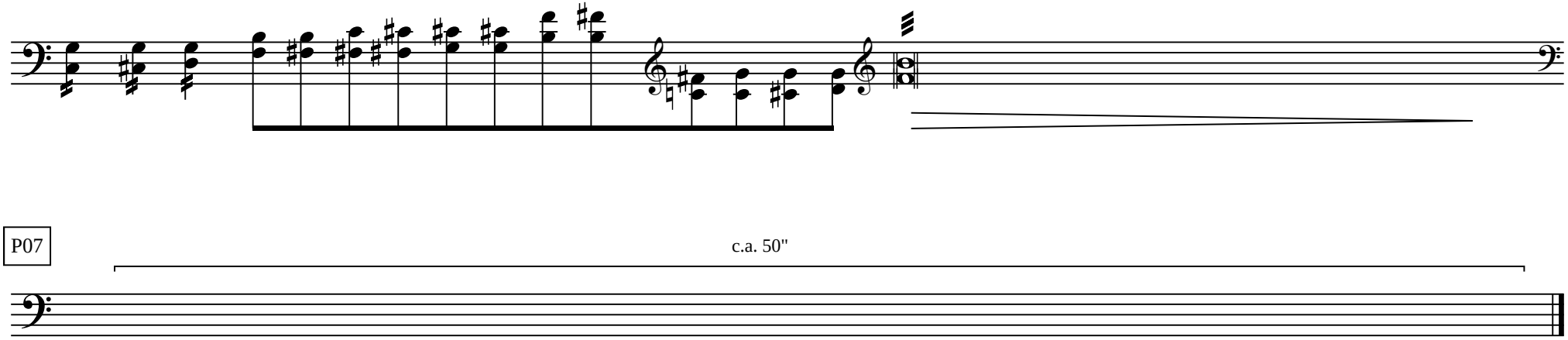
Chords Amp: *controlar manualmente para manter o equilíbrio entre a camada de acordes e o som do contrabaixo*

f

rall poco a poco ....

cresc poco a poco ...


pesante
Voltar a afinação da Quarta corda para MI.
vide nota 2
Tempo fluido
P06
ff
sur ponticello
variar livremente do
mais metálico ao
menos metálico
molto acell



Improvisar livremente percutindo o contrabaixo com a duas mãos. Produzir tremolos tamborilando os tedos pelo corpo do contrabaixo, produzindo ritmos irregulares e aleatórios, de forma a interagir e aproveitar o processamento proveniente do *live-electronics*. A percussão no corpo do instrumento deve iniciar nos locais onde há maior área de madeira indo para locais onde há menos madeira ressonate (cravelheira do instrumento) de forma a produzir um perfil do grave ao agudo. Após improvisar percutindo a cravelheira do instrumento, deve-se improvisar friccionando a ponta dos dedos sobre o tampo frontal do instrumento. A peça termina com o contrabaixista abraçando seu instrumento, eliminando qualquer tipo de som proveniente deste. Este gesto deve ser sincronizado com o *fade out* dos sons provenitentes do computador. O perfil geral desta sessão será de uma improvisação percussiva iniciando no registro mais grave possível em dinâmica *fortissimo* indo até o mais agudo possível em dinâmica *pianissimo.*

B.1 Código do *patch* em SuperCollider

```
 /***** O resto no copo - para Contrabaixo e processamento em tempo real
**
** Rael B. Gimenes Toffolo - 2010
**
**
** Versão para uso direto do instrumentista. Sem necessidade de Operação.
**
**
** Dedicada ao amigo Alexandre Silva Rosa
**
**
**
*********************************************************************/
(
s.boot;
s.makeWindow;
s.mute;

s.waitForBoot({

// Main window sizes
var largura = 800, altura = 540, ajuste = 0, mwlargura = 1280, mwaltura=800;

// variaveis das janelas;
var  window1, window2, window3, scopeWindow,
w1largura, w1altura, w2largura, w2altura, w3largura, w3altura,
w1x, w1y, w2x, w2y, w3x, w3y,
scopeAltura = 180, scopeLargura = 200, inicioScope = 290;

// variáveis de audio e outras;
var  sizeKnob = 40, itemInputArray, itemOutputArray,  mainInputChannel, mainOutputChannel,
masterInputAmp, masterOutputAmp, mTriggerSpeed, mTriggerSpeedNumber, controlTrigger;

var sectionCounter = 0;

var fsDryAmp, fsWetAmp, fsItensIn, fsItensOut, fsChannelInput, fsChannelOutput,
fsShift, fsShiftNumber, fsCheckFreq, controlShift,
fsPan, fsPanRand, fsPanSine, controlFsPan;

var  pdItensIn, pdItensOut, pdChannelInput, pdChannelOutput,
pdDelayTime, pdDelayTimeNumber, pdDryAmp, pdWetAmp,
pdDecayTime, pdDecayTimeNumber, pdCheckDelay,
controlDelayTime, controlDecayTime,
pdPan, pdPanRand, pdPanSine, controlPdPan;

var  mSyn, fsSyn, pdSyn, chord1Syn, chord2Syn, chord3Syn,
chord4Syn, chord5Syn, chord6Syn, chord7Syn;

var buttonChord1, buttonChord2, buttonChord3,
buttonChord4, buttonChord5, buttonChord6, buttonChord7, textBoxSections, numberBoxAmpInicial;

var chordsAmp;

var fsRoutineRand, fsRoutineSine,
pdRoutineRand, pdRoutineSine;

// Definindo Array de Seno para Pan
var  senoide, meioseno;
meioseno = ((0..7)/8).collect(_.scurve).linlin(0,1,-1,1);
senoide = meioseno.addAll(((7..0) / 8 ).collect(_.scurve).linlin(0,1,-1,1));


// Criando Synths

/*****************************************************************************/
// Synth: \soundControl
//
// Controle geral do Synth
// inChannel = Canal de Hardware do microfone de entrada
```

```
// outChannel = Canal de Hardware de saida de Áudio.
// inAmp = Controle de Amplitude de Entrada
// outAmp = Controle de Amplitude da Saida
// triggerSpeed = Velocidade de envio dos valores de Amplitude para o cliente.
/*************************************************************************************/

{
SynthDef.new(\soundControl,

{
arg inChannel = 0, outChannel = 0, inAmp, outAmp, triggerSpeed = 10;

var ampTrig, input, output, freq, hasFreq;

// input = In.ar(inChannel,2)*inAmp; // get audio from internal busses - for tests
input = SoundIn.ar(inChannel,inAmp); // get audio from Hardware
// output = input*outAmp;
# freq, hasFreq = Pitch.kr(input,22,22,4000,ampThreshold: 0.01) ;

// Criando Trigger
ampTrig = Peak.ar(input,Impulse.kr(10));
SendReply.kr(LFPulse.kr(triggerSpeed),'/tartini', [freq,hasFreq], 102) ;
SendTrig.kr(Impulse.kr(triggerSpeed), 0, ampTrig);
}).send(s);


/*************************************************************************************/
// Synth: \freqShift
//
// Processo 01 - FreqShift com controles:
// shift = Frequência para o Efeito.
// ampDry = multiplicador para controlar nivel de saida do som original
// ampWet = multiplicador para controlar nível da saida do som processado
// inChannel = Canal de onde o sinal para o processamento é proveniente
// outChannet = Canal para onde o sinal processado é direcionado
/*************************************************************************************/




SynthDef.new(\freqShift,

{
arg shift = 10, fsAmpDry = 0.8, fsAmpWet = 0.8, fsInChannel, fsOutChannel, fsPan = 0;

var fsProcesso, fsInput, fsOut;

fsInput = SoundIn.ar(fsInChannel);

fsProcesso = FreqShift.ar(fsInput, shift, 1);

// Controles de Saida
fsOut = (fsInput*fsAmpDry) + (fsProcesso*fsAmpWet);
Out.ar(fsOutChannel, Pan2.ar(fsOut,fsPan));

}).send(s);


/*************************************************************************************/
// Synth: \pizzicatoDelay
//
// Realiza Delay para usar com momentos de Pizzicato
// ampDry = multiplicador para controlar nivel de saida do som original
// ampWet = multiplicador para controlar nível da saida do som processado
// inChannel = Canal de onde o sinal para o processamento é proveniente
// outChannet = Canal para onde o sinal processado é direcionado
// delayTime = Valor para o DelayTime do efeito
// decayTime = Valor para o DecayTime do efeito
/*************************************************************************************/
```

```
SynthDef.new(\pizzicatoDelay,

{
arg delayTime = 0.2, decayTime = 3, pdAmpDry = 0.8, pdAmpWet = 0.8,
pdInChannel, pdOutChannel, pdPan = 0;

var pdInput, pdProcesso, pdOutput;

pdInput = SoundIn.ar(pdInChannel);

pdProcesso = AllpassC.ar(pdInput, delayTime, delayTime, decayTime);

pdOutput = (pdInput*pdAmpDry) + (pdProcesso*pdAmpWet);
Out.ar(pdOutChannel, Pan2.ar(pdOutput,pdPan));
}
).send(s);

/*****************************************************************************/
// Synth: \chord1
//
// Toca os acordes estipulados pelos arrays nos GUI.
/*****************************************************************************/

SynthDef.new(\chord1, {arg amp = 0.8, freqs= # [415.30, 329.63, 440, 466.16, 622.25, 415.30, 329.63, 440, 466.16,
622.25, 415.30, 415.30], panini= -1 , panend = 1, dur = 10;
var out, panline;
panline = EnvGen.kr(Env.new([panini,panend],[dur]),1, doneAction: 2);
out = Pan2.ar(DynKlang.ar(‘[freqs], 1, 0), panline)*EnvGen.kr(Env.sine(dur), 0.8, 0.02,
doneAction: 2);
Out.ar(0, out*amp);
}
).send(s);



/*****************************************************************************/
// Synth: \chord2
//
// Toca os acordes estipulados pelos arrays nos GUI.
/*****************************************************************************/

SynthDef.new(\chord2, {arg freq = 440, amp = 0.4, doneAct = 2;
var output, envelope;
envelope = EnvGen.kr(Env.perc(0.02,(freq**(-0.7))*100), doneAction: doneAct );
output = Pan2.ar(SinOsc.ar(freq, 0, envelope),LFNoise1.kr(1/8));
Out.ar(0,output*amp);
}).send(s);


/*****************************************************************************/
// Synth: \chord4
//
// processamento baseado em filtragem e PitchFollow.
/*****************************************************************************/


SynthDef(\chord4,{ arg finalamp = 0, channel = 2;
var in, amp, freq, hasFreq, out;
in = Mix.new(SoundIn.ar([channel,1]));
amp = Amplitude.kr(in, 0.05, 0.05);
# freq, hasFreq = Pitch.kr(in, ampThreshold: 0.02, median: 7);
out = CombC.ar(LPF.ar(in, 1000), 0.1, (2 * freq).reciprocal, -6).distort * 0.05;
6.do({
out = AllpassN.ar(out, 0.040, [0.040.rand,0.040.rand], 2)
});
Out.ar(0,out*finalamp);
}).send(s);

/*****************************************************************************/
// Synth: \transpose
//
// Transpositor granular com reverb para almalgamar os grãos.
```

```
// recebe frequencia de transposição: freq e inputChannel
/*****************************************************************************************/


SynthDef.new(\transpose, {
arg freq = 1, transposeInputChannel, amp = 1;
var in, processo, out;
in = SoundIn.ar(transposeInputChannel);
        processo = FreeVerb.ar(PitchShift.ar(in, 0.25, freq, 0, 0.01), 1,0.6,1);
        out = processo*amp;
        Out.ar(0,out.dup);
}).send(s);


/*****************************************************************************************/
// Synth: \Sintese subtrativa
//
// Para usar com P05.
//
/*****************************************************************************************/


SynthDef.new(\filtro, {
arg freq = 1244.51, band=0.1, dur=1.3, gate=1, panini= -1, panend = 1, amp=0.1;
var ruido, out, envelope, panline;
panline = EnvGen.kr(Env.new([panini,panend],[dur]),1, doneAction: 2);
envelope = EnvGen.kr(Env.perc(dur/10,dur,0.8),gate, amp, doneAction: 2);
//*kr(envelope, gate, levelScale, levelBias, timeScale, doneAction)
ruido = WhiteNoise.ar(10);
out = (BPF.ar(ruido,freq+SinOsc.kr(10),band*envelope/10))*envelope;
Out.ar(0,Pan2.ar(out,panline));
}).send(s);



}.value;

// Definindo ControlSpecs

controlShift = ControlSpec(1,22000,\exp,1,1);
controlDelayTime = ControlSpec(0.08,1.0,\lin,0.01,0.2);
controlDecayTime = ControlSpec(0,10,\lin,0.1,3);
controlTrigger = ControlSpec(0.01,100,\exp,0.01,10);
controlFsPan = ControlSpec(-1,1,\lin,0.1,0);
controlPdPan = ControlSpec(-1,1,\lin,0.1,0);

// Definindo Rotinas

fsRoutineRand = Routine({ loop{ fsSyn.set(\fsPan, (1.0).rand.linlin(0,1,-1,1));
(3.0).rand.wait;
// (1.0).rand.postln;
} });
SystemClock.play(fsRoutineRand);
fsRoutineRand.stop;


fsRoutineSine = Routine({ loop{
for (0,15, { arg i;
fsSyn.set(\fsPan, senoide[i].value;);
// senoide[i].postln;
0.2.wait;
   } )} });
SystemClock.play(fsRoutineSine);
fsRoutineSine.stop;

//////////////////////////

pdRoutineRand = Routine({ loop{ pdSyn.set(\pdPan, (1.0).rand.linlin(0,1,-1,1));
(3.0).rand.wait;
// (1.0).rand.postln;
} });
SystemClock.play(pdRoutineRand);
pdRoutineRand.stop;
```

```
pdRoutineSine = Routine({ loop{
for (0,15, { arg i;
pdSyn.set(\pdPan, senoide[i].value;);
// senoide[i].postln;
0.2.wait;
   } )} });
SystemClock.play(pdRoutineSine);
pdRoutineSine.stop;

/*********************************************************************
/ INICIANDO GUI
*********************************************************************/

// criando tamanhos das subjanelas

w1largura = ((largura+ajuste)/2)-20;
w1altura = altura - 20;

w2largura = ((largura+ajuste)/2) -10;
w2altura = (altura/2)-20;

w3largura = ((largura+ajuste)/2) -10;
w3altura = (altura/2)-10;

// posições iniciais das subjanelas

w1x = 10;
w1y = 10;
w2x = w1largura+w1x+10;
w2y = 10;
w3x = w2x;
w3y = w2altura+w2y+10;



// criando Janelas

w = Window("O   R E S T O   N O   C O P O    para contrabaixo e processamento em tempo-real    Rael B. Gimenes Toffolo",
Rect((mwlargura-largura)/2,(mwaltura-altura)/2, largura,altura), resizable: false);

window1 = View(w, Rect(w1x,w1y,w1largura,w1altura));
window1.background = Color.new255(194, 194, 194);

window2 = View(w, Rect(w2x,w2y,w2largura,w2altura));
window2.background = Color.new255(214,214,214);

window3 = View(w, Rect(w3x,w3y,w3largura,w3altura));
window3.background = Color.new255(229,229,229);

scopeWindow = View(window1, Rect(150,inicioScope,scopeLargura,scopeAltura+50));

/*****************************************************************************/
// Window 1 - CONTROLES GERAIS PARA o TRIGGER
/*****************************************************************************/

StaticText (window1, Rect(0,5, w1largura, 24)).font_(Font("Arial Black", 13,0)).string_('Main
Controls').align_(\center);

/* Retirado para versão autônoma
    // pull down para selecionar o canal de entrada de sinal
StaticText (window1, Rect(10,50,110,24)).string_('Input Channel 0-7').font_(Font(size:  10 )).align_(\right);
itemInputArray = ["0-L","1-R","2","3","4","5","6","7"];
mainInputChannel = PopUpMenu(w,Rect(150,60,90,24));
mainInputChannel.items = itemInputArray;*/

StaticText (window1, Rect(10,50,250,24)).font_(Font("Arial Black", 14,0)).string_('Press Any Key');

// Master input Volume
StaticText (window1, Rect (245,75, 110, 24)).string_('Input Amp').align_(\center).font_(Font(size:  10 ));
masterInputAmp = Knob(w, Rect (290, 50, sizeKnob, sizeKnob));
masterInputAmp.value = 0;
```

```
// Slider para selecionar o Timer do Trigger
StaticText (window1, Rect (20,100, 90, 40)).string_('Trigger Speed').align_(\left).font_(Font(size:  10 ));
mTriggerSpeed = Slider(window1,Rect(120,110,160,24));
mTriggerSpeedNumber = NumberBox(window1,Rect(290,110,60,24));
mTriggerSpeedNumber.value = mTriggerSpeed.value;

// pull down para selecionar o canal de saida de sinal
// StaticText (window1, Rect(10,120,110,24)).string_('Output Channel 0-7').font_(Font(size:  10 )).align_(\right);
// itemOutputArray = ["0-L","1-R","2","3","4","5","6","7"];
// mainOutputChannel = PopUpMenu(w,Rect(150,130,90,24));
// mainOutputChannel.items = itemOutputArray;


// Master output Volume
// StaticText (window1, Rect (245,145, 110, 24)).string_('Output Amp').align_(\center).font_(Font(size:  10 ));
// masterOutputAmp = Knob(w, Rect (290, 120, sizeKnob, sizeKnob));
// masterOutputAmp.value = 0;

//Chord1, Chord2, Chord3
buttonChord1 = Button( window1, Rect( 30, 160, 90, 30 )).font_(Font(size: 10));
buttonChord1.states = [    // array of states
            [ "P01 OFF", Color.black ], // first state
            [ "P01 ON", Color.white, Color.red ],  // second state etc.
            ];


buttonChord2 = Button( window1, Rect( 140, 160, 90, 30 )).font_(Font(size: 10));
buttonChord2.states = [    // array of states
            [ "P02 OFF", Color.black ], // first state
            [ "P02 ON", Color.white, Color.red ],  // second state etc.
            ];

buttonChord3 = Button( window1, Rect( 255, 160, 90, 30 )).font_(Font(size: 10));
buttonChord3.states = [    // array of states
            [ "P03 OFF", Color.black ], // first state
            [ "P03 ON", Color.white, Color.red ],  // second state etc.
            ];

//Chord4, Chord5, Chord6
buttonChord4 = Button( window1, Rect( 30, 210, 70, 30 )).font_(Font(size: 10));
buttonChord4.states = [    // array of states
            [ "P04 OFF", Color.black ], // first state
            [ "P04 ON", Color.white, Color.red ],  // second state etc.
            ];

buttonChord5 = Button( window1, Rect( 112, 210, 70, 30 )).font_(Font(size: 10));
buttonChord5.states = [    // array of states
            [ "P05 OFF", Color.black ], // first state
            [ "P05 ON", Color.white, Color.red ],  // second state etc.
            ];

buttonChord6 = Button( window1, Rect( 193, 210, 70, 30 )).font_(Font(size: 10));
buttonChord6.states = [    // array of states
            [ "P06 OFF", Color.black ], // first state
            [ "P06 ON", Color.white, Color.red ],  // second state etc.
            ];

buttonChord7 = Button( window1, Rect( 275, 210, 70, 30 )).font_(Font(size: 10));
buttonChord7.states = [    // array of states
            [ "P07 OFF", Color.black ], // first state
            [ "P07 ON", Color.white, Color.red ],  // second state etc.
            ];

StaticText (window1, Rect (20,245, 90, 40)).string_('Chords Amp').align_(\left).font_(Font(size:  10 ));
chordsAmp = Slider(window1,Rect(95,255,250,24));
chordsAmp.valueAction = 0.6;


// Substituido por lista de seções na versão autonoma
// Stethoscope
// StaticText (window1, Rect (0,inicioScope-30, w1largura,
24)).string_('STETHOSCOPE').align_(\center).font_(Font(size: 10 ));
```

```
// ~scope = Stethoscope.new( s, view: scopeWindow);


textBoxSections = ListView(scopeWindow,Rect(0, 0, 100, 220))
    .items_([ "Waiting", "P01", "Fermata 1", "P02", "Fermata 2", "P03", "Afinação 1", "P04", "P05", "P06","P07","Off" ])
    .background_(Color.clear)
    .hiliteColor_(Color.red(alpha:0.6));


/*****************************************************************************/
// Window 2 - FreqShift
/*****************************************************************************/

StaticText (window2, Rect(0,5, w2largura, 24)).font_(Font("Arial Black", 13,0)).string_('Freq
Shift').align_(\center);

// PopUpMenu Channel Input
StaticText (window2, Rect (20,35, 90, 24)).string_('Input Ch. 0-7').align_(\center).font_(Font(size:  10 ));
fsItensIn = ["0","1","2","3","4","5","6","7"];
fsChannelInput = PopUpMenu(window2,Rect(20,55,90,24));
fsChannelInput.items = fsItensIn;


// knob amplitude dry
StaticText (window2, Rect (135,30, 40, 24)).string_('dry').align_(\center).font_(Font(size:  10 ));
fsDryAmp = Knob(window2, Rect (135, 55, sizeKnob, sizeKnob));
fsDryAmp.value = 1;

// knob amplitude wet
StaticText (window2, Rect (210,30, 40, 24)).string_('wet').align_(\center).font_(Font(size:  10 ));
fsWetAmp = Knob(window2, Rect (210, 55, sizeKnob, sizeKnob));
fsWetAmp.value = 1;

// PopUpMenu Channel Output
StaticText (window2, Rect (280,35, 95, 24)).string_('Output Ch. 0-7').align_(\center).font_(Font(size:  10 ));
fsItensOut = ["0","1","2","3","4","5","6","7"];
fsChannelOutput = PopUpMenu(window2,Rect(280,55,90,24));
fsChannelOutput.items = fsItensOut;

// slider 1 - Freq Shift
StaticText (window2, Rect (35,100, 30, 40)).string_('Freq').align_(\left).font_(Font(size:  10 ));
fsShift = Slider(window2,Rect(75,110,220,24));
fsShiftNumber = NumberBox(window2,Rect(305,110,60,24));
fsShiftNumber.value = fsShift.value;

// Button - ligar amplitude à frequencia
fsCheckFreq = Button( window2, Rect( 30, 160, 130, 30 )).font_(Font(size: 10));
fsCheckFreq.states = [    // array of states
            [ "Off (Amp -> Freq)", Color.black ], // first state
            [ "On  (Amp -> Freq)", Color.white, Color.red ],  // second state etc.
            ];

// Pan Control
StaticText (window2, Rect (180,130, 100, 40)).string_('Pan Control').align_(\left).font_(Font(size:  10 ));
fsPan = Slider(window2,Rect(170,165,80,20));
fsPan.value = 0.5;
fsPanRand = Button(window2, Rect( 260,165,50,25)).font_(Font(size: 9));
fsPanRand.states = [
[ "Rand OFF" , Color.black ],
[ "Rand ON", Color.white, Color.red ],
];
fsPanSine = Button(window2, Rect( 320,165,50,25)).font_(Font(size: 9));
fsPanSine.states = [
[ "Sine OFF" , Color.black ],
[ "Sine ON", Color.white, Color.red ],
];

/*****************************************************************************/
// Window 3 - Delay
/*****************************************************************************/

StaticText (window3, Rect(0,5, w3largura, 24)).font_(Font("Arial Black",
13,0)).string_('Grain').align_(\center);
```

```
// PopUpMenu Channel Input
StaticText (window3, Rect (20,35, 90, 24)).string_('Input Ch. 0-7').align_(\center).font_(Font(size:  10 ));
pdItensIn = ["0","1","2","3","4","5","6","7"];
pdChannelInput = PopUpMenu(window3,Rect(20,55,90,24));
pdChannelInput.items = pdItensIn;


// knob amplitude dry
StaticText (window3, Rect (135,30, 40, 24)).string_('dry').align_(\center).font_(Font(size:  10 ));
pdDryAmp = Knob(window3, Rect (135, 55, sizeKnob, sizeKnob));
pdDryAmp.value = 1;

// knob amplitude wet
StaticText (window3, Rect (210,30, 40, 24)).string_('wet').align_(\center).font_(Font(size:  10 ));
pdWetAmp = Knob(window3, Rect (210, 55, sizeKnob, sizeKnob));
pdWetAmp.value = 1;

// Delay time 0.0 a 2 segundos
StaticText (window3, Rect (10,100, 340, 40)).string_("Delay Time (0.08s - 1.0s)").align_(\left).font_(Font(size:
 10 ));
pdDelayTime = Slider(window3,Rect(160,110,150,24));
pdDelayTimeNumber = NumberBox(window3,Rect(320,110,60,24));
pdDelayTimeNumber.value = pdDelayTime.value;

// Decay time 0 a 10 segundos
StaticText (window3, Rect (10,130, 340, 40)).string_("Decay Time (0s a 10s)").align_(\left).font_(Font(size:
10));
pdDecayTime = Slider(window3,Rect(160,140,150,24));
pdDecayTimeNumber = NumberBox(window3,Rect(320,140,60,24));
pdDecayTimeNumber.value = pdDecayTime.value;

// Button - ligar amplitude à frequencia
pdCheckDelay = Button( window3, Rect( 25, 185, 140, 30 )).font_(Font(size: 10));
pdCheckDelay.states = [    // array of states
            [ "Off (Amp -> Grain time)", Color.black ], // first state
            [ "On  (Amp -> Grain time)", Color.white, Color.red ],  // second state etc.
            ];

// PopUpMenu Channel Output
StaticText (window3, Rect (280,35, 90, 24)).string_('Output Ch. 0-7').align_(\center).font_(Font(size: 10 ));
pdItensOut = ["0","1","2","3","4","5","6","7"];
pdChannelOutput = PopUpMenu(window3,Rect(280,55,90,24));
pdChannelOutput.items = pdItensOut;

// Pan Control
StaticText (window3, Rect (180,160, 100, 40)).string_('Pan Control').align_(\left).font_(Font(size:  10 ));
pdPan = Slider(window3,Rect(170,195,80,20));
pdPan.value = 0.5;
pdPanRand = Button(window3, Rect( 260,195,50,25)).font_(Font(size: 9));
pdPanRand.states = [
[ "Rand OFF" , Color.black ],
[ "Rand ON", Color.white, Color.red ],
];
pdPanSine = Button(window3, Rect( 320,195,50,25)).font_(Font(size: 9));
pdPanSine.states = [
[ "Sine OFF" , Color.black ],
[ "Sine ON", Color.white, Color.red ],
];

       StaticText (w, Rect (375, 515, 100, 40)).string_('2013-RBGT').align_(\left).font_(Font(size:  7 ));

/************************************************************************************/
// Instanciando Synths
/************************************************************************************/
///*
mSyn = Synth(\soundControl);
fsSyn = Synth(\freqShift);
pdSyn = Synth(\pizzicatoDelay);
// chord1Syn = Synth(\chord1);
//  chord2Syn = Synth(\chord2);
chord4Syn = Synth(\chord4, [\finalamp, 0]);
```

```
chord5Syn = Synth(\transpose);
//*/


/*****************************************************************************************/
// Ações do GUI
//
// Determinação dos comportamentos padrões do processamento são programados nesta
// parte do código. Veja comentários abaixo.
/*****************************************************************************************/

// Window 1 - Master
/* Retirado da versão autônoma
mainInputChannel.action_({arg select;
        mSyn.set(\inChannel, select.value);

});
*/

w.view.keyDownAction_({

case
{ sectionCounter == 0} // P01
{   s.unmute;
s.volume = 0;
buttonChord1.valueAction = 1;
sectionCounter = sectionCounter + 1;
textBoxSections.valueAction = 1;
}
{ sectionCounter == 1} // Fermata 1
{ textBoxSections.valueAction = 2;
sectionCounter = sectionCounter + 1;

~fermataGrainWetOff = Routine({
var sInicial, sFinal, sTime, sDelta, sElaps;
sInicial = 1; sFinal = 0.0; sTime = 6;
sDelta = sFinal-sInicial;
sElaps = 1/(1024/sTime);

1024.do({ pdWetAmp.valueAction = sInicial;

sInicial = sInicial + (sDelta/1024);
//sInicial.postln;
sElaps.yield;
})
});
AppClock.sched(0,~fermataGrainWetOff);

}
{ sectionCounter == 2} // P02
{   buttonChord2.valueAction = 1;
sectionCounter = sectionCounter + 1;
textBoxSections.valueAction = 3;
}
{ sectionCounter == 3} // Fermata 2 - Ja ligar o botão mas não mexer nos faders;
{   textBoxSections.valueAction = 4;
buttonChord3.valueAction = 1;
sectionCounter = sectionCounter + 1;
}
{ sectionCounter == 4} // P03
{   textBoxSections.valueAction = 5;
// Colocar movimentação dos faders do P03
// Rotinas de automação pedidas pelo Alexandre - para poder tocar sozinho.

~freqShiftWetOn = Routine({
var sInicial, sFinal, sTime, sDelta, sElaps;
sInicial = 0.0; sFinal = 0.5; sTime = 13;
sDelta = sFinal-sInicial;
sElaps = 1/(1024/sTime);

1024.do({ fsWetAmp.valueAction = sInicial;

sInicial = sInicial + (sDelta/1024);
```

```
//sInicial.postln;
sElaps.yield;
})
});


~sliderControl = Routine({
var sInicial, sFinal, sTime, sDelta, sElaps;
sInicial = 0.3; sFinal = 0.7257; sTime = 74;
sDelta = sFinal-sInicial;
sElaps = 1/(1024/sTime);

1024.do({ mTriggerSpeed.value = sInicial;

sInicial = sInicial + (sDelta/1024);
//sInicial.postln;
sElaps.yield;
})
});

~freqShiftWetOff = Routine({
var sInicial, sFinal, sTime, sDelta, sElaps;
sInicial = 0.5; sFinal = 0.0; sTime = 19;
sDelta = sFinal-sInicial;
sElaps = 1/(1024/sTime);

1024.do({ fsWetAmp.valueAction = sInicial;

sInicial = sInicial + (sDelta/1024);
//sInicial.postln;
sElaps.yield;
})
});

AppClock.sched(74,~freqShiftWetOff);
AppClock.sched(0,~sliderControl);
AppClock.sched(0,~freqShiftWetOn);

// Fim do bloco de inclusão de Rotinas de automação




sectionCounter = sectionCounter + 1;
}
{ sectionCounter == 5} // Afinação 1 - Botao P04 ligado mas sem movimentação de faders.
{   buttonChord4.valueAction = 1;
sectionCounter = sectionCounter + 1;
textBoxSections.valueAction = 6;
}
{ sectionCounter == 6} // P04
{   textBoxSections.valueAction = 7;
sectionCounter = sectionCounter + 1;
// Colocar movimentação dos faders do P04
// incluido na versão autonoma

~chord4SliderControl = Routine({
var sInicial, sFinal, sTime, sDelta, sElaps;
sInicial = 0.72; sFinal = 1; sTime = 68;
sDelta = sFinal-sInicial;
sElaps = 1/(1024/sTime);
sInicial.postln;
1024.do({ mTriggerSpeed.value = sInicial;

sInicial = sInicial + (sDelta/1024);
sElaps.yield;
})
});

~chord4FreqShiftWetOff = Routine({
var sInicial, sFinal, sTime, sDelta, sElaps;
sInicial = 0.6; sFinal = 0.0; sTime = 12;
sDelta = sFinal-sInicial;
```

```
sElaps = 1/(1024/sTime);

1024.do({ fsWetAmp.valueAction = sInicial;

sInicial = sInicial + (sDelta/1024);
//sInicial.postln;
sElaps.yield;
})
});

~chord4GrainWetOff = Routine({
var sInicial, sFinal, sTime, sDelta, sElaps;
sInicial = 1; sFinal = 0.0; sTime = 12;
sDelta = sFinal-sInicial;
sElaps = 1/(1024/sTime);

1024.do({ pdWetAmp.valueAction = sInicial;

sInicial = sInicial + (sDelta/1024);
//sInicial.postln;
sElaps.yield;
})
});


AppClock.sched(68,~chord4GrainWetOff);
AppClock.sched(68,~chord4FreqShiftWetOff);
AppClock.sched(0,~chord4SliderControl);


// final da parte incluida na versão autonoma


}
{ sectionCounter == 7} // P05
{   sectionCounter = sectionCounter + 1;
buttonChord5.valueAction = 1;
textBoxSections.valueAction = 8;

}
{ sectionCounter == 8} // P06
{   sectionCounter = sectionCounter + 1;
buttonChord6.valueAction = 1;
textBoxSections.valueAction = 9;


}
{ sectionCounter == 9} // P07
{   sectionCounter = sectionCounter + 1;
textBoxSections.valueAction = 10;
buttonChord7.valueAction =1 ;


}
{ sectionCounter == 10 } // Off
{
textBoxSections.valueAction = 11;
~fadeOut = Routine({
var sInicial, sFinal, sTime, sDelta, sElaps;
sInicial = 0.0; sFinal = -99; sTime = 5;
sDelta = sFinal-sInicial;
sElaps = 1/(1024/sTime);

1024.do({ s.volume = sInicial;

sInicial = sInicial + (sDelta/1024);
//sInicial.postln;
sElaps.yield;
})
});


AppClock.sched(0,~fadeOut);
```

```
};

});

// mainOutputChannel.action_({ arg select;
// mSyn.set(\outChannel, select.value);
// });

masterInputAmp.action_({
mSyn.set(\inAmp, masterInputAmp.value);
});

// masterOutputAmp.action_({
// mSyn.set(\outAmp, masterOutputAmp.value);
// });

mTriggerSpeed.action_({
mSyn.set(\triggerSpeed, controlTrigger.map(mTriggerSpeed.value));
mTriggerSpeedNumber.valueAction = controlTrigger.map(mTriggerSpeed.value);
});

// Chords Actions


buttonChord1.action_({ arg button;
if (button.value == 1,
{
// Determinações inicias do P01 ******************************
  masterInputAmp.valueAction =0.8;
  chord4Syn.set([\finalamp, 0.8, \channel, mainInputChannel.value]);
  pdChannelInput.valueAction = mainInputChannel.value;
  mTriggerSpeed.valueAction = 1;
  pdWetAmp.valueAction = 1;
  pdDryAmp.valueAction = 1;
  fsWetAmp.valueAction = 0;
  fsDryAmp.valueAction = 0;
  pdDecayTime.valueAction = 0.91;
  pdCheckDelay.valueAction = 1;
  pdPanRand.valueAction = 1;
// ********************************************************

},
{ chord4Syn.set(\finalamp, 0)});


});


buttonChord2.action_({
arg button;
// Determinação INICIAL ***********************
buttonChord1.valueAction = 0;
// pdChannelInput.valueAction = mainInputChannel.value;
//chordsAmp.valueAction = 0.2;
mTriggerSpeed.valueAction = 1;
pdCheckDelay.valueAction = 0;
        pdPanRand.valueAction = 0;
       chordsAmp.value = 0.2;


// ******************************************

if (button.value == 1, // primeiro nível do IF - Botão Clicado?
{ "botao ligado".postln; // Botão clicado True;

r = OSCresponder(s.addr,'tartini',
{ arg time,responder,msg;
{
  if ( (msg[3] > 79) && (msg[3] < 85), // segundo if - Procura MI
    { // Procura MI - True
      if ( msg[4] > 0.9,  // Terceiro if - Forte o suficiente?
```

```
       { // Terceiro if - True
     "achei um mi bom".postln;

        w = Synth(\chord1, [
        \freqs, Array.fill(8,{[415.30, 329.63, 440, 466.16,
622.25].choose})*Array.fill(8,{[0.5,1,2,3,4].choose}),
\panini, (1.0).rand2,
\panend, (1.0).rand2,
        \amp, chordsAmp.value
        ]
        );


         }, {} // Terceiro if - False
         );},
{}); // Segundo If - False

}.defer;
          }).add;
          },
          { // Primeiro if - False
w.free;
          r.remove;
          });
          });

buttonChord3.action_({

arg button;
// Determinação INICIAL ************************
buttonChord2.valueAction = 0;
            chordsAmp.valueAction=0.08;
//fsChannelInput.valueAction = mainInputChannel.value;
fsWetAmp.valueAction = 0.5;
fsDryAmp.valueAction = 1.0;
pdDryAmp.valueAction = 0;
mTriggerSpeed.valueAction = 0.3;
fsCheckFreq.valueAction = 1;
fsPanSine.valueAction = 1;
// ***************************************
if ( button.value == 1,
{



/*~chimes = Routine({
Synth(\chord2, [\freq,
[26,27,0,28,32,33,38,39,0,40,44,0,45,50,51,0,52,56,57,62,63,64,0,68,69,74,0,0,0,0,0,0,75,76,80,81,86,87,88,92,93,98,99,
100,104,105].choose.midicps, \dur, [0.001,0.05,0.01,0.005,0.09,0.2,0.26,0.32,0.75,0.9].choose, \amp, chordsAmp.value]);
(0.9).rand.wait;
});

AppClock.sched(0,~chimes);*/

~chimes = Pbind(
\freq,
Prand([26,27,0,28,32,33,38,39,0,40,44,0,45,50,51,0,52,56,57,62,63,64,0,68,69,74,0,0,0,0,0,0,75,76,80,81,86,87,88,92,93,
98,99,100,104,105].midicps, inf),
\dur, (Prand([0.001,0.05,0.01,0.005,0.09,0.2,0.26,0.32,0.75,0.9],inf)),
\instrument, \chord2, \amp, chordsAmp.value;
).play;


},
{
~chimes.stop;
~chimesfadeOut = Pbind(
\freq,
Prand([26,27,0,0,0,0,28,32,33,38,0,39,40,44,45,50,51,52,56,57,62,0,0,0,0,63,64,68,69,74,75,0,0,0,76,80,81,86,87,88,92,93
,98,99,100,104,105].midicps, 50),
\dur, (Prand([0.001,0.05,0.01,0.005,0.09,0.2,0.26,0.32,0.75,0.9],50)),
\instrument, \chord2, \amp, Pseries(chordsAmp.value,(chordsAmp.value)/49,50)).play;
```

```
 });

 });



buttonChord4.action_({ arg button;

if (button.value == 1, {
// Determinação INICIAL ************************
buttonChord3.valueAction = 0;
pdWetAmp.valueAction = 1;
pdDryAmp.valueAction = 1;
pdCheckDelay.valueAction = 1;
fsDryAmp.valueAction = 0;
fsWetAmp.valueAction = 0.6;
pdDecayTime.valueAction = 0.17;
pdPanSine.valueAction = 1;
mTriggerSpeed.valueAction = 0.72;
pdDecayTime.valueAction = 0.91;
// ************************************************
},
{});



});

buttonChord5.action_({ arg button;


// Determinação INICIAL ************************
var detect = 0.6;
chordsAmp.valueAction = 0.8;
buttonChord4.valueAction = 0;
pdDryAmp.valueAction = 0.25;
pdWetAmp.valueAction = 0;
fsDryAmp.valueAction = 0;
fsWetAmp.valueAction = 0;
fsCheckFreq.valueAction = 0;
pdCheckDelay.valueAction = 0;
fsPanSine.valueAction = 0;
mTriggerSpeed.valueAction = 0.6;
masterInputAmp.valueAction = 1;
     // ********************************************************
if (button.value ==1, { // Primeiro IF - Button on TRUE
chord5Syn.set(\transposeInputChannel, mainInputChannel.value);
chord5Syn.set(\amp, chordsAmp.value);
v = OSCresponder(s.addr,'tartini',
{ arg time,responder,msg; // Função Responder

{


// Eb -> toca 4J (1.3348384002921), 5J (1.4983068018482)   chord5Syn.set(\mix, 0)
if ((msg[3] > 37.39) && (msg[3] < 40.39) && (msg[4]>detect), {
//"eb 1".postln;
chord5Syn.set(\freq, 1.4983068018482);
  },{/*chord5Syn.set(\freq,1)*/});
if ((msg[3] > 75.28) && (msg[3] < 80.28) && (msg[4]>detect), {//"eb 2".postln;
  chord5Syn.set(\freq,1.4983068018482);
  },{/*chord5Syn.set(\freq,1)*/});

if ((msg[3] > 150.56) && (msg[3] < 160.56) && (msg[4]>detect), {// "eb3".postln;
  chord5Syn.set(\freq,1.3348384002921);
  },{/*chord5Syn.set(\freq,1)*/});
// Ab transpõe para D acima
if ((msg[3] > 50.41) && (msg[3] < 53.41) && (msg[4]>detect), {// "ab 1".postln;
  chord5Syn.set(\freq,1.4142127272727);
  },{/*chord5Syn.set(\freq,1)*/});
if ((msg[3] > 101.32) && (msg[3] < 106.32) && (msg[4]>detect), {// "ab 2".postln;
  chord5Syn.set(\freq,1.4142127272727);
  },{/*chord5Syn.set(\freq,1)*/});
```

```
if ((msg[3] > 202.65) && (msg[3] < 212.65) && (msg[4]>detect), { //"ab 3".postln;
  chord5Syn.set(\freq,1.4142127272727);
  },{/*chord5Syn.set(\freq,1)*/});
// A natural transpoem para Eb 1.4142127272727
if ((msg[3] > 53.5) && (msg[3] < 56.5) && (msg[4]>detect), { //"a 1".postln;
  chord5Syn.set(\freq,1.4142127272727);
  },{/*chord5Syn.set(\freq,1)*/});
if ((msg[3] > 107.5) && (msg[3] < 112.5) && (msg[4]>detect), { //"a 2".postln;
  chord5Syn.set(\freq,1.4142127272727);
  },{/*chord5Syn.set(\freq,1)*/});
if ((msg[3] > 215) && (msg[3] < 225) && (msg[4]>detect), {// "a 3".postln;
  chord5Syn.set(\freq,1.4142127272727);
  },{/*chord5Syn.set(\freq,1)*/});
//Bb transpoem para Eb 1.3348383830583
if ((msg[3] > 56.77) && (msg[3] < 59.77) && (msg[4]>detect), {// "bb 1".postln;
  chord5Syn.set(\freq,1.3348383830583);
  },{/*chord5Syn.set(\freq,1)*/});
if ((msg[3] > 114.04) && (msg[3] < 119.04) && (msg[4]>detect), {// "bb 2".postln;
  chord5Syn.set(\freq,1.3348383830583);
  },{/*chord5Syn.set(\freq,1)*/});
if ((msg[3] > 228.08) && (msg[3] < 238.08) && (msg[4]>detect), { //"bb 3".postln;
  chord5Syn.set(\freq,1.3348383830583);
  },{/*chord5Syn.set(\freq,1)*/});
// D transpoem para Ab
if ((msg[3] > 35.2) && (msg[3] < 38.2) && (msg[4]>detect), {//"Re 1".postln;
  chord5Syn.set(\freq,1.4142127272727);
  },{/*chord5Syn.set(\freq,1)*/});
if ((msg[3] > 70.91) && (msg[3] < 75.91) && (msg[4]>detect), {//"re 2".postln;
  chord5Syn.set(\freq,1.4142127272727);
  },{/*chord5Syn.set(\freq,1)*/});
if ((msg[3] > 141.83) && (msg[3] < 151.83) && (msg[4]>detect), {//"re 3".postln;
  chord5Syn.set(\freq,1.4142127272727);
  },{/*chord5Syn.set(\freq,1)*/});
// "procurando".postln;

}.defer;
}).add;

~filterSynth = Pbind(
\instrument, \filtro,
\freq, Prand([66, 67, 72, 73, 74, 0, 0, 0, 0, 0,78, 79, 84, 85, 86 ].midicps, inf),
\dur, Prand([1, 0.3, 4, 2, 1.8, 0.5, 3, 5, 1],inf),
\band, Prand([0.01,0.1,0.05,0.07,0.09,0.2,0.005, 0.5]*5,inf),
\panini, Prand([-1,-0.8,-0.5,-0.2,0,0.2,0.5,0.8,1],inf),
\panend, Prand([1,0.8,0.5,0.2,0,-0.2,-0.5,-0.8,-1],inf),
\amp, chordsAmp.value).play;


},{v.remove;                                    // If Button On - False
chord5Syn.set(\amp,0);
~filterSynth.stop;
}
);

});

buttonChord6.action_({ arg button;
/* Determinações Iniciais ***************************/
        var detect = 0.6;

        pdDryAmp.valueAction = 0.25;
pdWetAmp.valueAction = 0;
fsDryAmp.valueAction = 0;
fsWetAmp.valueAction = 0;
fsCheckFreq.valueAction = 0;
pdCheckDelay.valueAction = 0;
fsPanSine.valueAction = 0;
mTriggerSpeed.valueAction = 0.6;
masterInputAmp.valueAction = 1;
```

```
/*****************************************************/
if (button.value ==1, { // Primeiro IF - Button on TRUE
buttonChord5.valueAction = 0;
chordsAmp.valueAction = 0.2;
chordsAmp.value = 0.2;
chord5Syn.set(\transposeInputChannel, mainInputChannel.value);
chord5Syn.set(\amp, chordsAmp.value);
chord5Syn.set(\freq, 1.4142127272727);

~filterSynth2 = Pbind(
\instrument, \filtro,
\freq, Prand([66, 67, 72, 73, 74, 0, 0, 0, 0, 0,78, 79, 84, 85, 86 ].midicps, inf),
\dur, Prand([1, 0.3, 4, 2, 1.8, 0.5, 3, 5, 1],inf),
\band, Prand([0.01,0.1,0.05,0.07,0.09,0.2,0.005, 0.5]*5,inf),
\panini, Prand([-1,-0.8,-0.5,-0.2,0,0.2,0.5,0.8,1],inf),
\panend, Prand([1,0.8,0.5,0.2,0,-0.2,-0.5,-0.8,-1],inf),
\amp, chordsAmp.value).play;



},{ ~filterSynth2.stop;
chord5Syn.set(\amp,0);}  // If Button On - False
);
});

buttonChord7.action_({  arg button;
if (button.value == 1,
{
// Determinações inicias do P07 ******************************
  buttonChord6.valueAction = 0;
  chord4Syn.set([\finalamp, 0.8, \channel, mainInputChannel.value]);
  mTriggerSpeed.valueAction = 1;
  pdWetAmp.valueAction = 1;
  pdDryAmp.valueAction = 1;
  fsWetAmp.valueAction = 0;
  fsDryAmp.valueAction = 0;
  pdDecayTime.valueAction = 0.91;
  pdCheckDelay.valueAction = 1;
  pdPanRand.valueAction = 1;
// *********************************************************

},
{ chord4Syn.set(\finalamp, 0)});



});

// Slider da amplitude dos acordes. Enviar para todos os Synths de Chords.

chordsAmp.action_({   case
{ buttonChord1.value == 1} { chord4Syn.set(\finalamp, chordsAmp.value) }
{ buttonChord2.value == 1} { w.set(\amp, chordsAmp.value) }
{ buttonChord5.value == 1} { chord5Syn.set(\amp, chordsAmp.value)};


});


// Window 2 - FreqShift

fsShift.action_({
fsSyn.set(\shift, controlShift.map(fsShift.value));
fsShiftNumber.value = controlShift.map(fsShift.value);
 });


fsChannelInput.action_({
arg select;
         fsSyn.set(\fsInChannel, select.value);
});
```

```
fsChannelOutput.action_({
arg select;
         fsSyn.set(\fsOutChannel, select.value);
});

fsDryAmp.action_({
fsSyn.set(\fsAmpDry, fsDryAmp.value);
});

fsWetAmp.action_({
fsSyn.set(\fsAmpWet, fsWetAmp.value);
});

fsCheckFreq.action_({
arg button;
if ( button.value == 1,
{
          //OSCresponderNode
a = OSCresponder(s.addr, '/tr', { arg time, responder, msg, cshift;

{

~amplitude = msg[3];
msg[0].post; " - ".post; msg[1].post; " - ".post; msg[2].post; " - ".post; msg[3].postln;
fsSyn.set(\shift,
~amplitude.value.linlin(0,1,1,22000));
fsShift.value =  ~amplitude.value;
fsShiftNumber.value =
~amplitude.value.linlin(0,1,1,22000);

}.defer;

}).add;

},
{ a.remove;
// "desligado".postln;
 })
 });

fsPanRand.action_({ arg button;

if (button.value ==1,
{
fsPanSine.valueAction = 0;
fsRoutineSine.stop;
fsRoutineRand.reset;
fsRoutineRand.play;
},
{
fsRoutineRand.stop;
fsSyn.set(\fsPan, 0);

});
});
fsPan.action_({
fsRoutineRand.stop;
fsRoutineSine.stop;
fsPanRand.valueAction = 0;
fsPanSine.valueAction=0;
fsSyn.set(\fsPan, controlFsPan.map(fsPan.value))
});

fsPanSine.action_({ arg button;

if (button.value ==1,
{ fsPanRand.valueAction = 0;
fsRoutineRand.stop;
fsRoutineSine.reset;
fsRoutineSine.play;
},
{
fsRoutineSine.stop;
```

```
fsSyn.set(\fsPan, 0);
});
});


// Window 3 - Pizzicato Delay

pdChannelInput.action_({
arg select;
        pdSyn.set(\pdInChannel, select.value);
});

pdChannelOutput.action_({
arg select;
        pdSyn.set(\pdOutChannel, select.value);
});


pdDelayTime.action_({ pdSyn.set(\delayTime, controlDelayTime.map(pdDelayTime.value));
pdDelayTimeNumber.value = controlDelayTime.map(pdDelayTime.value);
});
pdDecayTime.action_({ pdSyn.set(\decayTime, controlDecayTime.map(pdDecayTime.value));
pdDecayTimeNumber.value = controlDecayTime.map(pdDecayTime.value);
});
pdDryAmp.action_({ pdSyn.set(\pdAmpDry, pdDryAmp.value)
});

pdWetAmp.action_({ pdSyn.set(\pdAmpWet, pdWetAmp.value)
});

pdCheckDelay.action_({arg button;
if ( button.value == 1,
{
        //OSCresponderNode
b = OSCresponder(s.addr, '/tr', { arg time, responder, msg, cshift;

{

~amplitude = msg[3];
// ~amplitude.value.post;" - ".post; ~amplitude.value.linlin(0,1,1,22000).postln;
pdSyn.set(\delayTime,
~amplitude.value.linlin(0,1,0.08,1));
pdDelayTimeNumber.value =
~amplitude.value.linlin(0,1,0.08,1);
pdDelayTime.value = ~amplitude.value;
}.defer;

}).add;

},
{ b.remove; //"desligado".postln;
})
 });


pdPanRand.action_({ arg button;

if (button.value ==1,
{
pdPanSine.valueAction = 0;
pdRoutineSine.stop;
pdRoutineRand.reset;
pdRoutineRand.play;
},
{
pdRoutineRand.stop;
        pdSyn.set(\pdPan, 0);
});
});
pdPan.action_({
pdPanRand.valueAction = 0;
pdPanSine.valueAction=0;
pdPanSine.stop;
```

```
pdPanRand.stop;
pdSyn.set(\pdPan, controlPdPan.map(pdPan.value))
});

pdPanSine.action_({ arg button;

if (button.value ==1,
{ pdPanRand.valueAction = 0;
pdRoutineRand.stop;
pdRoutineSine.reset;
pdRoutineSine.play;
},
{
pdRoutineSine.stop;
  pdSyn.set(\pdPan, 0);
});
});



// criando a janela
w.front;

// encerrando janela e synth
w.onClose = { mSyn.free;
fsSyn.free;
pdSyn.free;
chord4Syn.free;
chord5Syn.free;
fsRoutineRand.clear;
fsRoutineSine.clear;
pdRoutineRand.clear;
pdRoutineSine.clear;
v.remove;
a.remove;
b.remove;
r.remove;
Window.closeAll;
AppClock.clear;
};
});
)
```

APÊNDICE C – Traverser le réseau para violoncelo e eletrônica em tempo real: partitura e código do patch

Traverser le réseau

para violoncelo e eletrônica em tempo real

ao amigo Pedro Ludwig

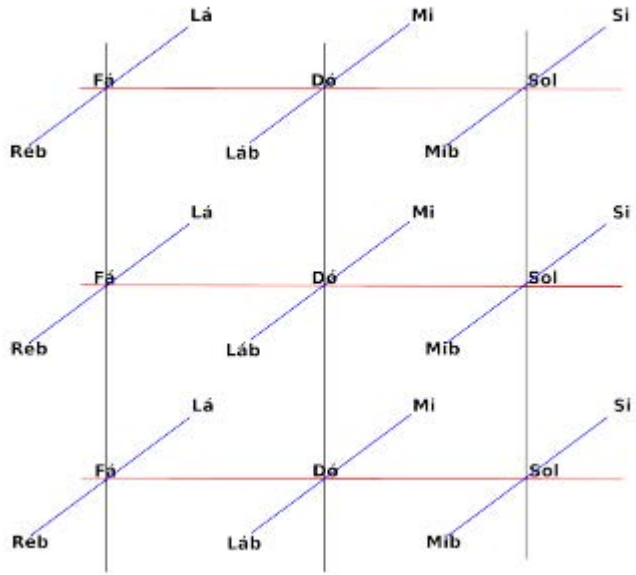
de

Rael B. Gimenes Toffolo

Estrutura Geral:

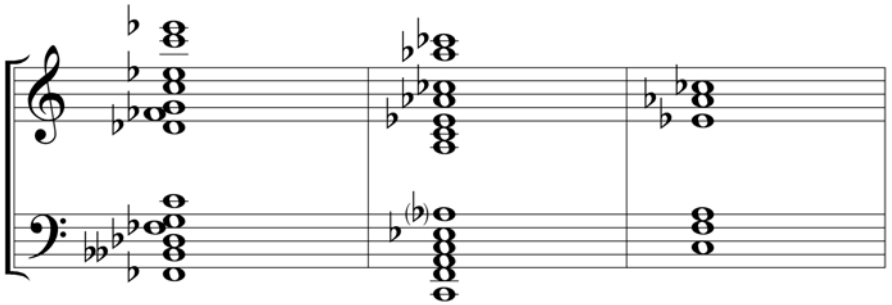
Traverser le réseau realiza uma homenagem ao compositor belga *Henri Pousseur* ao explorar sua técnica de redes harmônicas. Toda a peça, tanto em sua dimensão instrumental quanto eletroacústica terá materiais gerados a partir das redes harmônicas de Pousseur.

As redes harmônicas são uma forma de representar conjuntos de notas em um espaço relacional obtido a partir do cruzamento de eixos intervalares com calibres específicos.



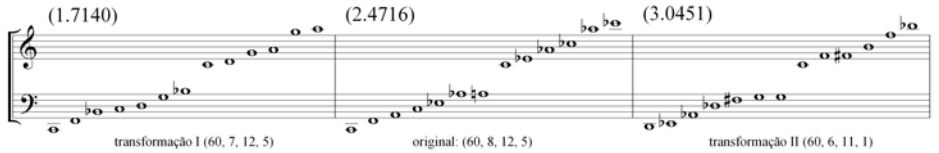
Neste exemplo temos uma rede harmônica formada por eixos X, Y, Z com intervalos de Quinta-Justa, Oitava-Justa e Terça-Maior, respectivamente. O processo de uso das redes consiste em localizar em um espaço harmônico, como o do exemplo acima, um conjunto de notas específico guardando sua posição nesse espaço de coordenadas. Depois operam-se transformações no calibre dos eixos e recuperam-se as novas notas que agora ocupam às coordenadas guardadas na etapa inicial. Tal processo resultará em um conjunto de notas que terá praticamente o mesmo perfil melódico geral, mas com intervalos diferencidos.

Em *Traverser le réseau* a entidade harmônica original é proveniente da *Sagração da Primavera* de Igor Stravinsky e consiste em um acorde "politonal" (primeiro acorde da figura abaixo), aqui transposto para melhor se acomodar à tessitura do violoncelo (segundo acorde da figura abaixo). Tal acorde contrapõe os acordes de Fá Maior e Lá bemol menor (terceiro acorde da figura abaixo).



Tal conjunto harmônico utilizado (segundo acorde da figura acima) foi projetado em uma rede harmônica de Pousseur e depois foi remapeado em outras duas redes harmônicas visando localizarmos um conjunto harmônico de menor tensão harmônica e um outro de maior tensão harmônica. Tais cálculos de tensão foram realizados a partir do cálculo de rugosidade de H. Helmhotlz e de Plomp & Levelt.

Tal processo deu origem aos três conjuntos harmônicos principais da peça, reproduzidos abaixo:



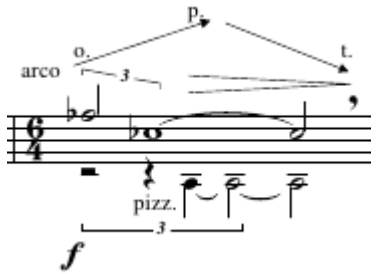
Na figura acima podemos verificar a rede original (ao meio) com seus intervalos consituíntes (abaixo da pauta) e o nível geral de tensão harmônica do conjunto de notas original (acima da pauta). À esquerda temos a *transformação I* de menor tensão harmônica e à direita temos a *transformação II* de maior tensão harmônica entre as três.

Em grande parte da peça as redes serão utilizadas de forma associada à dinâmica instrumental. Trechos de dinâmicas mais delicados gerarão material harmônico e melódico associados ao conjunto harmônico da rede *transformada I* e dinâmicas mais fortes estarão associadas ao conjunto harmônico da rede *transforada II.*

Instruções:

Grafia:

O único símbolo não convencional utilizado na peça encontra-se na página primeira página da música. Indica a movimentação do ponto de contato entre arco e cordas.



Neste exemplo deve-se atacar o arco em posição *ordinario* (indicado por **o.**) depois gradualmente movimentá-lo até *sul ponticello* (indicado por **p.**) A partir da metade do compasso deve-se movimentar o arco, gradualmetne de *sul ponticello* a *sul tasto* (indicado por **t.**).

Não há mudanças nas regras de indicação de acidentes.

As dinâmicas desempenham papel central em toda a peça e estão indicadas como sugestões gerais. As variações dinâmicas irão interferir diretamente no resultado proveniente da eletrônica em tempo real. Tais variações devem ser exploradas livremente pelo instrumentista.

As durações são quase sempre relativas e podem ser modificadas a vontade para que a parte do instrumentista se acomode aos comportamentos sonoros provenientes da eletrônica em tempo real.

Descrição geral do relacionamento instrumentista e eletrônica em tempo real:

Seção I – (P01)

A dinâmica instrumental tem um papel de destaque nesta seção. O *patch* em execução irá detectar as dinâmicas, que por sua vez, são responsáveis por disparar comportamentos sonoros diferentes. Uma camada harmônica terá densidade maior ou menor diretamente proporcional à dinâmicas *pp* e *ff*. Um conjunto de perfis melódicos variados gerado em tempo real variará de ritmos mais regulares e lentos quando forem capatadas dinâmicas mais sutis até ritmos mais irregulares e rápidos quando a dinâmica for mais forte.

Seção II – (P02)

Nesta seção, um processo de síntese granular irá construir uma camada polifônica paralelamente à linha instrumental. Tal camada será produzida com notas provenientes de três redes harmônicas de Pousseur. Para dinâmicas mais delicadas, as notas do violoncelo serão remapeadas para as notas da rede harmônica I (vide **Estrutura Geral**). Para dinâmicas intermediárias, as notas serão remapeadas para as notas da rede harmônica original e, por fim, para dinâmicas mais fortes as notas do violoncelo serão remapeadas para as notas da rede harmônica II. Tal conjunto de transformações que está diretamente relacionado à dinâmica executada pelo instrumentista cria uma variação harmônica que varia de um conjunto menos tenso a um mais tenso.

Seção III – (P03)

Mais uma vez a dinâmica será responsável pela criação da camada eletroacústica. Neste trecho a variação dinâmica é mapeada a uma taxa de 5 vezes por segundo. Essa variação será responsável por escolher um conjunto harmônico em um banco de cerca de 1600 conjuntos. Cada conjunto harmônico tem cerca de 16 notas provenientes das redes harmônicas da sessão anterior, transformadas e organizadas em uma gradação crescente de tensão harmônica. A partir de cada um desses conjuntos gerados à uma taxa de 5 vezes por segundo, será construída uma massa harmônica que terá suas notas como constituíntes. Tal massa harmônica será fortemente dinâmica e variável. As mínimas variações de dinâmicas desempenham forte interferência nesta seção.

Seção IV – (P04)

Nesta seção as notas do violoncelo terão suas frequências detectadas e tais frequências serão utilizadas para gerar uma camada harmônica que acompanhará a parte do violoncelo. As dinâmicas serão responsáveis pelo controle da densidade geral dessa camada harmônica.

Seção V – (P05)

Nesta seção, o instrumentista será convidado à improvisar a partir do conjunto de notas que aparecerá em sua tela. Dependendo da dinâmica que o instrumentista tocar, o computador irá escolher um conjunto harmônico proveniente de uma das redes harmônicas que foram utilizadas na sessão III e que estão organizadas em uma

gradação crescente de tensão harmônica. Qualquer pequena variação de dinâmica irá modificar o conjunto de notas que o computador calculará a partir das redes harmônicas. A operação do *patch* desta seção exige um pouco mais de cuidado que nas seções anteriores. Quando o botão *P05* estiver acionado, o *patch* estará detectando às dinâmicas do instrumentista para determinar o conjunto harmônico que será apresentado na tela. Quando um conjunto for apresentado na tela, o botão *P05* deve ser desligado. Tal procedimento irá alternar entre as rotinas de detecção de dinâmica e as rotinas de processamento do sinal do violoncelo que são utilizadas enquanto o instrumentista realiza sua frase de improvisação. A cada um dos 5 trechos de improvisação o controle do botão *P05* deve ser realizado conforme indicado na partitura.

Seção VI – P06

Trecho final da peça que combina um conjunto de *delays* e uma camada harmônica sintetizada a partir das notas executadas. A densidade de tal camada harmônica também está associada à dinâmica do instrumentista.

O Patch:

A programação eletroacústica foi realizada em SuperCollider, linguagem de programação e ambiente de desenvolvimento para áudio digital, desenvolvido por James MacCartney. Para executar a parte eletroacústica é necessária a instalação do SuperCollider. As instruções para sua instalação podem ser consultadas em: http://supercollider.sourceforge.net/.

As instruções de instalação e execução do *Patch* encontram-se no arquivo README do pacote compactado que pode ser baixado no site do compositor em: http://www.dmu.uem.br/lappso

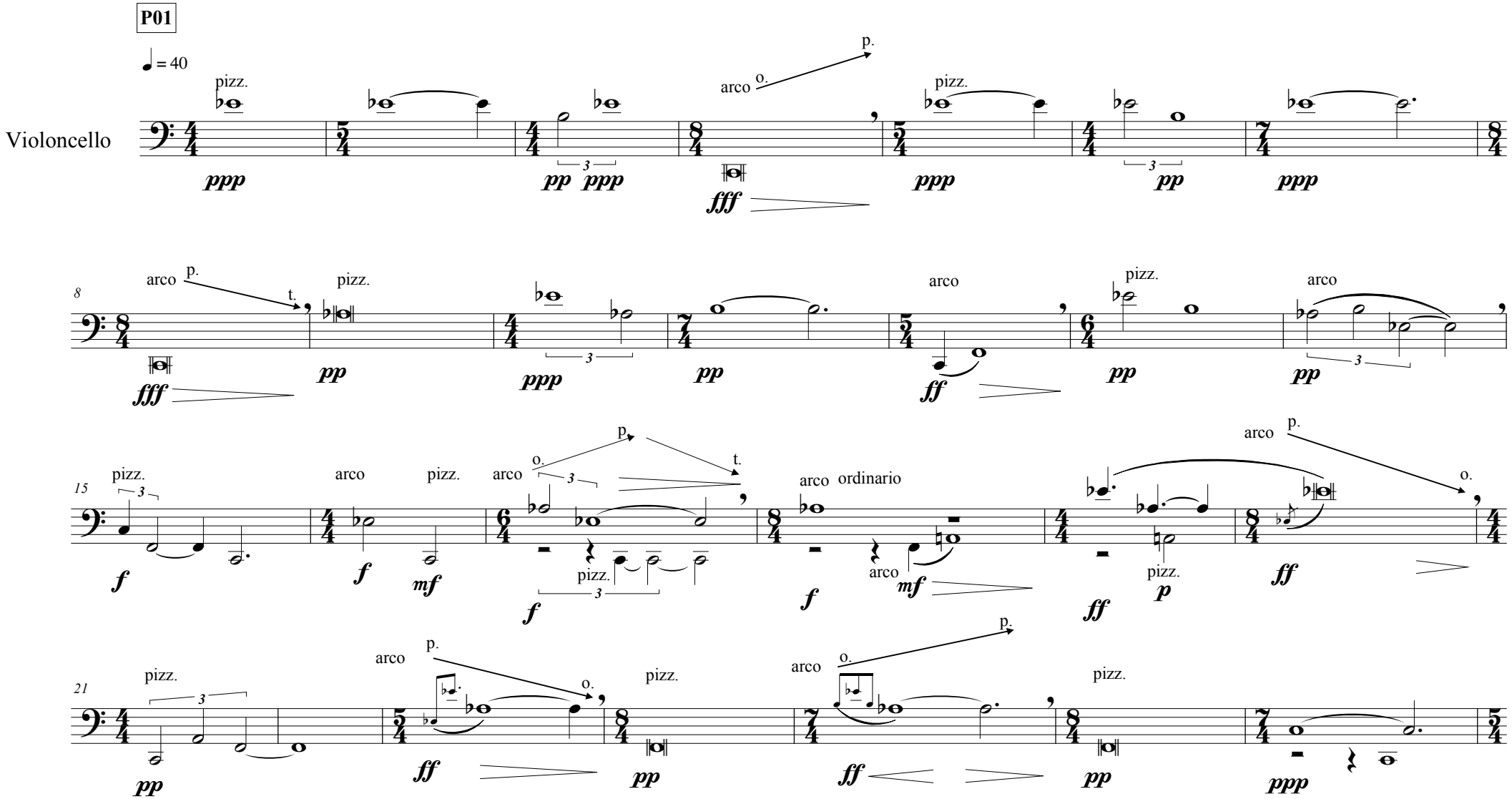
Consulte o menu EQUIPE → *Rael Bertarelli Gimenes Toffolo* no site acima.

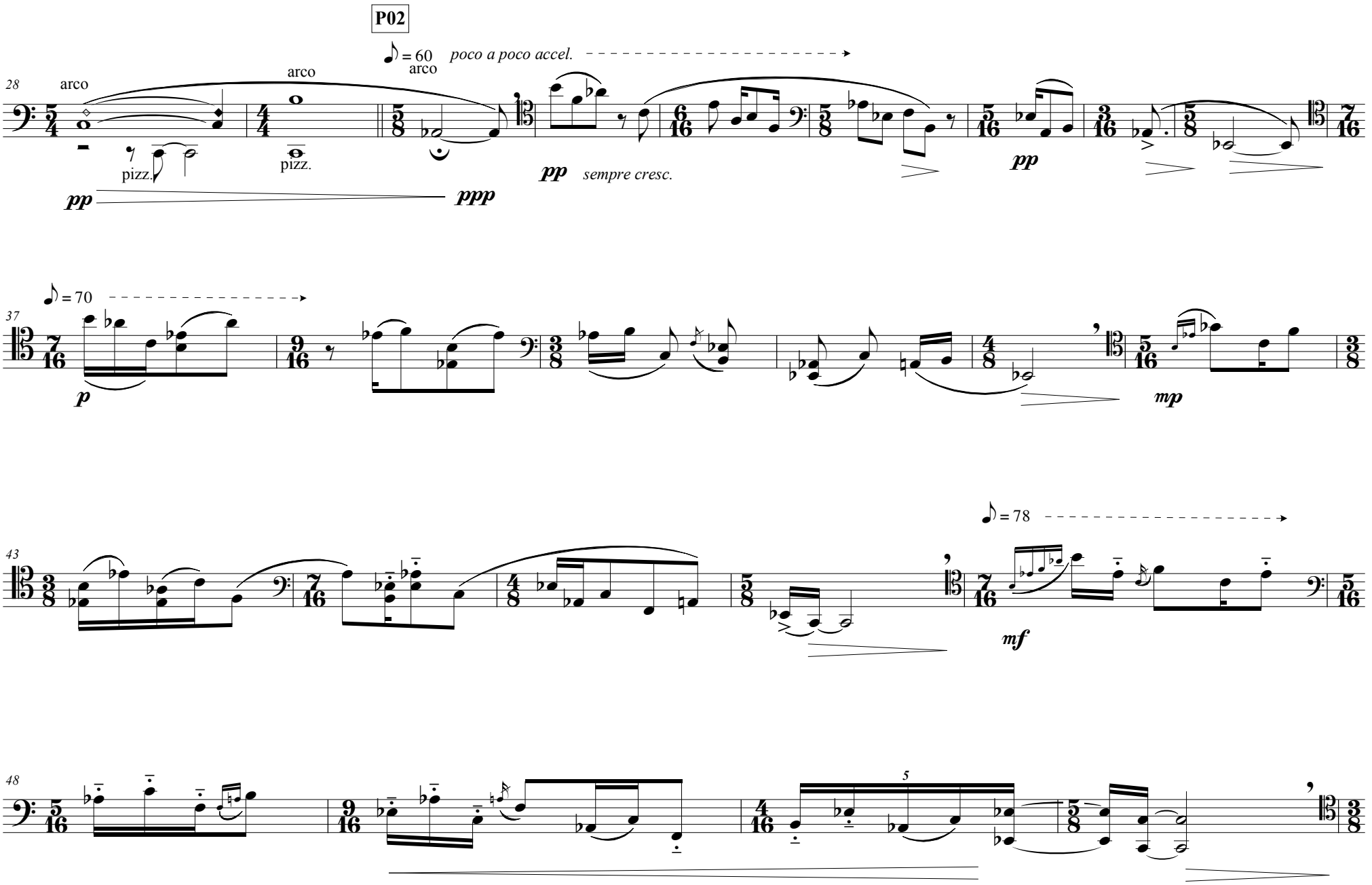
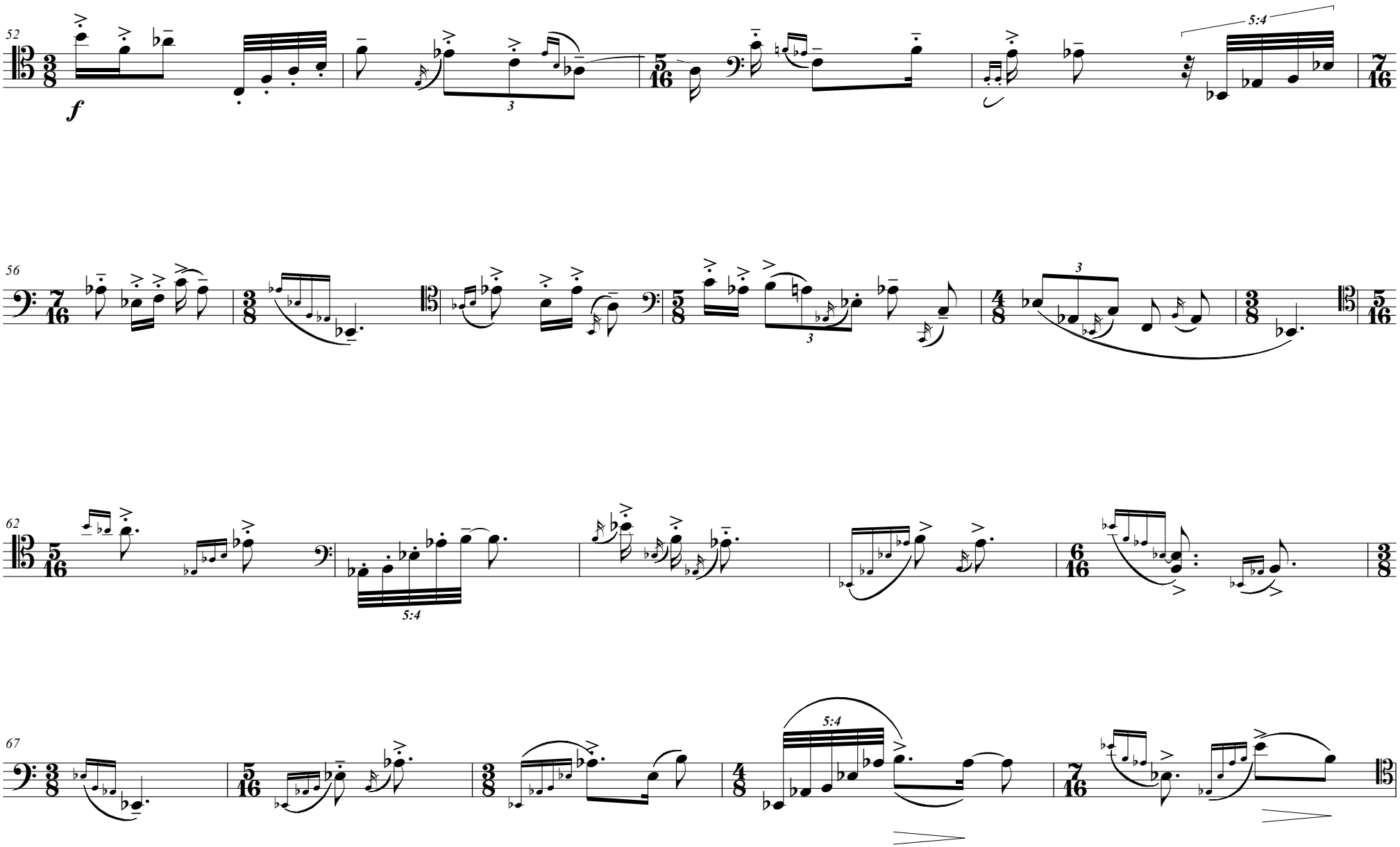
Traverser le réseau

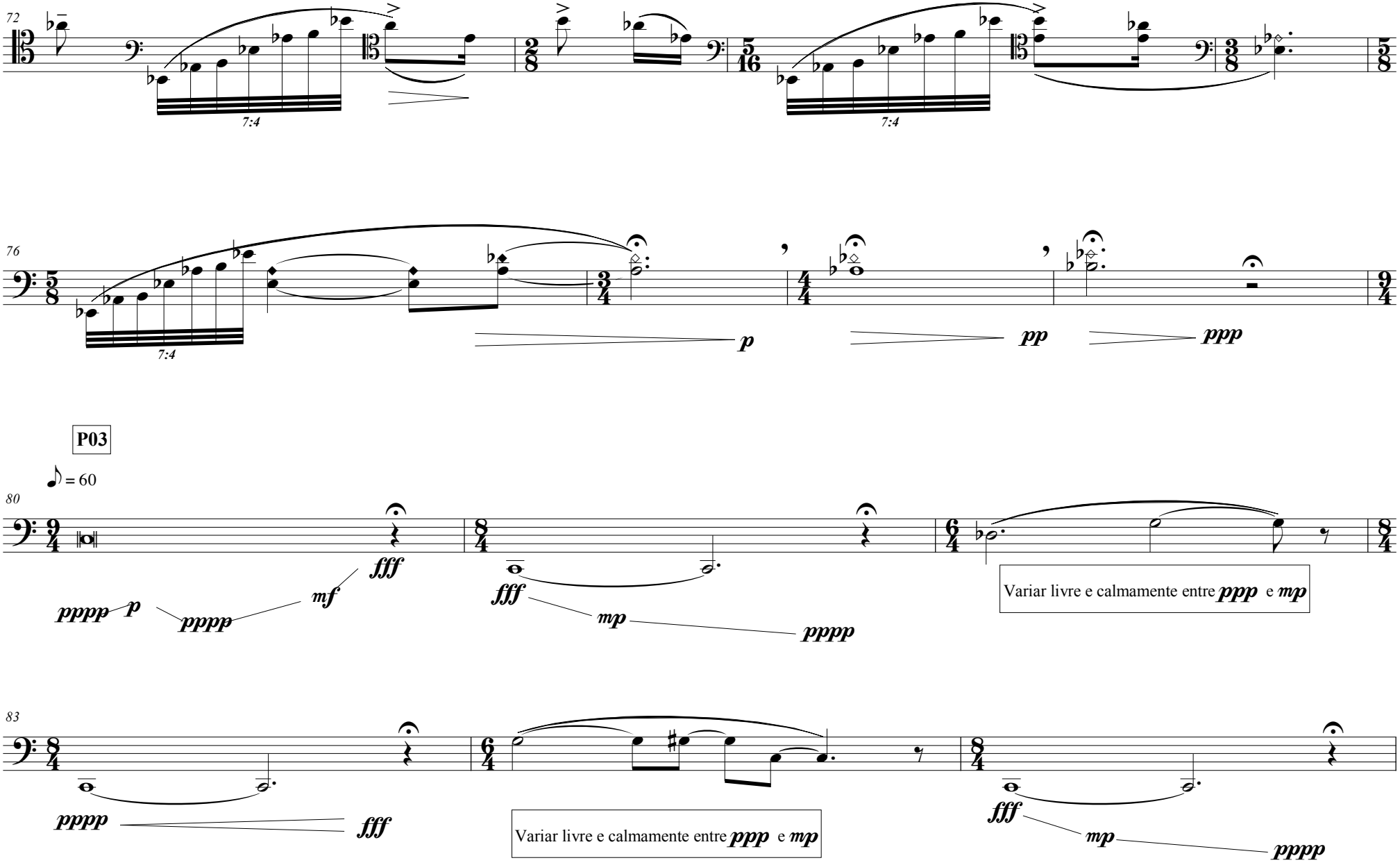
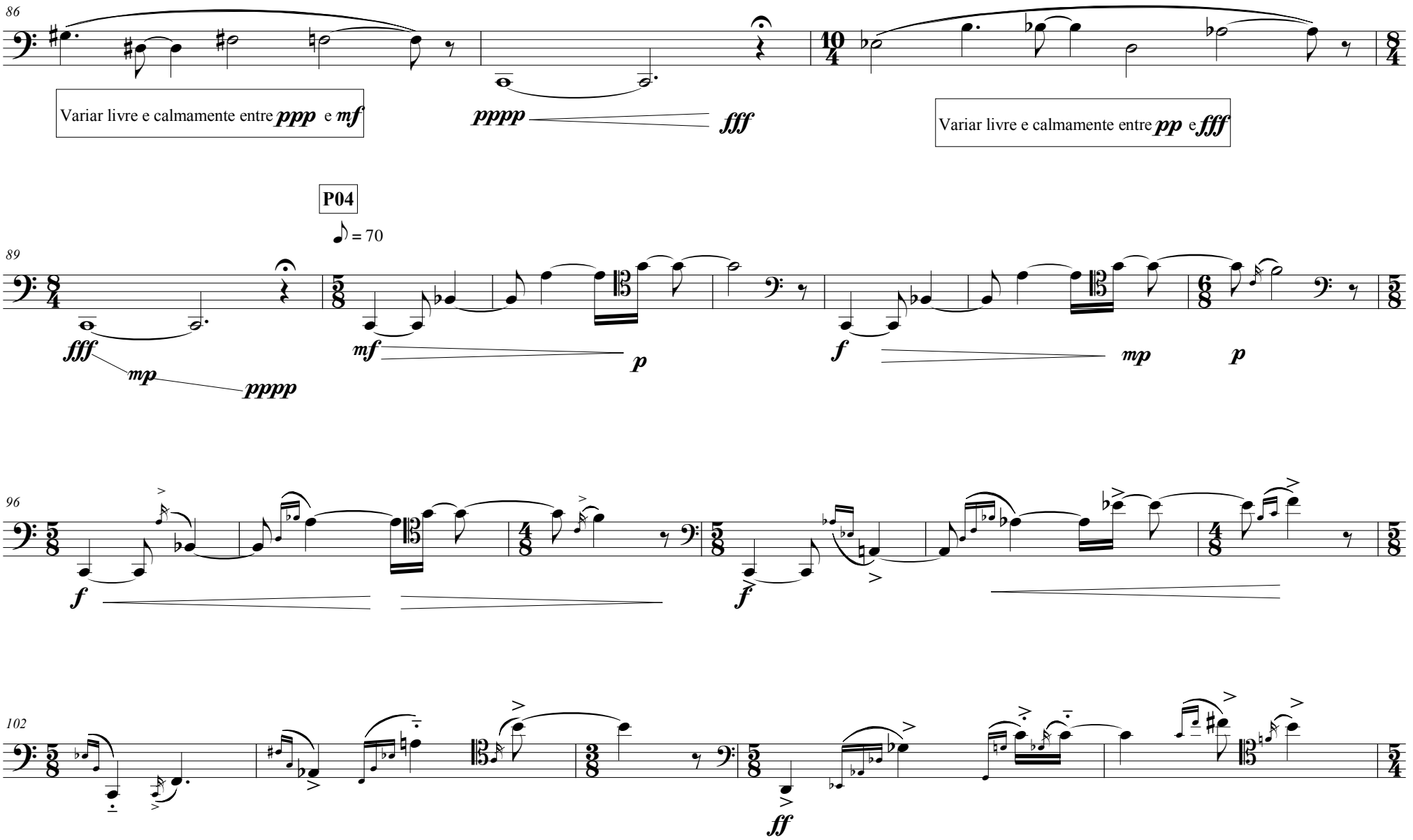
para violoncelo e eletrônica em tempo real

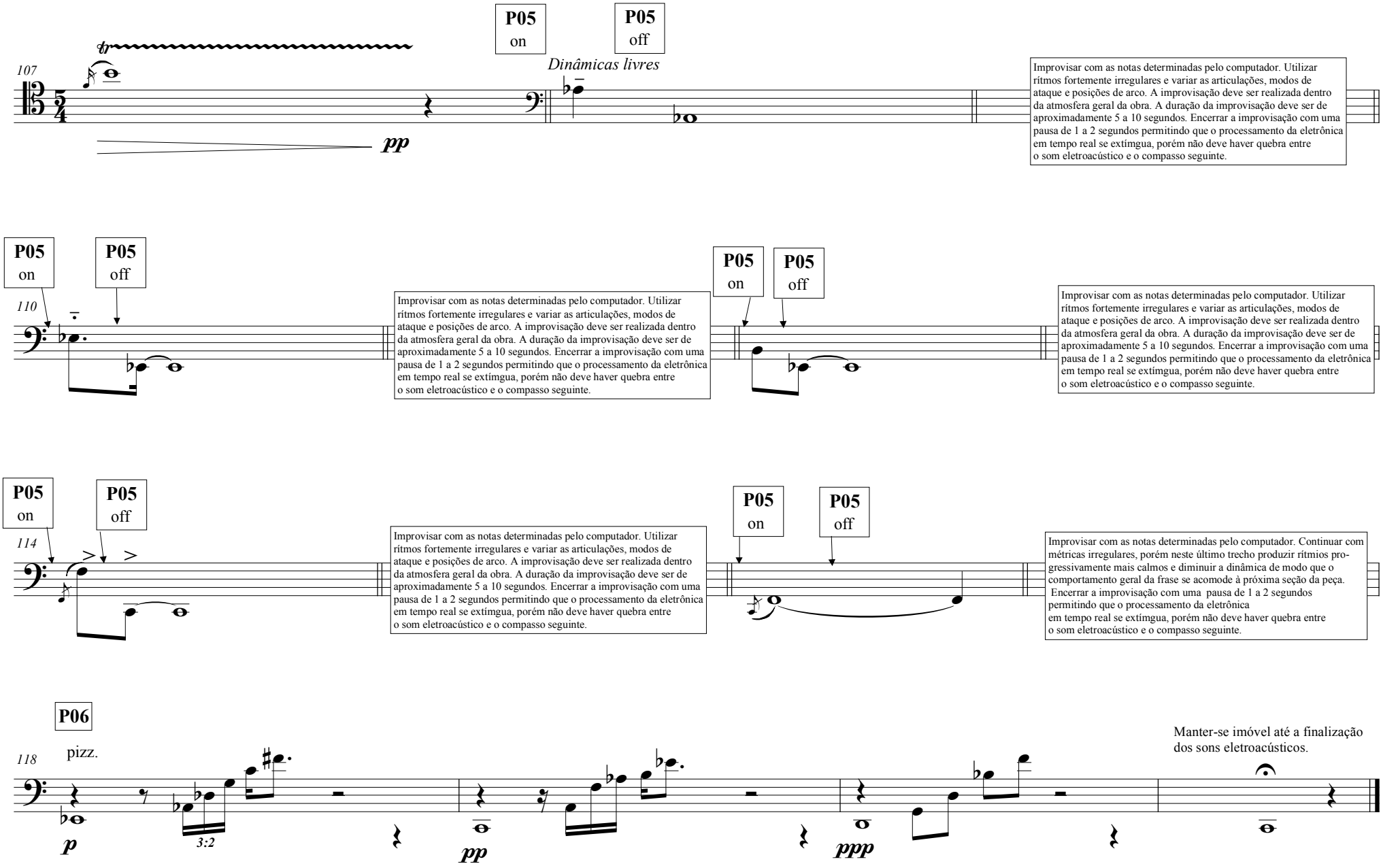
ao amigo Pedro Ludwig

Rael B. Gimenes Toffolo




P02
28
arco
pizz.
arco
pizz.
pp
arco
♪ = 60
ppp
poco a poco accel.
pp
sempre cresc.
pp
37
♪ = 70
p
mp
43
♪ = 78
mf
48
5

52
f
3
5:4
56
3
3
3
62
5:4
67
5:4


72
7:4
7:4
76
7:4
p
pp
ppp
P03
♪ = 60
80
fff
pppp
p
pppp
mf
fff
mp
pppp
Variar livre e calmamente entre ppp e mp
83
pppp
fff
Variar livre e calmamente entre ppp e mp
fff
mp
pppp

86
Variar livre e calmamente entre ppp e mf
pppp
fff
Variar livre e calmamente entre pp e fff
P04
♪ = 70
89
fff
mp
pppp
mf
p
f
mp
p
96
f
f
102
ff


P05
on
P05
off
Dinâmicas livres
107
pp
Improvisar com as notas determinadas pelo computador. Utilizar rítmos fortemente irregulares e variar as articulações, modos de ataque e posições de arco. A improvisação deve ser realizada dentro da atmosfera geral da obra. A duração da improvisação deve ser de aproximadamente 5 a 10 segundos. Encerrar a improvisação com uma pausa de 1 a 2 segundos permitindo que o processamento da eletrônica em tempo real se extímgua, porém não deve haver quebra entre o som eletroacústico e o compasso seguinte.
P05
on
P05
off
110
Improvisar com as notas determinadas pelo computador. Utilizar rítmos fortemente irregulares e variar as articulações, modos de ataque e posições de arco. A improvisação deve ser realizada dentro da atmosfera geral da obra. A duração da improvisação deve ser de aproximadamente 5 a 10 segundos. Encerrar a improvisação com uma pausa de 1 a 2 segundos permitindo que o processamento da eletrônica em tempo real se extímgua, porém não deve haver quebra entre o som eletroacústico e o compasso seguinte.
P05
on
P05
off
Improvisar com as notas determinadas pelo computador. Utilizar rítmos fortemente irregulares e variar as articulações, modos de ataque e posições de arco. A improvisação deve ser realizada dentro da atmosfera geral da obra. A duração da improvisação deve ser de aproximadamente 5 a 10 segundos. Encerrar a improvisação com uma pausa de 1 a 2 segundos permitindo que o processamento da eletrônica em tempo real se extímgua, porém não deve haver quebra entre o som eletroacústico e o compasso seguinte.
P05
on
P05
off
114
Improvisar com as notas determinadas pelo computador. Utilizar rítmos fortemente irregulares e variar as articulações, modos de ataque e posições de arco. A improvisação deve ser realizada dentro da atmosfera geral da obra. A duração da improvisação deve ser de aproximadamente 5 a 10 segundos. Encerrar a improvisação com uma pausa de 1 a 2 segundos permitindo que o processamento da eletrônica em tempo real se extímgua, porém não deve haver quebra entre o som eletroacústico e o compasso seguinte.
P05
on
P05
off
Improvisar com as notas determinadas pelo computador. Continuar com métricas irregulares, porém neste último trecho produzir rítmios progressivamente mais calmos e diminuir a dinâmica de modo que o comportamento geral da frase se acomode à próxima seção da peça. Encerrar a improvisação com uma pausa de 1 a 2 segundos permitindo que o processamento da eletrônica em tempo real se extímgua, porém não deve haver quebra entre o som eletroacústico e o compasso seguinte.
P06
118
pizz.
p
3:2
pp
ppp
Manter-se imóvel até a finalização dos sons eletroacústicos.

C.1 Código do *patch* em SuperCollider

O *patch* de *Traverser le réseau* é bem mais complexo e foi dividido em partes:

- traverserLive.scd - responsável por executar todas as partes na ordem correta;
- variables.scd - cria todas as variáveis de ambiente e carrega *buffers* e áudios;
- synths.scd - onde estão todas as definições de síntese utilizadas pelo patch, e
- traverserMainCode.scd - módulo principal com desenho de janelas e operações principais.

Além disso, o *patch* necessita de extensões para integração do SuperCollider ao InScore (para traçar as pautas musicais) e outras alterações nas classes *Array* e Integer, que serão listadas na sequência às quatro partes principais do código.

C.1.1 TraverserLive.scd

```
(
s.boot;
s.makeWindow;
s.mute;



s.waitForBoot({

~tempWindow = Window.new("ALERTA!", Rect(30,300,800,60), border: false, resizable:false);
~tempWindow.alwaysOnTop = true;

~temptext = StaticText(~tempWindow, Rect(10,10,700, 50));
~temptext.string = "AGUARDE ... Calculando dados e carregando synths! \n Aproximadamente 70 segundos";
~temptext.font = Font("Helvetica", 20, bold:true);

~tempWindow.front;

"/home/rael/Dropbox/doctorat/traverser_la_reseau_live/variables.scd".load;



});
)
```

C.1.2 variables.scd

```
 /*******************************
```

```
**
**       TRAVERSER LE RÉSEAU
**
**
** Rael Bertarelli Gimenes Toffolo
**
** Violocelo e electrônica em tempo real
**
** Variáveis de Ambiente
**
**/


// ~leSacreNames = ["c2","f2","a2","c3","d#3","g#3","a3","c4","d#4","g#4","b4","g#5","b5"].namesMidi; tension = 2.4716
~leSacreMidi = [ 36, 41, 45, 48, 51, 56, 57, 60, 63, 68, 71, 80, 83 ];
~leSacreFreqs = [ 65.40639132515, 87.307057858251, 110, 130.8127826503, 155.56349186104, 207.65234878997, 220,
261.6255653006, 311.12698372208, 415.30469757995, 493.88330125612, 830.60939515989, 987.76660251225 ];
~fftBuffer = Buffer.alloc(s, 512);

// ~leSacreTransformedSoft = [ 36, 41, 46, 48, 50, 55, 58, 60, 62, 67, 69, 79, 81 ]; // 8 -> 7, 12 -> 12, 5 -> 5 tension
= 1.7140
// ~leSacreTransformedHard = [ 38, 39, 44, 49, 54, 55, 55, 60, 65, 66, 71, 77, 82 ]; // 8 -> 6, 12 -> 11, 5 -> 1 tension
= 3.0451

// com eliminação de notas repetidas e algumas duplicações a oitava eliminadas.

~envelopeSine = Buffer.sendCollection(s, (Env.sine(1)).discretize, 1);
~envelopePerc = Buffer.sendCollection(s, (Env.perc(0.001,0.05, curve: -8)).discretize, 1);

~leSacreTransformedSoft = [ 36, 41, 46, 50, 55, 58, 60, 62, 67, 69];
~leSacreTransformedHard = [ 38, 39, 44, 49, 54, 55, 60, 65, 66, 71, 77, 82 ];

~chelloFile = "/home/rael/Dropbox/doctorat/traverser_la_reseau_live/cello_C4_mp_ordinario.wav";
~chelloPizzFile = "/home/rael/Dropbox/doctorat/traverser_la_reseau_live/cello_C4_pizz.wav";
~crack1 = "/home/rael/Dropbox/doctorat/traverser_la_reseau_live/crack01.wav";
~crack2 = "/home/rael/Dropbox/doctorat/traverser_la_reseau_live/crack02.wav";

~crack01Buffer = Buffer.read(s, ~crack1);
~crack02Buffer = Buffer.read(s, ~crack2);
~chelloBuffer = Buffer.read(s, ~chelloFile);
~chelloPizzBuffer = Buffer.read(s, ~chelloPizzFile);

~section1OriginalNet = Pousseur(60, 8, 12, 5);
~myOriginalPath = ~section1OriginalNet.notes2path(~leSacreMidi); // find path in this configuration

~section1TransformedSoft = Pousseur(60,7,12,5);
~section1TransformedHard = Pousseur(60,6,11,1);
~section1TransformedCenter = Pousseur(60,8,12,5);

/*************************************************************************

Variáveis da segunda sessão

*************************************************************************/

~s3acordeInicial = [ 36, 41, 45, 48, 56, 57, 60, 63, 68, 71];
~s3eixoInicial = [60,8,12,5];
~s3posicoesInicial;
~s3arrayAcordes = Array.fill(1729,0);
~s3arrayEixos = Array.fill(1729,0);
~s3arrayTensao = Array.fill(1729,0);
~s3arrayOrdenacao = Array.fill(1729,0);
~s3arrayTemporario = Array.fill(1729,0);

~s3calculaTensao;

~s3notasTemporarias;
~s3contadorGeral = 0;

~s3eixoX;
~s3eixoY;
~s3eixoZ;
```

```
~s3redeOriginal;
~s3redeTransformada;

~s3tensaoMaxima;
~s3tensaoMinima;

~s3detectorAmplitude;


~s3criaArrays = {
// Criação dos Arrays de acordes e tensão
"calculando".postln;
~s3redeOriginal = Pousseur.new(~s3eixoInicial[0],~s3eixoInicial[1],~s3eixoInicial[2],~s3eixoInicial[3]);
~s3redeTransformada = Pousseur.new(~s3eixoInicial[0],~s3eixoInicial[1],~s3eixoInicial[2],~s3eixoInicial[3]);
~s3posicoesInicial = ~s3redeOriginal.notes2path(~s3acordeInicial);

~s3calculaTensao = HarmonicTension(~s3acordeInicial);
~s3calculaTensao.nHarmonics= 6;
~s3calculaTensao.multiply = true;


~s3arrayEixos[~s3contadorGeral] = [~s3eixoInicial[0],~s3eixoInicial[1],~s3eixoInicial[2],~s3eixoInicial[3]];
~s3arrayAcordes[~s3contadorGeral] = ~s3acordeInicial;
~s3arrayTensao[~s3contadorGeral] = ~s3calculaTensao.roughness;
~s3contadorGeral = 1;

// looping 3;

for (1,12,
{ arg eixoX;

for (1,12,
{ arg eixoY;

for (1,12,
{ arg eixoZ;
~s3redeTransformada.center = ~s3eixoInicial[0];
~s3redeTransformada.axis1 = eixoX;
~s3redeTransformada.axis2 = eixoY;
~s3redeTransformada.axis3 = eixoZ;

~s3arrayEixos[~s3contadorGeral] = [~s3eixoInicial[0],eixoX,eixoY,eixoZ];
~s3notasTemporarias =
~s3redeTransformada.path2notes(~s3posicoesInicial);
~s3arrayAcordes[~s3contadorGeral] = ~s3notasTemporarias;
~s3calculaTensao = HarmonicTension(~s3notasTemporarias);
~s3arrayTensao[~s3contadorGeral] = ~s3calculaTensao.roughness;
~s3contadorGeral = ~s3contadorGeral + 1;

}
)
}
)

});

// ~arrayAcordes.postln;
// ~arrayTensao.postln;

// ordenar acordes por tensão

~s3arrayOrdenacao = ~s3arrayTensao.order;

~s3arrayOrdenacao.do(
{arg i,z;


~s3arrayTemporario[z] = ~s3arrayAcordes[i];

});

~s3arrayAcordes = ~s3arrayTemporario;
~s3arrayTensao.sort;
```

```
//arrayAcordes.postln;

//arrayTensao.plot;

~s3tensaoMaxima = ~s3arrayTensao.last;
~s3tensaoMinima = ~s3arrayTensao.first;

//"tensao Minima = ".post; tensaoMinima.postln;
//"tensao Maxima = ".post; tensaoMaxima.postln;
"Done! ".postln;

};

~s3criaArrays.value;

~tempWindow.close;

"/home/rael/Dropbox/doctorat/traverser_la_reseau_live/synths.scd".load;

("inscoreviewer").unixCmd;

"/home/rael/Dropbox/doctorat/traverser_la_reseau_live/traverser_main_code.scd".load;
```

C.1.3 synths.scd

```
 /*******************************
**
**       TRAVERSER LE RÉSEAU
**
**
** Rael Bertarelli Gimenes Toffolo
**
** Violocelo e electrônica em tempo real
**
** Definições de Synth
**
**/

~busReverb = Bus.audio(s,2);

SynthDef.new(\Detector,

{
arg inChannel = 2,
triggerSpeed = 5,
limiar = 0.8
;

var ampTrig,
input,
freq,
hasFreq,
chain,
onsets
;

input = SoundIn.ar(inChannel);
ampTrig = Amplitude.ar(input); // Detecta Amplitude
# freq, hasFreq = Pitch.kr(input,22,60,1800,ampThreshold: 0.01) ; // [c2, a6] // Detecta Frequência

chain = FFT(~fftBuffer, input);
onsets = Onsets.kr(chain, limiar, \complex);
```

```
// Quando detecta o ataque envia a frequência e amplitude para o cliente

SendReply.kr(onsets,'/detector',[freq,hasFreq,ampTrig],112);

//SendTrig.kr(LFPulse.kr(triggerSpeed), 01, ampTrig);

}
).send(s);

SynthDef(\DelayCombo,
{
arg gate = 0,
inChannel = 2,
totalTime = 5,
time1 = 2,
time2 = 1.3,
time3 = 0.8
;

var input,
signal,
signal1,
signal2,
signal3,
output,
amplitude,
envelope
;

input = SoundIn.ar(inChannel);
signal1 = Pan2.ar(DelayL.ar(input, totalTime, time1, 0.4), LFNoise0.kr(0.2));
signal2 = Pan2.ar(DelayL.ar(input, totalTime, time2, 0.25), LFNoise0.kr(0.23));
signal3 = Pan2.ar(DelayL.ar(input, totalTime, time3, 0.1), LFNoise0.kr(0.16));

signal = FreeVerb.ar(signal1+signal2+signal3, 0.7, 0.8, 0.6);

Out.ar(0,signal*gate);
}).send(s);

SynthDef.new(\Detector2,

{
arg inChannel = 2,
triggerSpeed = 4
;

var ampTrig,
input,
freq,
hasFreq,
onsets
;

input = SoundIn.ar(inChannel);
ampTrig = Amplitude.ar(input); // Detecta Amplitude
# freq, hasFreq = Pitch.kr(input,22,60,1800,ampThreshold: 0.01) ; // [c2, a6] // Detecta Frequência

SendReply.kr(Impulse.kr(triggerSpeed),'/detector2',[freq,hasFreq,ampTrig],113);

}
).send(s);


SynthDef.new(\chelloSweep,
{
arg freq = 65.40639132515,// c2
amp = 1,
dur = 1,
panPosition = 0,
spreadLevel = 1,
gate = 0,
busOut = ~busReverb
;
```

```
var output,
envelope,
originalFreq = 261.6255653006,
transposition = 1
;

transposition = freq/originalFreq;

envelope = EnvGen.kr(Env.linen(0,dur/2,dur/2,1), gate: gate, doneAction: 2);
output =

PitchShift.ar(
PlayBuf.ar(1,~chelloBuffer, doneAction:2),
0.1,
transposition
);

Out.ar(busOut, Splay.ar(output*envelope,spreadLevel,amp,panPosition));
}).send(s);


SynthDef.new(\sineSweep,
{
arg freq = 65.40639132515, // c3
amp = 1,
dur = 1,
panPosition = 0,
spreadLevel = 1,
gate = 0,
busOut = ~busReverb
;

var output,
envelope
;

envelope = EnvGen.kr(Env.linen(dur/2,0.05,dur/2,curve: '\sin'), gate: gate, doneAction: 2);
output = SinOsc.ar(freq);
Out.ar(busOut, Splay.ar(output*envelope,spreadLevel,amp,panPosition));
}).send(s);



SynthDef.new(\chelloPizz,
{
arg freq = 65.40639132515,// c2
amp = 1,
dur = 1,
panPosition = 0,
spreadLevel = 1,
busOut = ~busReverb
;

var output,
envelope,
originalFreq = 261.6255653006,
transposition = 1
;

transposition = freq/originalFreq;

envelope = EnvGen.kr(Env.perc(0.05,dur*2,1,-8), levelScale: 2, doneAction: 2);
output =

PitchShift.ar(
PlayBuf.ar(1,~chelloPizzBuffer, doneAction:2),
0.1,
transposition
);

Out.ar(busOut, Splay.ar(output*envelope,spreadLevel,amp,panPosition));
```

```
}).send(s);

SynthDef(\crack,
{
arg file,
amp = 1,
gate = 0,
dur = 5,
start = 0,
transpose = 1,
room = 1
;

var signal,
output,
envelope
;

envelope = EnvGen.kr(Env.new([0,1,0],[dur/2,dur/2]), gate, amp, doneAction:2);
signal = PlayBuf.ar(1, file, transpose, 1,start, doneAction: 2);
//output = FreeVerb.ar(signal, 0.8, room, 0.3);
output = signal;
Out.ar(0,(output*envelope)!2);

}
).send(s);

SynthDef(\air,
{
arg freq = 65.40,
amp = 1,
dur = 10
;

var signal,
output,
envelope,
spreadLevel,
panPosition
;

spreadLevel = 1;
panPosition = LFNoise0.kr(0.5);

signal = PinkNoise.ar(1);
envelope = EnvGen.kr(Env.linen(0.5,dur-0.5,amp), doneAction: 2);
output = Resonz.ar(signal, freq, 0.01);

Out.ar(0, Splay.ar(output*envelope,spreadLevel,amp,panPosition));
}).send(s);

SynthDef.new(\s3soundControl,

{
arg inChannel = 2,
outChannel = 0,
inAmp,
outAmp,
triggerSpeed = 4
;

var ampTrig,
input,
output
;

input = SoundIn.ar(inChannel);
ampTrig = Amplitude.ar(input);

// enviando amp para o client

SendReply.kr(Impulse.kr(triggerSpeed),'/amplitudetrack',ampTrig,114);
//SendTrig.kr(Impulse.kr(triggerSpeed), 99, ampTrig);
```

```
}).send(s);

SynthDef(\granule,
{
arg freq = 65.40639132515,
amp = 1,
inChannel = 2,
dur = 4,
gate = 0,
density = 20,
grainSize = 0.2,
graos = 512,
envelope = ~envelopeSine
;

var signal,
originalFreq = 261.6255653006,
output,
env,
transposition = 1,
triggerDuration,
pan
;

pan = LFNoise0.kr(1);
transposition = freq/originalFreq;
triggerDuration = Dust.kr(density);

env = EnvGen.kr(Env.linen(0,dur/2,dur/2,1), gate: gate, doneAction: 2);

signal = GrainBuf.ar(2, triggerDuration, grainSize, ~chelloBuffer, rate: transposition, pos: 0, interp:
2, pan: pan, envbufnum: envelope, maxGrains: graos);

Out.ar(0,(signal*env)*amp);
}).send(s);


SynthDef(\reverb,
{
arg inBus = ~busReverb;
var signal, output;

signal = In.ar(inBus, 1);
output = FreeVerb.ar(
signal,
mix: 0.7,
room: 1,
damp: 0.5,
mul: 1,
add: 0)
;

Out.ar(0,output);
}).send(s);
```

C.1.4 traverserMainCode.scd

```
 /*******************************
**
**       TRAVERSER LE RÉSEAU
**
**
** Rael Bertarelli Gimenes Toffolo
**
```

```
** Violocelo e electrônica em tempo real
**
** Main Code
**
**/



(
~mainWindow = Window.new("Traverser le Réseau", Rect(10,600,370,150), resizable: false);
~mainWindow.alwaysOnTop = true;
~section1 = Button.new(~mainWindow, Rect(10,20,50,18));
~section1.states = [
["P01", Color.black, Color.white ],
["P01", Color.white, Color.red ]
];

~section2 = Button.new(~mainWindow, Rect(70,20,50,18));
~section2.states = [
["P02", Color.black, Color.white ],
["P02", Color.white, Color.red ]
];

~section3 = Button.new(~mainWindow, Rect(130,20,50,18));
~section3.states = [
["P03", Color.black, Color.white ],
["P03", Color.white, Color.red ]
];

~section4 = Button.new(~mainWindow, Rect(190,20,50,18));
~section4.states = [
["P04", Color.black, Color.white ],
["P04", Color.white, Color.red ]
];

~section5 = Button.new(~mainWindow, Rect(250,20,50,18));
~section5.states = [
["P05", Color.black, Color.white ],
["P05", Color.white, Color.red ]
];

~section6 = Button.new(~mainWindow, Rect(310,20,50,18));
~section6.states = [
["P06", Color.black, Color.white ],
["P06", Color.white, Color.red ]
];

StaticText(~mainWindow, Rect(20, 60, 360, 24)).string_("Sensibilidade de Detector de P01 (0.0 a 1.0)");
~s1limiar = NumberBox(~mainWindow, Rect(300, 63, 50, 18)).value_(0.4);

StaticText(~mainWindow, Rect(20, 90, 360, 24)).string_("Sensibilidade de Detector de P05 (0.0 a 1.0)");
~s5limiar = NumberBox(~mainWindow, Rect(300, 93, 50, 18)).value_(0.2);

StaticText(~mainWindow, Rect(20, 120, 360, 24)).string_("Sensibilidade de Detector de P06 (0.0 a 1.0)");
~s6limiar = NumberBox(~mainWindow, Rect(300, 123, 50, 18)).value_(0.2);


~mainWindow.front;
~mainWindow.onClose = {
s.freeAll;
};

~section1.action = { arg button;
if (button.value == 1,
{
s.unmute;
    s.volume = 0;
~s1detector = Synth(\Detector, [\limiar, ~s1limiar.value]);
~s1synthReverb = Synth(\reverb);

// variaveis globais para controlar o chelloPad
```

```
~sweepScape = 1; // não é necessário mudar. Apenas para looping infinito do Routine.
Routine.clear = stop;

~sweepSpread = 0;
~sweepPanPosition = 0;
~sweepAmp = 0.01;
~density = 10;


// cria o chelloPad - camada principal da seção.
~playChord =
Routine
({
while ( {~sweepScape == 1},
{ var
note,
amp,
dur,
waitTime,
pan,
spread
;

amp = ~sweepAmp;
dur = (20).rand;
    note = ~leSacreFreqs.choose;
waitTime = ~density;
pan = ~sweepPanPosition;
spread = ~sweepSpread;

/*"amp ".post; amp.postln;
"dur ".post; dur.postln;
"note ".post; note.postln;
"waitTime ".post; waitTime.postln;*/

// Synth(\air, [\freq, note*4, \amp, amp, \dur, dur]);
// Synth(\chelloSweep,[\gate, 1, \freq, note, \amp, amp, \dur, dur, \panPosition, pan, \spreadLevel,
spread]);
(waitTime).rand.wait;
});
});

~playChord.play; // inicia o chelloPad

// recebe dados do instrumentista: amplitude e frequência.
~s1freqSensor = OSCFunc
(
{
arg msg;
{
var tempFreq,
hasFreq,
amplitude,
midiFreq,
freq,
noteSequence
;

tempFreq = msg[3];
hasFreq = msg[4];
amplitude = msg[5];

midiFreq = tempFreq.cpsmidi.round;
freq = midiFreq.midicps;

//"midiFreq = ".post;
//midiFreq.postln;

//"freq = ".post;
//freq.postln;
"amplitude = ".post;
amplitude.postln;
```

```
case
{amplitude < 0.008 }
{
"amplitude < 0.008".postln;
~section1TransformedSoft.center = midiFreq;
noteSequence =
~section1TransformedSoft.path2notes(~myOriginalPath);
"notes = ".post; noteSequence.postln;

~sweepSpread = 0;
~sweepPanPosition = -1;
~density = 10;
~sweepAmp = 0.1;

~frase1 = Pbind(
\instrument, \chelloPizz,
\freq,
Pseq((noteSequence.scramble.midicps),noteSequence.size),
\dur, Pseq([1.1],noteSequence.size),
\amp, 0.6).play;



}

{ (amplitude > 0.008) && (amplitude < 0.017) }
{
"amplitude 0.008 - 0.017".postln;
~section1TransformedSoft.center = midiFreq;
noteSequence =
~section1TransformedSoft.path2notes(~myOriginalPath);
"notes = ".post; noteSequence.postln;

~sweepSpread = 0.2;
~sweepPanPosition = -1;
~density = 9;
~sweepAmp = 0.1;

~frase2 = Pbind(
\instrument, \chelloPizz,
\freq,
Pseq((noteSequence.scramble.midicps),noteSequence.size),
\dur, Pseq([0.9],noteSequence.size),
\amp, 0.65).play;


}

{ (amplitude > 0.017) && (amplitude < 0.027) }
{
"amplitude 0.017 - 0.027".postln;
~section1TransformedSoft.center = midiFreq;
noteSequence =
~section1TransformedSoft.path2notes(~myOriginalPath);
"notes = ".post; noteSequence.postln;

~sweepSpread = 0.3;
~sweepPanPosition = -0.5;
~density = 9;
~sweepAmp = 0.2;

~frase3 = Pbind(
\instrument, \chelloPizz,
\freq,
Pseq((noteSequence.scramble.midicps),noteSequence.size),
\dur, Pseq([0.9],noteSequence.size),
\amp, 0.7).play;
}

{ (amplitude > 0.027) && (amplitude < 0.033) }
{
"amplitude 0.027 - 0.033".postln;
~section1TransformedSoft.center = midiFreq;
```

```
noteSequence =
~section1TransformedSoft.path2notes(~myOriginalPath);
"notes = ".post; noteSequence.postln;

~sweepSpread = 0.4;
~sweepPanPosition = -0.5;
~density = 8;
~sweepAmp = 0.25;

~frase4 = Pbind(
\instrument, \chelloPizz,
\freq,
Pseq((noteSequence.scramble.midicps),noteSequence.size),
\dur, Pseq([0.8],noteSequence.size),
\amp, 0.75).play;

}

{ (amplitude > 0.033) && (amplitude < 0.045) }
{
"amplitude 0.033 - 0.045".postln;

~section1TransformedCenter.center = midiFreq;
noteSequence =
~section1TransformedCenter.path2notes(~myOriginalPath);
"notes = ".post; noteSequence.postln;


~sweepSpread = 0.5;
~sweepPanPosition = 0;
~density = 6;
~sweepAmp = 0.3;

~frase5 = Pbind(
\instrument, \chelloPizz,
\freq,
Pseq((noteSequence.scramble.midicps),noteSequence.size),
\dur, Pseq(Array.fill(noteSequence.size, {1.0.rand}),1),
\amp, 0.8).play;
}

{ (amplitude > 0.045) && (amplitude < 0.059) }
{
"amplitude 0.045 - 0.059".postln;
~section1TransformedCenter.center = midiFreq;
noteSequence =
~section1TransformedCenter.path2notes(~myOriginalPath);
"notes = ".post; noteSequence.postln;

~sweepSpread = 0.5;
~sweepPanPosition = 0;
~density = 6;
~sweepAmp = 0.3;

~frase6 = Pbind(
\instrument, \chelloPizz,
\freq,
Pseq((noteSequence.scramble.midicps),noteSequence.size),
\dur, Pseq(Array.fill(noteSequence.size, {0.9.rand}),1),
\amp, 0.85).play;
}

{ (amplitude > 0.059) && (amplitude < 0.064) }
{
"amplitude 0.059 - 0.064".postln;
~section1TransformedCenter.center = midiFreq;
noteSequence =
~section1TransformedCenter.path2notes(~myOriginalPath);
"notes = ".post; noteSequence.postln;

~sweepSpread = 0.5;
~sweepPanPosition = 0;
~density = 6;
```

```
~sweepAmp = 0.3;

~frase7 = Pbind(
\instrument, \chelloPizz,
\freq,
Pseq((noteSequence.scramble.midicps),noteSequence.size),
\dur, Pseq(Array.fill(noteSequence.size, {0.8.rand}),1),
\amp, 0.9).play;
}

{ (amplitude > 0.064) && (amplitude < 0.077) }
{
"amplitude 0.064 - 0.077".postln;
~section1TransformedCenter.center = midiFreq;
noteSequence =
~section1TransformedCenter.path2notes(~myOriginalPath);
"notes = ".post; noteSequence.postln;


~sweepSpread = 0.5;
~sweepPanPosition = 0;
~density = 6;
~sweepAmp = 0.3;

~frase8 = Pbind(
\instrument, \chelloPizz,
\freq,
Pseq((noteSequence.scramble.midicps),noteSequence.size),
\dur, Pseq(Array.fill(noteSequence.size, {0.5.rand}),1),
\amp, 0.95).play;
}

{ (amplitude > 0.077) && (amplitude < 0.1) }
{
"amplitude 0.077 - 0.1".postln;
~section1TransformedHard.center = midiFreq;
noteSequence =
~section1TransformedHard.path2notes(~myOriginalPath);
"notes = ".post; noteSequence.postln;

~sweepSpread = 0.8;
~sweepPanPosition = 0.6;
~density = 5;
~sweepAmp = 0.35;

~frase9 = Pbind(
\instrument, \chelloPizz,
\freq,
Pseq((noteSequence.scramble.midicps),noteSequence.size/2),
\dur, Pseq(Array.fill(noteSequence.size/2,
{0.3.rand}),1),
\amp, 1.0).play;
}
{ (amplitude > 0.1) && (amplitude < 0.2) }
{
"amplitude 0.1 - 0.2".postln;
~section1TransformedHard.center = midiFreq;
noteSequence =
~section1TransformedHard.path2notes(~myOriginalPath);
"notes = ".post; noteSequence.postln;

~sweepSpread = 0.8;
~sweepPanPosition = 0.8;
~density = 4;
~sweepAmp = 0.35;

~frase10 = Pbind(
\instrument, \chelloPizz,
\freq,
Pseq((noteSequence.scramble.midicps),noteSequence.size/2),
\dur, Pseq(Array.fill(noteSequence.size/2,
{0.2.rand}),1),
\amp, 1).play;
```

```
}

{ (amplitude > 0.2) && (amplitude < 1) }
{
"amplitude 0.2 - 1".postln;
~section1TransformedHard.center = midiFreq;
noteSequence =
~section1TransformedHard.path2notes(~myOriginalPath);
"notes = ".post; noteSequence.postln;

~sweepSpread = 1;
~sweepPanPosition = 1;
~density = 3;
~sweepAmp = 0.35;

~frase11 = Pbind(
\instrument, \chelloPizz,
\freq,
Pseq((noteSequence.scramble.midicps),noteSequence.size/2),
\dur, Pseq(Array.fill(noteSequence.size/2,
{0.1.rand}),1),
\amp, 1).play;
}

}.defer;

},'/detector'
//).add;
)
},

{   ~s1detector.free;
~s1freqSensor.free;
~playChord.clear;
~s1synthReverb.free;
}
);




};// end of button 1


~section2.action = { arg button;
if (button.value == 1,
{
var section2TempFreq = 0;
~section1.valueAction = 0;
~density = 10;
~sweepScape = 0;

~s2detector = Synth(\Detector2);


~s2freqSensor = OSCFunc
(
{
arg msg;
{
var tempFreq,
hasFreq,
amplitude,
midiFreq,
freq,
s2myNote,
s2myPath
;

tempFreq = msg[3];
hasFreq = msg[4];
amplitude = msg[5];
```

```
midiFreq = (tempFreq.cpsmidi).round;

case
{ (amplitude < 0.001) }
{

}

{ (amplitude > 0.001) && (amplitude < 0.1) }
{
if ( midiFreq == section2TempFreq,
{},
{
Synth(\granule,[\gate, 1, \freq,
midiFreq.midicps, \density, 20, \graos, 512, \envelope, ~envelopeSine, \amp, 1]);
"amp 1 myNote ".post; " - ".post;
midiFreq.postln;
section2TempFreq = midiFreq;

});


}

{ (amplitude > 0.1) && (amplitude < 0.2) }
{
if ( midiFreq == section2TempFreq,
{},
{
s2myPath =
~section1OriginalNet.notes2path([midiFreq]);
s2myNote =
~section1TransformedSoft.path2notes(s2myPath);
"amp 2 myNote ".post; s2myNote.post; " - ".post;
midiFreq.postln;
Synth(\granule,[\gate, 1, \freq,
s2myNote.midicps, \density, 10, \graos, 250, \envelope, -1, \amp, 1]);
section2TempFreq = midiFreq;
});
}

{ (amplitude > 0.2 ) }
{
if ( midiFreq == section2TempFreq,
{},
{
s2myPath =
~section1OriginalNet.notes2path([midiFreq]);
s2myNote =
~section1TransformedHard.path2notes(s2myPath);
"amp 3 myNote ".post; s2myNote.post; " - ".post;
midiFreq.postln;
Synth(\granule,[\gate, 1, \freq,
s2myNote.midicps, \density, 3, \graos, 500, \envelope, ~envelopePerc, \amp, 1]);
section2TempFreq = midiFreq;
});
}



}.defer;

},'/detector2'
//).add;
)


},

{
~s2detector.free;
~s2freqSensor.free;
```

```
}
)

}; // end of button 2

~section3.action = { arg button;
if (button.value == 1,
{
~section2.valueAction = 0;


~s3detector = Synth(\s3soundControl);
~s3synthReverb = Synth(\reverb);


~isPlaying = 0;
~s3ampSensor = OSCFunc(
{ arg msg;
{
var amplitude,
pegaAcorde;

amplitude = msg[3];
"amplitude = ".post; amplitude.postln;
"meu acorde = ".post;

pegaAcorde = amplitude.linlin(0,0.6,0,1729);
pegaAcorde.round.postln;

if (amplitude < 0.002,
{~s3arrayToPlay = [0,0,0,0];
if (~isPlaying == 1, {},{

// Synth(\crack,
// [\gate, 1,\dur, [5,7,9,10].choose,\amp,
2,
// \file, [~crack01Buffer,
~crack02Buffer].choose,
// \start, (120.0).rand,\transpose,
[0.4,0.5,0.6,0.7].choose]);
~isPlaying = 1

});


},
{~s3arrayToPlay = ~s3arrayAcordes[pegaAcorde];

});

//~arrayEspectral = ~arrayEspectral.add(~s3arrayToPlay);
~s3old = 0;
"Acorde = ".post;
~s3arrayToPlay.postln;
~s3arrayToPlay.do({
arg new;
if (new != 60 ,{
if (new != ~s3old, {
Synth(\chelloSweep, [\gate,1,\freq, new.midicps,
\dur, [5,3,2,1].choose, \amp,amplitude]); ~isPlaying = 0;
/*
if (amplitude > 0.33, {
Synth(\sineSweep, [\gate, 1, \freq,
(new.midicps)*4, \dur, [0.5,0.3,2,1].choose, \amp, (amplitude/3)]);},{})
*/


}
,{~s3old=new;});
},{});
});
```

```
}.defer;
},'/amplitudetrack', s.addr);



},



{
~s3detector.free;
~s3ampSensor.free;
~s3synthReverb.free;

}


)
};   //end of button 3


~section4.action = { arg button;
if (button.value == 1,
{
~section3.valueAction = 0;

~s4detector = Synth(\Detector);
~s4synthReverb = Synth(\reverb);

~s4freqSensor = OSCFunc
(
{
arg msg;
{
var tempFreq,
hasFreq,
amplitude,
midiFreq,
freq,
noteSequence
;

tempFreq = msg[3];
hasFreq = msg[4];
amplitude = msg[5];

midiFreq = tempFreq.cpsmidi.round;
freq = midiFreq.midicps;

//"midiFreq = ".post;
//midiFreq.postln;

//"freq = ".post;
//freq.postln;
//"amplitude = ".post;
//amplitude.postln;


case
{amplitude < 0.03 }
{
~leSacreTransformedSoft.do({ arg i;
var tempFreq;
tempFreq = ([0.5,1,2,4].choose)*(i.midicps);
Synth(\air, [\freq, tempFreq, \amp, amplitude*100, \dur,
(15.0).rand])
});

}

{ (amplitude > 0.03) && (amplitude < 0.2) }
```

```
{
~leSacreMidi.do({ arg i;
var tempFreq;
tempFreq = ([0.5,1,2,4].choose)*(i.midicps);
Synth(\air, [\freq, tempFreq, \amp, amplitude*30, \dur,
(15.0).rand])
});



}

{ (amplitude > 0.2) }
{

~leSacreTransformedHard.do({ arg i;
var tempFreq;
tempFreq = ([0.5,1,2,4].choose)*(i.midicps);
Synth(\air, [\freq, tempFreq, \amp, amplitude*10, \dur,
(15.0).rand])
});

}


}.defer;

},'/detector'
//).add;
)




},
{~s4detector.free;
~s4synthReverb.free;
~s4freqSensor.free;


});


}; //end of button 4


~section5.action = { arg button;
if (button.value == 1,
{
~section4.valueAction = 0;
~s5Delay.free;
~s5ploted = 0;
~s5myScore = SCInScore(inScorePort: 7000);
~s5detector = Synth(\Detector, [\limiar, ~s5limiar.value]);
~s5freqSensor = OSCFunc
(
{
arg msg;
{
var pegaAcorde,
amplitude
;

if (~s5ploted == 0, {

~s5ploted = 1;
amplitude = msg[5];
"amplitude ".post; amplitude.postln;
pegaAcorde = amplitude.linlin(0,0.6,0,1729);
~s5acorde = ~s3arrayAcordes[pegaAcorde].removeDups;

if (amplitude < 0.001, {}, {
~s5chordsToPrint = Pbind(
```

```
\midinote, Pseq(~s5acorde.sort,1),
\dur, Pseq([1],~s5acorde.size));


~s5myScore.put(~s5chordsToPrint.asStream,~s5acorde.size);

~s5myScore.show;

});

}, {});

}.defer;

},'/detector'
//).add;
)




},
{
~s5detector.free;
~s5freqSensor.free;
~s5Delay = Synth(\DelayCombo, [\gate, 1]);



});

}; // end of button 5


~section6.action = { arg button;
if (button.value == 1,
{
~section5.valueAction = 0;

~s6detector = Synth(\Detector, [\limiar, ~s6limiar]);
~s6freqSensor = OSCFunc
(
{
arg msg;
{
var pegaAcorde,
amplitude,
tempFreq
;
~s5ploted = 1;
tempFreq = msg[3];
amplitude = msg[5];
    "amplitude: ".post; amplitude.postln;
"freq: ".post; tempFreq.postln;

Synth(\air, [\freq, tempFreq*2, \amp, 2, \dur,
amplitude.linlin(0.001,1,10,3)]);

}.defer;

},'/detector'
//).add;
)




},
{
```

```
~s6detector.free;
~s6freqSensor.free;

}

);

};


// end of code
)
```

C.1.5 Classe para integração do SuperCollider com o InScore

```
 // SCInScore -- SuperCollider conversion and plot musical notes using InScore
// Developed by Rael Toffolo (2014)
//
// Some piece of code were adapted from SuperFomus Class developed by
// Bernardo Barros. Thanks Bernardo for the support.
//
// This program is free software: you can redistribute it and/or modify
// it under the terms of the GNU General Public License as published by
// the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or
// (at your option) any later version.
//
// This program is distributed in the hope that it will be useful,
// but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
// MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE.  See the
// GNU General Public License for more details.
//
// You should have received a copy of the GNU General Public License
// along with this program.  If not, see <http://www.gnu.org/licenses/>

SCInScore {
var <eventList;
var <>windowName = "scene";
var <>scoreWindow;
var <>netAdress;
var <>inScorePort;


*new { arg noteList, n, inScorePort;
^super.new.init(noteList, n, inScorePort);
}

init { arg thisStuff=[], n=1, porta;

this.inScorePort_(porta);
"thisinscoreport ".post; this.inScorePort;
this.scoreWindow = "/ITL/" ++ this.windowName;
this.netAdress = NetAddr("127.0.0.1", this.inScorePort);

eventList = Array.new;

(thisStuff.size > 0 or: thisStuff.class == Routine).if({
this.put(thisStuff, n)
});

}

put { arg stuffIn, n=1;

case
{stuffIn.class == Event}
{ eventList = eventList.add(stuffIn)}
```

```
{stuffIn.class == Array}
{
stuffIn.do { |thisEvent|
if( thisEvent.class == Event,
{ eventList = eventList.add(thisEvent)},
{ "At least one element of the Array is not an Event".error}
);
}
}

{stuffIn.class == Routine}
{
stuffIn.nextN(n,()).do { |thisEvent|
eventList = eventList.add(thisEvent)
};
}

{(stuffIn.class == Event or: stuffIn.class == Array).not}
{ "You must provide an Event, a Stream or an Array of Events".error};

}

asString {
var out = "";

eventList.do { arg i;
out = out ++ i.asSCInScoreString
};

^out;
}

show {

var noteLine, endereco;

endereco = this.scoreWindow ++ "/object";
noteLine = "[ \\staff<1> \\clef<\"g2\"> \\staff<2> \\clef<\"f\"> " ++ this.asString ++ "]";

//"netAdress = ".post; this.netAdress.postln;
//"score window = ".post; endereco.postln;
//"noteline = ".post; noteLine.postln;

this.netAdress.sendMsg(this.scoreWindow, "width", 2);
this.netAdress.sendMsg(endereco,"set", "gmn" ,noteLine) ; // score
this.netAdress.sendMsg(endereco, "scale",7);

}

quit {

this.netAdress.sendMsg("/ITL","quit" ) ;

}


}
```

C.1.6 Inclusão de métodos na Classe *Event*, necessária à classe de integração do SuperCollider com InScore

```
 // SCInScore -- SuperCollider conversion and plot musical notes using InScore
// Developed by Rael Toffolo (2014)
//
// Some piece of code were adapted from SuperFomus Class developed by
```

```
// Bernardo Barros. Thanks Bernardo for the support.
//
// This program is free software: you can redistribute it and/or modify
// it under the terms of the GNU General Public License as published by
// the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or
// (at your option) any later version.
//
// This program is distributed in the hope that it will be useful,
// but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
// MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE.  See the
// GNU General Public License for more details.
//
// You should have received a copy of the GNU General Public License
// along with this program.  If not, see <http://www.gnu.org/licenses/>.


+ Event {

asSCInScoreString {

var outString = "";

this.keys.includes(\instrument).if({
//outString = "part " ++ this[\instrument].asString
//outString = "";

});

this.keys.includes(\part).if({
//outString = "part " ++ this[\part].asString
//outString = "";
});

this.keys.includes(\voice).if({
//outString = "voice " ++ this[\voice].asString
//outString = "";
});

this.keys.includes(\time).if({
//outString = outString ++ " time " ++ this[\time].asString
//outString = "";
});

this.keys.includes(\time).not.if({
//outString = outString ++ " time + "
//outString = "";
});

this.keys.includes(\dur).or(this.keys.includes(\duration)).if({
//outString = outString ++ " duration " ++ this[\dur].asString
//outString = "";

});

this.keys.includes(\midinote).if({

if( this[\midinote].class == Array,
{
this[\midinote].do({arg thisNote;
//outString = outString ++ " pitch " ++ thisNote.asString + "; \n
if (thisNote > 59 ,{ outString = outString ++ "\\staff<1> "},{outString
= outString ++ "\\staff<2> "});
outString = outString ++ thisNote.midiNamesGMN ++ "*1 ";
})
},{
//outString = outString ++ " pitch " ++ (this[\midinote]).asString;
//outString = outString ++ ";";
if ( (this[\midinote] > 59) ,{ outString = outString ++ "\\staff<1>
"},{outString = outString ++ "\\staff<2> "});
outString = outString ++ (this[\midinote]).midiNamesGMN ++ "*1 ";
}
)
});
```

```
this.keys.includes(\note).if({

if( this[\note].class == Array,
{ // if this is a chord:
this[\note].do({arg thisNote;
outString = outString ++ (thisNote +60).midiNamesGMN ++ "*1 ";
})
},{
outString = outString ++ (this[\note] + 60).midiNamesGMN ++ "*1 ";

}
)
});

^outString
}
}
```

C.1.7 Alterações nas Classes *Integer* e *Array* necessárias ao funcionamento do *patch* de *Traverser le réseau*

```
 /* Rael B. Gimenes Toffolo

<rael dot gimenes at gmail dot com> */

+ Integer {

midiNames
{
var note, octave, testCase, nameOut, stringNote, intNote;
intNote = this;
nameOut = "";
note = intNote-(12*(intNote.div(12)));
octave = (intNote.div(12))-1;

testCase = case
{note == 0 } { "c" ++ octave  }
{note == 1 } { "c#" ++ octave }
{note == 2 } { "d" ++ octave  }
{note == 3 } { "d#" ++ octave }
{note == 4 } { "e" ++ octave  }
{note == 5 } { "f" ++ octave  }
{note == 6 } { "f#" ++ octave }
{note == 7 } { "g" ++ octave  }
{note == 8 } { "g#" ++ octave }
{note == 9 } { "a" ++ octave  }
{note == 10 } { "a#" ++ octave }
{note == 11 } { "b" ++ octave };
nameOut = testCase;
^nameOut;
}

midiNamesGMN
{
var note, octave, testCase, nameOut, stringNote, intNote;
intNote = this;
nameOut = "";
note = intNote-(12*(intNote.div(12)));
octave = (intNote.div(12))-1;
octave = octave -3;

testCase = case
{note == 0 } { "c" ++ octave  }
{note == 1 } { "c#" ++ octave }
{note == 2 } { "d" ++ octave  }
{note == 3 } { "d#" ++ octave }
```

```
{note == 4 } { "e" ++ octave  }
{note == 5 } { "f" ++ octave  }
{note == 6 } { "f#" ++ octave }
{note == 7 } { "g" ++ octave  }
{note == 8 } { "g#" ++ octave }
{note == 9 } { "a" ++ octave  }
{note == 10 } { "a#" ++ octave }
{note == 11 } { "b" ++ octave };
nameOut = testCase;
^nameOut;
}


}

+ Array {

midiNames
{
var name, octave, testCase, nameOut, stringNotes,arrayNotes;
arrayNotes = this;
stringNotes = "";
arrayNotes.do({ arg z;
var i;
i = z.asInteger;
name = i-(12*(i.div(12)));
octave = (i.div(12))-1;

testCase = case
{name == 0 } { "C" ++ octave ++", " }
{name == 1 } { "C#" ++ octave ++", " }
{name == 2 } { "D" ++ octave ++", " }
{name == 3 } { "D#" ++ octave ++", " }
{name == 4 } { "E" ++ octave ++", " }
{name == 5 } { "F" ++ octave ++", " }
{name == 6 } { "F#" ++ octave ++", " }
{name == 7 } { "G" ++ octave ++", " }
{name == 8 } { "G#" ++ octave ++", " }
{name == 9 } { "A" ++ octave ++", " }
{name == 10 } { "A#" ++ octave ++", " }
{name == 11 } { "B" ++ octave ++", " };
stringNotes = stringNotes ++ testCase;
});
stringNotes.removeAt(stringNotes.size-1);
stringNotes.removeAt(stringNotes.size-1);
^stringNotes;

}


namesMidi {
var arrayOut,dicNotes, arrayIn,position;
arrayIn= this;
arrayOut = Array.new;
dicNotes = Dictionary[ "C"->0,
"C#"->1,
"Db"->  1,
"D"->  2,
"D#"->  3,
"Eb"->  3,
"E"->  4,
"F"->  5,
"F#"->  6,
"Gb"->  6,
"G"->  7,
"G#"->  8,
"Ab"->8,
"A"->  9,
"A#"->10,
"Bb"->  10,
"B"->11,
"c#"->1,
"db"->  1,
```

```
"d#"->  3,
"eb"->  3,
"f#"->  6,
"gb"->  6,
"g#"->  8,
"ab"->8,
"a#"->10,
"bb"->  10];
position = 0;
arrayIn.do({arg string; var noteString, note, octave= "", calcNote;
octave = (string.at((string.size)-1));

if (((string.size) == 3),
{noteString = string.at(0) ++ string.at(1)},
{noteString = case
{ (string.at(0)).digit == 10}{ "A" }
{ (string.at(0)).digit == 11}{ "B" }
{ (string.at(0)).digit == 12}{ "C" }
{ (string.at(0)).digit == 13}{ "D" }
{ (string.at(0)).digit == 14}{ "E" }
{ (string.at(0)).digit == 15}{ "F" }
{ (string.at(0)).digit == 16}{ "G" };

}
);
note = (dicNotes.at(noteString));
calcNote = (((octave.digit)+1)*12)+note;
arrayOut = arrayOut ++ calcNote;

});

^arrayOut;
}

}
```

APÊNDICE D – Cálculo de tensão harmônica manual

Visando fornecer aos interessados em realizar o cálculo de tensão harmônica sem a utilização do computador desenvolvemos a tabela de cálculo abaixo. O resultado exato final será diferente do cálculo utilizando o algoritmo computacional. Nesta tabela não está prevista a etapa final de multiplicação da rugosidade entre os harmônicos por suas dinâmicas porém, o cálculo obedece a mesma proporção do que é realizado computacionalmente.

Para usar a tabela, siga os seguintes passos:

- Organize as notas desejadas do grave ao agudo;
- localize na tabela o valor de rugosidade para cada par de intervalos. Por exemplo, em uma tríade de Dó Maior, iniciada pelo Dó central, localize na tabela a rugosidade para os pares de intervalos: Dó/Mi; Dó/Sol e Mi/Sol; (veja os valores MIDI: 60 = Dó central)
- some todos os valores obtidos;
- finalmente, divida o valor final pela quantidade de notas (no exemplo acima: divida por três).

| midi | C 8 | B | Bb | A | Ab | G | Gb | F | E | Eb | D | Db | C 7 | B | Bb | A | Ab | G | Gb | F | E | Eb | D | Db | C 6 | B | Bb | A | Ab | G | Gb | F | E | Eb | D | Db | C 5 | B | Bb | A | Ab | G | Gb | F | E | Eb | D | Db | C 4 | B | Bb | A | Ab | G | Gb | F | E | Eb | D | Db | C 3 | B | Bb | A | Ab | G | Gb | F | E | Eb | D | Db | C 2 | B | Bb | A | Ab | G | Gb | F | E | Eb | D | Db | C 1 | B | Bb | A | Ab | G | Gb | F | E | Eb | D | Db | C 0 |
|---|---|---

APÊNDICE E – CD com as obras O resto no copo e Traverser le réseau

O resto no copo para contrabaixo e eletrônica em tempo real (2010).

Contrabaixo: Alexandre Rosa.

Extraída do CD BASS XXI - Alexandre Rosa. Música Digital Produções. Série Audições Especiais.

Traverser le réseau para violoncelo e eletrônica em tempo real (2013).

Violoncelo: Pedro Henrique Ludwig

Gravada no Laboratório de Pesquisa e Produção Sonora - LAPPSO/UEM.

Referências Bibliográficas

ARNHEIM, R. Perceptual dynamics in musical expression. *The Musical Quarterly*, Oxford University Press, v. 70, n. 3, p. pp. 295–309, 1984. ISSN 00274631. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/742040>.

ASSIS, G. O. A. *Em busca do som: a música de Kerlheinz Stockhausen nos anos de 1950*. São Paulo: Editora UNESP, 2011.

BELET, B. Live performance interaction for humans and machines in the early twenty-first century: one composer's aesthetics for composition and performance pratice. *Organised Sound*, v. 8, n. 3, p. 305–312, 2003.

BERIO, L. *Remembering the Future*. Harvard University Press, 2006. (Charles Eliot Norton lectures). ISBN 9780674021549. Disponível em: <http://books.google.com.br/books?id=JVf0le8iFqwC>.

BIGAND, E.; PARNCUTT, R.; LERDAHL, F. Perception of musical tension in shor chord sequences: The influence of harmonic function, sensory dissonance, horizontal motion, and musical training. *Perception & Psychophysics*, v. 58(1), p. 125–141, 1996.

BITTENCOURT, M. A. Um modelo computacional das teorias de edmond costère e da teoria de conjuntos implementado em uma ferramenta analÌtica em php. In: SBCM (Ed.). *Anais do Simpósio XI Simpósio Brasileiro de Computação Musical*. São Paulo: SBCM, 2007. v. 1, n. 1, p. 83–96.

BONIS, M. F. de. *Tabulae scriptae: a metalinguagem e as trajetórias de Henri Pousseur e Willy Corrêa de Oliveira*. Tese (Tese de Doutorado) — Escola de Comunicação e Artes da Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2012.

BOULEZ, P. *Apontamentos de Aprendiz*. São Paulo: Perspectiva, 2008.

CARNER, M. Problems of modern harmonic evolution. *Music & Letters*, Oxford University Press, v. 22, n. 2, p. pp. 123–134, 1941. ISSN 00274224. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/728177>.

COLLINS, N. Live coding of consequence. *Leonardo*, v. 44, n. 3, p. 207–211, 2011.

COSTèRE, E. *Lois et Styles des Harmonies Musicales*. Paris: Presses Universitaires de France, 1954.

COSTèRE, E. *Mort; ou, Transfigurations de l'harmonie*. Paris: Presses Universitaires de France, 1962.

DANTO, A. C. *Após o fim da Arte*. São Paulo: Odysseus Editora, 2006.

DEUTSCH, D. The processing of structured and unstructured tonal sequences. *Perception & Psychophysics*, v. 28, p. 381–389, 1980.

DIAS, H. P. G. *A "Querela dos Tempos": Um estudo sobre as divergências estéticas na música eletroacústica mista*. Dissertação (Mestrado) — Instituto de Artes da Unesp, São Paulo, 2006.

DOMINGUES, D. (Ed.). *Arte, Ciência e Tecnologia: Passado, presente e desafios*. São Paulo: Editora UNESP, 2009.

ECO, U. *Obra Aberta: forma e indeterminação nas poéticas contemporâneas*. São Paulo: Perspectiva, 1990.

EMMERSON, S. *Living Electronic Music*. Cornwall: Ashgate Publishing Limited, 2010.

FARBOOD, M. M. A parametric, temporal model of musical tension. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, University of California Press, v. 29, n. 4, p. pp. 387–428, 2012. ISSN 07307829. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/10.1525/mp.2012.29.4.387>.

FERGUSON, S. *Concerto for piano and orhestra*. Tese (Doutorado) — Faculty of Music, McGuill University, Montreal, December 2000.

FOBER, D. et al. Partitions musicales augmentées. In: *Actes des Journées d'Informatique Musicale JIM2010*. [S.l.: s.n.], 2010.

GALILEI, G. *Dialogues concerning Two New Sciences.* New York: MacGraw-Hill Book Co., Inc., 1963.

GARNETT, G. E. The aesthetics of interactive computer music. *Computer Music Journal*, v. 25, n. 1, p. 21–44, 2001.

GRANOT, R. Y.; EITAN, Z. Musical tension and the interaction of dynamic auditory parameters. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, University of California Press, v. 28, n. 3, p. pp. 219–246, 2011. ISSN 07307829. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/10.1525/mp.2011.28.3.219>.

HELMHOLTZ, H. L. F. *On the Sensations of Tone as a Physiological basis for the Theory of Music*. New York: Dover Publications, 1954.

JEPPESEN, K. *Counterpoint: the polyphonic vocal style of the sixteenth century*. New York: Dover Publications, 1992.

KIMURA, M. Creative process and performance of interactive computer music: a performer's tale. *Organised Sound*, v. 8, n. 3, p. 289–296, 2003.

KRUMHANSL, C. L. A perceptual analysis of mozart's piano sonata k. 282: Segmentation, tension, and musical ideas. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, University of California Press, v. 13, n. 3, p. pp. 401–432, 1996. ISSN 07307829. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/40286177>.

LERDAHL, F. Calculating tonal tension. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, University of California Press, v. 13, n. 3, p. pp. 319–363, 1996. ISSN 07307829. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/40286174>.

LERDAHL, F. *Tonal Pitch Space*. New York: Oxford University Press, 2001.

LERDAHL, F.; KRUMHANSL, C. L. Modeling tonal tension. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, v. 24, n. 4, p. 329–366, 2007.

MACHOVER, T. *Hyperinstrument: A Progress Report 1987–1991*. 1992. Disponível em: <http://opera.media.mit.edu/publications.html>.

MAGNUSSON, T. Algorithms as scores: Coding live music. *Leonardo Music Journal*, v. 21, p. 19–23, 2011.

MANOURY, P. Considérations (toujours actuelles) sur l'état de la musique en temps réel. 2007. Disponível em: <http://www.philippemanoury.com/?p=319>.

MATURANA, H. et al. *A ontologia da realidade*. Belo-Horizonte: UFMG, 1997.

MCNUTT, E. Performing electroacoustic music: a wider view of interactivity. *Organised Sound*, v. 8, n. 3, p. 297–304, 2003.

MENEZES, F. O que vem a ser o 'sistema de polarização' - a segunda menor é o Átomo do sistema tonal. *Viva a Música*, p. 5, 1979.

MENEZES, F. *Atualidade Estética da Música eletroacústica*. São Paulo: Fundação Editora UNESP, 1999.

MENEZES, F. *Apoteose de Schoenberg*. São Paulo: Ateliê Editorial, 2002.

MENEZES, F. *A acústica musical em palavras e sons*. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

MEYER, L. B. *Emotion and Meaning in Music*. Chicago: Chicago University Press, 1956.

MEYER, L. B. *Explaining music: Essays and explorations*. Berkeley: University of California Press, 1973.

MEYER, L. B. *Style and music: Theory, history, and ideology*. Berkeley: University of Chicago Press, 1989.

Nota de programa - IRCAM. *Programme du concert di 3 octobre 1981 au Centre George-Pompidou*. Paris: Brahms (Base Relationnelle d'Articles Hypermédia sur la Musique des XXe et XXIe siècles), 1981. Disponível em: <http://brahms.ircam.fr/index.php?id=10611>. Acesso em: 18 de setembro de 2012.

PARNCUTT, R. Revision of terhardt's psychoacoustical model of the root(s) of a musical chord. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, University of California Press, v. 6, n. 1, p. pp. 65–93, 1988. ISSN 07307829. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/40285416>.

PARNCUTT, R. Systematic musicology and the history and future of western musical scholarship. *Journal of Interdisciplinary Music Studies*, v. 1, n. 1, p. 1–32, 2007.

PARNCUTT, R.; STRASBURGER, H. Applying psychoacoustics in composition: "harmonic"progressions of "nonharmonic"sonorities. *Perspectives of New Music*, Perspectives of New Music, v. 32, n. 2, p. pp. 88–129, 1994. ISSN 00316016. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/833600>.

PATTY, A. T. Pacing scenarios: How harmonic rhythm and melodic pacing influence our experience of musical climax. *Music Theory Spectrum*, University of California Press on behalf of the Society for Music Theory, v. 31, n. 2, p. pp. 325–367, 2009. ISSN 01956167. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/10.1525/mts.2009.31.2.325>.

PETITOT, J. et al. *Naturalizing phenomenology*. Stanford, CA: Stanford University Press Stanford, 1999.

PLOMP, R.; LEVELT, W. J. M. Tonal consonance and critical bandwidth. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 38, p. 548–560, 1965.

PORRES, A. T. *Modelos psicoacústicos de dissonância para eletrônica ao vivo*. Tese (Doutorado) — Escola de Comunicação e Artes, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

POUSSEUR, H. Applications analytiques de la 'techiques des réseaux'. *Revue belge de Musicologie*, v. 52, p. 247–298, 1998. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/3686929>.

POUSSEUR, H. Apoteose de rameau e outros ensaios. In: ____. [S.l.]: Edunesp, 2009. cap. Apoteose de Rameau: ensaio sobre a questão harmônica, p. 171–253.

POUSSEUR, H. *Apoteose de Rameau: e outros ensaios*. São Paulo: Editora UNESP, 2009.

RAMIRES, M. *A Teoria de Costère: uma perspectiva em análise musical*. São Paulo: Embraform, 2001.

RIEMANN, H. Ideas for a study "on the imagination of tone". *Journal of Music Theory*, v. 36, n. 1, p. 81–117, 1992.

RISSET, J.-C. Composing in real-time? *Contemporary Music Review*, v. 18, n. 3, p. 31–39, 1999.

RISSET, J.-C.; DUYNE, S. Real-time performance interaction with a computer-controlled acoustic piano. *Computer*, v. 20, n. 1, p. 62–75, 1996.

ROEDERER, J. G. *Introdução à física e psicofísica da música*. São Paulo: Edusp, 2002.

ROWE, R. *Interactive Music Systems*. Massachusetts: The MIT Press, 1993.

ROWE, R. *Machine Musicianship*. Massachusetts: The MIT Press, 2001.

SCHAEFFER, P. *Traité des Objets Musicaux*. Paris: Éditions du Seuil, 1966.

SCHOENBERG, A. *Komposition mit 12 nur aufeinanderbezogenen Tönen*. Disponível em: <http://www.aeiou.at/aeiou/musikkolleg/schoenberg/sb-kompo.htm>. Acesso em: 18 de setembro de 2012.

SCHOENBERG, A. *Harmonia*. São Paulo: Editora UNESP, 2001.

SCHOENBERG, A. *Funções estruturais da harmonia*. São Paulo: Via Lettera Editora e Livraria Ltda., 2004.

SCIPIO, A. D. 'sound is the interface': from interactive to ecosystemic signal processing. *Organised Sound*, v. 8, n. 3, p. 269–277, 2003.

SETHARES, W. A. *Tuning, Timbre, Spectrum, Scale*. New York: Springer-Verlag, 2004.

STOCKHAUSEN, K. Texte zur elektronischen und instrumentalen musik. In: *Aufsätze 1952-1962 zur Theorie des Komponierens*. Köln: Verlag M. Dummont Schauberg, 1963. Band 1.

TENNEY, J. *A History of 'Consonance' and 'Dissonance'*. New York: Excelsior Music Publishing Company, 1988.

TERHARDT, E. The concept of musical consonance: A link between music and psychoacoustics. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, University of California Press, v. 1, n. 3, p. pp. 276–295, 1984. ISSN 07307829. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/40285261>.

THOMPSON, W. F.; PARNCUTT, R. Perceptual judgments of triads and dyads: Assessment of a psychoacoustic model. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, University of California Press, v. 14, n. 3, p. pp. 263–280, 1997. ISSN 07307829. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/40285721>.

VARELA, F.; THOMPSON, E.; ROSCH, E. *A mente Incorporada*. Porto Alegre: Artmed, 2003.

WEBERN, A. *O caminho para a música nova*. São Paulo: Ed. Novas Metas, 1984.

WILSON, S.; COTTLE, D.; COLLINS, N. (Ed.). *The SuperCollider book*. Cambridge: The MIT Press, 2011.

ZARLINO, G. *L'Institutioni harmoniche*. Venice: [s.n.], 1589.

Esta tese foi composta em LaTeXusando a classe abnTeX.