



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE ARTES

Ivan Eiji Yamauchi Simurra

CONTRIBUIÇÃO AO PROBLEMA DA ORQUESTRAÇÃO
ASSISTIDA POR COMPUTADOR COM SUPORTE DE
DESCRITORES DE ÁUDIO

Campinas
2016

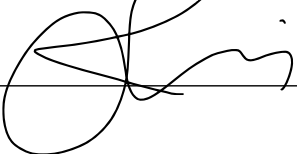
Ivan Eiji Yamauchi Simurra

CONTRIBUIÇÃO AO PROBLEMA DA ORQUESTRAÇÃO ASSISTIDA POR COMPUTADOR COM
SUPORTE DE DESCRITORES DE ÁUDIO

Tese de Doutorado apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Música do Instituto de
Artes da Universidade Estadual Campinas
como parte dos requisitos exigidos para a
obtenção do título de Doutor em Música. Área
de Concentração: Processos Criativos

Orientador: Prof. Dr. Jônatas Manzolli
Coorientador: Dr. Stéphan Schaub

Este exemplar corresponde à versão final
da Tese defendida pelo aluno Ivan Eiji
Yamauchi Simurra e orientada pelo Prof.
Dr. Jônatas Manzolli.



Campinas
2016

Agência(s) de fomento e nº(s) de processo(s): FAPESP, 2011/23972-2

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca do Instituto de Artes
Sílvia Regina Shiroma - CRB 8/8180

Si59 Simurra, Ivan Eiji Yamauchi, 1984-
Contribuição ao problema da orquestração assistida por computador com suporte de descritores de áudio / Ivan Eiji Yamauchi Simurra. – Campinas, SP : [s.n.], 2016.

Orientador: Jônatas Manzolli.
Coorientador: Stéphan Oliver Schaub.
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Artes.

1. Composição (Música). 2. Instrumentação e orquestração. 3. Composição musical por computador. 4. Música - Análise, apreciação. 5. Teoria musical. I. Manzolli, Jônatas, 1961-. II. Schaub, Stéphan Oliver. III. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Artes. IV. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Contribution to the problem of computer-aided orchestration with the support of audio descriptors

Palavras-chave em inglês:

Composition (Music)
Instrumentation and orchestration
Computer composition
Music appreciation
Music - Theory

Área de concentração: Processos criativos

Titulação: Doutor em Música

Banca examinadora:

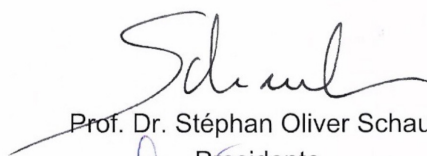
Stéphan Oliver Schaub [Coorientador]
James Correa Soares
Alexandre Roberto Lunsqui
Adolfo Maia Junior
Sílvia Ferraz Mello Filho

Data de defesa: 29-02-2016

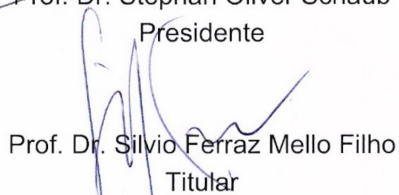
Programa de Pós-Graduação: Música

Instituto de Artes
Comissão de Pós-Graduação

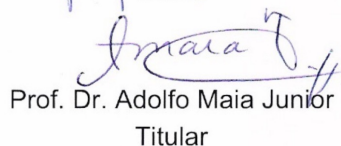
Defesa de Tese de Doutorado em Música, apresentada pelo Doutorando Ivan Eiji Yamauchi Simurra - RA 024066 como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor, perante a Banca Examinadora:



Prof. Dr. Stéphan Oliver Schaub
Presidente



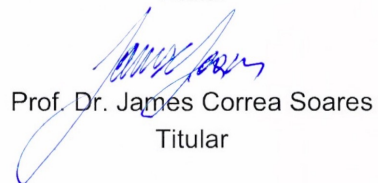
Prof. Dr. Silvio Ferraz Mello Filho
Titular



Prof. Dr. Adolfo Maia Junior
Titular



Prof. Dr. Alexandre Roberto Lunsqui
Titular



Prof. Dr. James Correa Soares
Titular

PARA LUANA OLIVEIRA RIBEIRO
SIMURRA E A NOSSA FAMÍLIA
QUE ESTÁ SENDO CONSTRUÍDA AOS
POUCOS

Agradecimentos

Agradeço,

ao meu querido orientador, Prof. Dr. Jônatas Manzolli, pelas inúmeras mas sempre inesquecíveis ocasiões de incentivo, ensinamento, acompanhamento, velados ‘puxões de orelha’ e, acima de tudo, por ser essa incrível pessoa apaixonada e entusiasmada pelo que faz e pelo que transmite. Meus sinceros, ternos e eternos agradecimentos ao grande Jônatas Manzolli

ao meu coorientador, pesquisador Dr. Stéphan Schaub, por incentivar-me e estar à disposição mesmo naquelas situações à distância. Companheiro de conversas ótimas e sempre boas discussões não somente sobre música

à minha amada esposa Luana Oliveira Ribeiro Simurra, a quem dedico este trabalho, por ter mudado a minha vida

aos meus pais, Rui Simurra e Leonor Akemi Yamauchi Simurra, por estenderem as suas mãos nos momentos dos quais mais precisei. São as pessoas mais especiais e instigantes que já conheci

ao meu irmão, Marcos Inoue e a sua família, pelo companheirismo à vida toda

ao Prof. Dr. Adolfo Maia, alma mais que generosa, que incentivou-me e mostrou-se, em suas atitudes, uma simplicidade altamente produtiva em seus trabalhos

aos professores Drs. Silvio Ferraz, Alexandre Lunsqui, Anselmo Guerra e James Correa

aos amigos Adriano Monteiro, Charles de Paiva, Igor Maia, João Victor, Samuel Ferrari, Ronalde Monezzi, Felipe Lara, Gabriel Rimoldi, Clayton Mamedes, Francisco de Oliveira, Gustavo Penha, José Padovani, Didier Guigue, Valério da Costa, Alexandre Ficagna, Rodrigo Bussad, Marcílio Onofre, Tiago Tavares, Tiago de Mello, Flavio Yamaguchi, Marcio Suzuki, Danilo Takara, Eve Vega, Michelle Fernandes, Adriana da Costa, Natália Franco, Lucilene Hirata, dentre outros tantos e incontáveis amigos

ao colega Edelson Constantino, pela dedicação e disponibilidade

aos demais colegas do Departamento Wander Vieira, Elizabeth Fernandes e José Fornari

aos professores do Instituto de Artes/UNICAMP, em especial, aos Profs. Drs. José Augusto

Mannis e Denise Garcia

aos membros da banca examinadora pelos comentários, sugestões e contribuições, que ajudaram a melhorar a qualidade e a redação final do manuscrito

à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo-FAPESP, pelo apoio financeiro concedido durante o período de doutoramento

ao NICS/UNICAMP pela a ótima estrutura que oferece aos estudantes e pesquisadores

The term 'inspiration', when applied to musical composition, commonly denotes that which has given a composer a musical idea, whether this be a single motive or a whole work. It must be an unknown or mysterious source in order to warrant the name inspiration.

The 'unknown' source is the unconscious, the 'mysterious' source is the projection of the unconscious onto mountains, sea, human situations and activities, art, other music, or anything in the external world which rings a bell within the composer and mirrors his own deep feelings. This latter source is partially, because symbolically, known and understood, the former, however, is totally obscure.

Jonathan Harvey - *The composer's idea of his inspiration* (Harvey 1965, pg. 01)

Resumo

Dentro da linha de pesquisa em Suportes instrumentais e materiais para composição e, em especial, à orquestração assistida por computador, a Tese descreve um estudo sobre o processo de combinação instrumental utilizando-se um ambiente computacional projetado com descritores de áudio, o qual denominamos como *Sound Shizuku Composition* ou SSC. Para tanto, implementamos o SSC em Pure Data (PD), utilizando a biblioteca de funções ‘PDescriptors’ para analisar as características sonoras de um banco de dados de arquivos de áudio com diversos instrumentos musicais e técnicas expandidas. A pesquisa apoia-se, principalmente, em três aspectos fundamentais: a) o estudo de descritores de áudio como ferramenta de análise sonora à orquestração musical assistida por computador; b) a análise de obras e procedimentos desenvolvidos por compositores que servirão de referência para o desenvolvimento de modelos de escritura e; c) a criação de estudos composicionais, nos quais serão testadas as hipóteses de orquestração. A partir do estudo sobre os descritores de áudio como ferramenta de análise, item ‘a’, a etapa centrou-se na geração de um universo de combinações instrumentais descrito a partir de suas características sonoras. Tal procedimento auxilia a tomada de decisão relacionada à orquestração e técnicas expandidas. Com relação ao item ‘b’, utilizamos os descritores de áudio para analisar as características sonoras das seguintes obras: o Primeiro Movimento das *Quattro Pezzi per Orchestra*, de Giacinto Scelsi; as três peças solo *Guero*, *Pression* e *Dal Niente - Interieur III*, de Helmut Lachenmann e; *Reflexões*, de Jônatas Manzolli. No que refere-se ao item ‘c’, apresentamos um portfólio de composições musicais, cujo planejamento orquestral baseou-se no diálogo entre os resultados obtidos a partir dos estudos dos descritores de áudio com as análises das obras dos compositores de referência. Espera-se que todo o processo de pesquisa aqui reportado contribua com o desenvolvimento na área de orquestração musical assistida por computador, estabelecendo uma mescla mais refinada da diversidade sonora enquanto um

método de combinação de instrumentos musicais e técnicas expandidas.

Palavras-chave: Composição Musical; Orquestração Assistida por Computador;
Técnicas Instrumentais Expandidas; Análise Sonora; Descritores de Áudio

Abstract

This Thesis describes an investigation into the instrumental combination process using a computing environment designed with audio descriptors, which we refer to as Sound Shizuku Composition or SSC. To this end, we implemented the SSC in PureData programming language (PD) using the library of functions 'PDescriptors' to analyze the sound characteristics of a sound database with a myriad of musical instruments and extended techniques. The research relies mainly on three fundamental aspects: a) the study of audio descriptors such as sound analysis tool for computer-assisted musical orchestration; b) the analysis of works by composers and procedures developed to serve as a reference for the development of compositional models; c) the creation of compositional studies, in which the orchestrations will be tested. From the study on the audio descriptors as an analytical tool, item 'a' focused on the generation of a universe of instrumental combinations described from their sonic characteristics. This procedure helps the decision making related to the orchestration and extended techniques. Regarding to item 'b', we use the audio descriptors to analyze the sound characteristics of the following works: the First Movement of *Quattro Pezzi per Orchestra* by Giacinto Scelsi; the three solo pieces *Guero*, *Pression* and *Dal Niente - Interieur III* by Helmut Lachenmann and *Reflexões* by Jônatas Manzolini. As refers to the item 'c', we present a portfolio of original musical works, whose orchestral planning was based on the dialogue between the results obtained from studies of audio descriptors with the analysis of the works of reference composers. It is expected that the whole process of research reported here will increase the field of computer-assisted musical orchestration research area, establishing a more refined blend of sound diversity as a method of combination of musical instruments and extended techniques.

Keywords: Music Compotision; Computer-Aided Orchestration; Extended Techniques; Music Analysis; Audio Descriptors

Lista de Figuras

2.1	Esquema geral da metodologia do sistema de orquestração assistida por computador - <i>Sound Shizuku Composition - SSC</i> . Os blocos cinzas representam o fluxo computacional de dados para análise de sonoridades. Os blocos brancos representam a interação do usuário/compositor com o próprio sistema. Os blocos pontilhados e tracejados compreendem as tarefas de cada uma das cinco etapas da nossa arquitetura de metodologia.	39
2.2	Análise da média de Centroide Espectral de dois instrumentos executando a mesma altura e a mesma dinâmica musical. Figura 2.2a, Análise do Contrabaixo; Figura 2.2b, Análise da Viola.	42
2.3	Análise do desvio padrão espectral de duas sonoridades executando a mesma altura e a mesma dinâmica musical. Figura 2.3, análise da orquestra de cordas; Figura 2.3b, análise da Viola.	43
2.4	Dois momentos de análise a partir da obliquidade espectral	43
2.5	Análise da curtose espectral de duas sonoridades da flauta executando <i>whistle tone</i> , na Figura 2.5a e em <i>jet whistle</i> , Figura 2.5b.	45
2.6	Análise da curtose espectral de duas sonoridades do violino executando <i>harmônico artificial</i> , na Figura 2.6a e com o arco <i>atrás do espelho</i> , Figura 2.6b. . .	45
2.7	Análise do conjunto de sonoridades a partir do cálculo de fluxo espectral. . .	46
2.8	Análise sonora, a partir do fluxo espectral, de duas técnicas instrumentais da viola: <i>arco ordinario</i> com <i>poco vibrato</i> e <i>tremolo</i>	46
2.9	Análise da média de nivelamento espectral de duas técnicas instrumentais executadas pela flauta. Figura 2.9a, análise da flauta em <i>jet whistle</i> ; Figura 2.9b, análise da flauta em <i>ordinario</i>	47
2.10	Análise do nivelamento espectral do violoncelo executando a técnica de <i>pizzicato bartók</i>	47
2.11	Análise do intervalo entre <i>onsets</i> com durações de notas diferentes.	48

2.12	Análise da média de Irregularidade Espectral de dois instrumentos executando a mesma altura e a mesma dinâmica musical. Figura 2.12a, Análise do Clarinete, em <i>Sib</i> ; Figura 2.12b, Análise do Violoncelo.	49
2.13	Envelope Espectral do clarinete.	49
2.14	Análise do Envelope Espectral de duas sonoridades do trompete, em intensidade <i>pp</i> e <i>ff</i> . O eixo <i>y</i> representa a intensidade sonora, mensurada em <i>dB</i> . Eixo <i>x</i> representa a escala de frequência sonoras, em Hz.	50
2.15	Análise da média da frequência roll-off de <i>pizzicato bartók</i> , no contrabaixo, executado em duas cordas diferentes. A Figura 2.15a ilustra a análise da corda 3; a Figura 2.15b, representa a análise da corda 4.	51
2.16	Análise da razão entre componentes espectrais ímpares e pares do clarinete, Figura 2.16a, e do fagote, Figura 2.16b, executando técnica instrumental em <i>ordinario</i> e <i>poco vibrato</i>	51
2.17	Síntese das etapas do processamento auditivo.	53
2.18	Análise da taxa de cruzamento por zero da flauta, Figura 2.18a, do trompete, Figura 2.18b e do violoncelo, Figura 2.18c.	53
2.19	Análise do decrescimento espectral de duas sonoridades distintas, com notas percussivas (Figura 2.19a) e notas sustentadas (Figura 2.19b).	54
2.20	Análise do centroide temporal de duas versões de uma mesma sonoridade utilizando técnicas de <i>pizzicato</i> nos instrumentos de cordas.	55
2.21	Esquema geral do algoritmo de Croma.	56
2.22	Representação do comportamento rotacional (Figura 2.22a) e espiral das alturas em oitavas diferentes (Figura 2.22b).	56
2.23	Ilustração do Módulo 1 do sistema <i>SSC</i> . Para a interação com os registros sonoros é necessário carregar o banco de dados com a utilização do ícone <i>load-db</i> , no canto superior direito.	61
2.24	Ilustração do Módulo 2 do sistema <i>SSC</i>	61
2.25	Representação do algoritmo de sobreposição dos registros sonoros. Na Figura 2.25a, o processo é realizado pelo objeto <i>tabletool</i> , da biblioteca <i>TimbreID</i> . Na Figura 2.25b, as sobreposições são armazenadas no <i>corpus</i> denominado <i>mixture_II</i> . Esse <i>corpus</i> será analisado pelos descritores de áudio, no Módulo 4.	62
2.26	Ilustração do Módulo 4 do sistema <i>SSC</i> , no qual é possível selecionar o conjunto de quatro pares de descritores de áudio, que analisarão as misturas sonoras.	64
2.27	Ilustração do Módulo 5 do sistema <i>SSC</i> , que realiza as análises das Misturas Sonoras. Os dados coletados são extraídos pelos descritores de áudio (Figura 2.27a). A Figura 2.27b representa o submódulo que calcula a média dos dados coletados.	65

2.28	Ilustração do Módulo 6 do sistema <i>SSC</i> , no qual é possível interagir com as misturas sonoras num espaço de exploração e pesquisa. Neste módulo é possível escutar a mistura sonora selecionada.	65
2.29	Diagrama das etapas de conversão das informações musicais, dos registros sonoros, para a sintaxe da programação em <i>Lilypond</i>	67
2.30	Ilustração do Módulo 7 do sistema <i>SSC</i> , ao qual seleciona a mistura sonora e armazena-a em formato de áudio, <i>.aif</i> e em formato de notação musical, em formato <i>lilypond</i> . A Figura 2.30a representa a <i>patch</i> de interação com o módulo 7. A Figura 2.30b ilustra a partitura de uma mistura sonora selecionada.	67
2.31	Esquema geral da arquitetura do sistema de orquestração assistida por computador - <i>Sound Shizuku Composition - SSC</i>	70
3.1	Três comportamentos musicais distintos, que estabeleceram os critérios de segmentação. Figura <i>a)</i> entrada de instrumentos; <i>b)</i> comportamento dinâmico de intensidades musicais e; <i>c)</i> modos de articulação instrumental. Os números, inseridos nos quadrados, representam o número do compasso na partitura.	74
3.2	Gráfico com a quantidade de instrumentos musicais de cada segmento sonoro.	75
3.3	Histograma do comportamento da centroide espectral de cada segmento sonoro	77
3.4	Histograma de <i>loudness</i> da segmentação sonora das <i>Quattro Pezzi per Orchestra</i> .	77
3.5	Histogramas com a análise dos três agrupamentos, a partir do descritor croma.	79
3.6	Histograma da pertinência de cada nota musical a partir da análise, via croma, dos segmentos sonoros do primeiro Movimento das <i>Quattro Pezzi per Orchestra</i> .	80
3.7	Excerto da partitura de <i>Pression</i> no qual há indicações de técnicas não convencionais de execução instrumental.	84
3.8	Excerto da partitura de <i>Dal Niente</i> no qual há indicações de técnicas não convencionais de execução instrumental.	85
3.9	Excerto final da partitura de <i>Guero</i> no qual há indicações da execução de <i>pizzicato</i> nas cordas do piano, o único momento com altura musical definida na obra.	85
3.10	Diagrama de bloco da proposta de análise das três peças solo, de Lachenmann, via descritores de áudio.	86
3.11	Gráficos com o comportamento dinâmico de centroide e nivelamento espectral, em <i>Guero</i>	87
3.12	Gráficos com o comportamento dinâmico de centroide e nivelamento espectral, em <i>Pression</i>	88
3.13	Gráficos com o comportamento dinâmico de centroide e nivelamento espectral, em <i>Dal Niente (Intérieur III)</i>	88
3.14	Gráficos com as curvas do intervalo de <i>onsets</i> , via análise de <i>IOIs</i> , para cada uma das três peças solo	89

3.15	Excerto da partitura de <i>Pression</i> , no qual há correlação entre os três descritores de áudio utilizados na análise: centroide, nivelamento e <i>IOIs</i>	90
3.16	Extração das características, via descritores de áudio, dos seis movimentos de <i>Reflexões</i>	95
3.17	Matriz de correlação dos descritores de áudio utilizados em cada movimento de <i>Reflexões</i>	97
3.18	Relação dos picos de amplitude, extraídos pelo descritor RMS, com as entradas do tímpano, em cada movimento de <i>Reflexões</i>	98
3.19	Figura que representa a configuração dos 25 agrupamentos elaborados pela análise de <i>K-means</i> . As gradações de cinza representam os valores, normalizados, das médias de cada descritor de áudio. As colunas ilustram os agrupamentos e as linhas representam os descritores de áudio utilizados.	99
3.20	Relação da frequência dos agrupamentos <i>K-means</i> com as entradas do tímpano, em cada movimento de <i>Reflexões</i>	100
3.21	Matriz de correlação dentre todas as 95 entradas do tímpano. Por convenção, os quadrados totalmente preenchidos representam a mais alta correlação positiva.	101
3.22	Tabela com a frequência de correlação de cada uma das 95 sonoridades, estabelecidas pelas entradas do tímpano, em <i>Reflexões</i>	102
3.23	Excerto da partitura da sonoridade “ep11”, compasso 228, da qual possui a maior frequência de correlação positiva alta. Em <i>a)</i> , destacamos os instrumentos: <i>flautas, oboés, clarinetes, fagotes, trombones, tímpano</i> e <i>vibrafone</i> . Já em <i>b)</i> , destacamos os instrumentos, a partir do mesmo compasso 228: <i>piano</i> e <i>cordas</i>	103
4.1	Diagrama geral do percurso timbrístico em <i>Lana Tai</i>	109
4.2	Excertos das três etapas estruturais da sonoridade global de <i>Lana Tai</i>	111
4.3	Gráfico de Croma das 15 MS. As linhas são associadas às classes de altura e as colunas às MS.	112
4.4	Gráfico de Croma das 15 MS. As linhas são associadas às classes de altura e as colunas às MS.	113
4.5	Histograma com os valores de centroide de cada MS	114
4.6	Histogramas do Croma em três momentos estruturais de <i>Lana Tai</i>	115
4.7	Gráfico com os Pontos de Referência, utilizando os descritores de áudio. Abaixo, a tabela com os índices de cada descritor de áudio para elaborar os Pontos de Referência	117
4.8	Transcrição dos 04 PR’s, implementados em <i>O azeite, a lua e o rio</i>	117
4.9	Diagrama de Bloco das etapas do planejamento composicional de <i>O azeite, a lua e o rio</i>	118

4.10	Excertos das 07 MS, transcritas na partitura de <i>O azeite, a lua e o rio</i>	119
4.11	Análise do croma da Mistura Sonora I.	119
4.12	Excerto da utilização dos dados no croma da Mistura Sonora I.	120
4.13	Análise do croma do Ponto de Referência 3.	120
4.14	Excerto da utilização dos dados do croma no Ponto de Referência I.	121
4.15	Gráfico com o momento no qual cada MS' relaciona-se com a trajetória dos PRs. A tabela, ao lado, apresenta os dados coletados a partir do gráfico. . .	121
4.16	Análise de Loudness de cada sonoridade em <i>O azeite, a lua e o rio</i> . As 11 barras do histograma estão associadas aos 4 Pontos de Referência e às 7 Misturas Sonoras. A oitava barra representa o <i>loudness</i> do Ponto de Referência 3.	122
4.17	Histograma com os dados das análises do descritor de irregularidade espectral. A sonoridade 06 representa o Ponto de Referência 2.	123
4.18	Transcrição de três sonoridades com diferentes índices de irregularidade: a) Irregularidade Baixa; b) Irregularidade Alta e; c) Irregularidade Baixa. . . .	123
4.19	Diagrama de Bloco das quatro primeiras etapas do planejamento composicional, relacionando as Sonoridades com os dados extraídos pelo croma.	124
4.20	Gráfico de croma das 11 sonoridades. As linhas são associadas às classes de altura e as colunas às sonoridades.	124
4.21	Histograma com a média das magnitudes de cada classe de altura das sonoridades de <i>O azeite, a lua e o rio</i>	125
4.22	Diagrama do planejamento inicial para a concepção estrutural da obra <i>Labori Ruinae</i>	127
4.23	Gráfico de representação dos índices de dissimilaridades entre as sonoridades utilizadas em <i>Labori Ruinae</i>	130
4.24	Histograma com a trajetória dos pares de sonoridades a partir do índice de dissimilaridades.	131
4.25	Transcrição, na partitura, dos pares de sonoridades 8 e 5, entre as marcações de ensaio "A" e "B" (Figura 4.25a). O par consecutivo, tal como demonstrado na Figura 4.25a, localiza-se entre as marcações "B" e "C" e representa as sonoridades 5 e 7.	132
4.26	Transcrição da condução da Sonoridade 9 em direção à Sonoridade 6, o par que representa o maior índice de dissimilaridades, com mudanças graduais, abruptas ou com a manutenção das suas características simbólicas comuns, em <i>Labori Ruinae</i>	133
4.27	Diagrama do planejamento inicial para a concepção estrutural da obra <i>Labori Ruinae</i>	133
4.28	Matriz de correlação entre todos os descritores utilizados na análise das sonoridades.	134

4.29	Contornos dos índices de descritores de áudio para cada par de sonoridades presentes em <i>Labori Ruinae</i>	135
4.30	Gráfico com os contornos obtidos pela média dos descritores de áudio em cada par de sonoridade de <i>Labori Ruinae</i>	135
4.31	Gráfico com os valores de média de cada descritor de áudio em <i>Labori Ruinae</i>	136
5.1	Esquema geral da trajetória de pesquisa do Capítulo 1 e Capítulo 3.	143
5.2	Esquema geral da trajetória de pesquisa que integra os Capítulos da Tese, relacionando composição musical, orquestração musical, análise sonora e musical e ambientes computacionais de assistência a contextos musicais.	146
E.1	Extração das características, via descritores de áudio, dos seis movimentos de <i>Reflexões</i>	188

Lista de Tabelas

1.1	Tabela com a síntese da Revisão da Literatura utilizada na Seção 1.1, organizadas por assunto de trabalho.	19
1.2	Tabela com a síntese da Revisão da Literatura relacionada com ambientes computacionais de assistência à composição.	24
1.3	Tabela com a síntese da Revisão da Literatura relacionada com Orquestração Assistida por Computador	31
1.4	Tabela com a síntese da Revisão da Literatura relacionada com descritores de áudio e <i>Music Information Retrieval</i> - MIR	35
2.1	Tabela com a síntese da utilização dos descritores de áudio no contexto de análise musical e da composição musical.	41
2.2	Tabela com o Resumo da apresentação dos descritores de áudio utilizados nos Capítulo 3 e 4.	57
2.3	Tabela com a síntese dos instrumentos musicais pertencentes ao banco de dados sonoros utilizado para a realização das misturas sonoras instrumentais.	59
2.4	Tabela com a lista dos descritores de áudio disponíveis no sistema de orquestração assistida por computador - <i>SSC</i>	63
3.1	Tabela com os trinta e seis segmentos sonoros do Primeiro Movimento das <i>Quattro Pezzi per Orchestra</i>	74
3.2	Três comportamentos musicais distintos. Os números, inseridos nos quadradinhos, representam o número do compasso na partitura.	76
3.3	Tabela com o agrupamento dos principais segmentos sonoros do ponto de vista da estrutura formal do Primeiro Movimento das <i>Quattro Pezzi per Orchestra</i>	78
3.4	Tabela com os segmentos sonoros com maior valor em <i>loudness</i>	78
3.5	Índice de centroide espectral de cada segmento sonoro	78
3.6	Tabela com a síntese das conclusões elaboradas da análise das três peças solo de Lachenmann.	89

3.7	Tabela com a quantidade de ‘entradas’ do tímpano em cada movimento, em <i>Reflexões</i>	94
3.8	Índice da média dos índices de correlação de todos os descritores de áudio utilizados, em cada movimento de <i>Reflexões</i>	97
4.1	As abreviações indicam o instrumento (vn = violino; va = viola; vc = violoncelo e cb = contrabaixo) e os modos de execução (ord = ordinario; ast = alto sul tasto; asp = alto sul ponticello; bb = behind the bridge; arthm = artificial harmonic; trem = tremolo; cr = crushed; szf = sforzando; tratto = col legno tratto; nonvib = non vibrato; sord = sordina; pizzliv = pizzicato laisser vibrer).	110
4.2	Estrutura formal de <i>Lana Tai</i> , a partir dos conjuntos organizados pelos Pontos de Referência.	114
4.3	Tabela com indicações de técnicas de execução, alturas e dinâmicas musicais para os quatro ‘Pontos de Referência’ de ‘ <i>O azeite, a lua e o rio</i> ’.	117
4.4	Tabela com indicações de técnicas de execução, alturas e dinâmicas musicais para as sete Misturas Sonoras de <i>O azeite, a lua e o rio</i>	118
4.5	Tabela com todas as sonoridades implementadas em <i>O azeite, a lua e o rio</i>	122
4.6	Tabela as informações musicais, com indicações de técnicas de execução, alturas e dinâmicas musicais, de todas as sonoridades utilizadas em ‘ <i>O azeite, a lua e o rio</i> ’. O índice, próximo a nota musical, indica a sua localização no âmbito vertical, da partitura. A referência da nota <i>Dó₄</i> , refere-se à primeira linha complementar inferior, na clave de sol.	128
4.7	Tabela com os índices dos descritores de áudio para cada sonoridade, de acordo com a Tabela 4.6.	129
4.8	Tabela do cálculo de dissimilaridade entre todas as sonoridades utilizadas em <i>Labori Ruinae</i>	129
4.9	Tabela com a relação entre os pares de sonoridade a partir do índice de dissimilaridade, em <i>Labori Ruinae</i>	130
A.1	Tabela com a síntese da taxonomia dos descritores de áudio utilizados nos Capítulos 2, 3 e 4.	169

Glossário e Lista de Acrônimos, Siglas e Abreviaturas

Glossário

al niente Dinâmica musical em ‘direção’ ao *nada*. Similar a *Decrescendo*

arco overpressure ou crushed Forte pressão do arco nas cordas produzindo uma sonoridade com grande quantidade de ruído sonoro.

arco sul ponticello Técnica de arco, em instrumentos de cordas, indicando a execução próxima ao *cavalete*.

arco sul tasto Técnica de arco, em instrumentos de cordas, indicando a execução próxima ao *espelho*.

behind the bridge Técnica de arco, em instrumentos de cordas, indicando a execução atrás do *cavalete*.

bisbigliando Técnica utilizada para alterar a percepção timbrística de uma sonoridade alternando-se a digitação ou o dedilhado instrumental, dependendo do instrumento musical. Similar a *trinado timbrístico*. Em instrumentos de cordas, também é conhecida como *bariolage*.

brassy Técnica de instrumentos de metal resultando em sonoridade mais *metálica*, produzida pela pressão dos lábios no bocal do instrumento.

col legno tratto Técnica de instrumentos de cordas na qual o músico ‘desliza’ vara do arco nas cordas do instrumento.

dal niente Dinâmica musical em ‘iniciando’ do *nada*. Similar a *Crescendo*

jet whistle Técnica de instrumentos de sopro na qual aplica-se forte pressão de ar no bocal do instrumento. É conhecido como *assovio a jato*.

key clicks Sons percussivos. A técnica consiste em percutir as chaves dos instrumentos.

kiss sound Técnica de instrumentos de sopro na qual aplica forte pressão nos lábios liberando ar próximo ao bocal do instrumento

multifônicos Técnica instrumental na qual possibilita a sobreposição de várias alturas musicais num mesmo evento sonoro.

on the frog Técnica de instrumentos de cordas na qual o arco do instrumento desliza nas cravelhas dos instrumentos.

on the tailpiece Técnica de violoncelo na qual o arco do instrumento desliza no talão.

rubbing with the finger nail

slap tongue pizzicato ou golpes rápidos de língua no bocal do instrumento

teeth on reed Técnica de instrumentos de sopro, principalmente, oboé e clarinete na qual coloca-se os dentes suavemente na palheta do instrumento.

whistle tone Técnica de instrumentos de sopro, principalmente, flauta na qual o instrumentista controla a passagem de ar no bocal produzindo uma sonoridade delicada, similar a um assovio.

Lista de Acrônimos, Siglas e Abreviaturas

AES *Audio Engineers Society*

ATO-MS *Abstract Temporal Orchestration - Modular Structure*

CCRMA *Center for Computer Research in Music and Acoustics*

CAC *Composição Assistida por Computador*

CAD *Computer-Aided Design*

CAM *Computer-Aided Music Contexts*

CMJ *Computer Music Journal*

CMR *Contemporary Music Review*

CUIDADO *Content-based Unified Interfaces and Descriptors for Audio/music Database available Online*

DAW *Digital Audio Workstation*

GA *Genetic Algorithms*

HPCP *Harmonic Pitch Class Profile*

IEEE *Institute of Electrical and Electronics Engineers*

IRCAM *Institut de Recherche et Coordination Acoustique/Musique*

ISMIR *International Society of Music Information Retrieval*

JNMR *Journal of New Music Research*

MBO *Multimodal Brain Orchestra*

MDS *Multidimensional Scaling*

MIR *Music Information Retrieval*

MIREX *Music Information Retrieval Evaluation eXchange*

MS *Misturas Sonoras*

MTG *Music Technology Group*

MIT *Massachusetts Institute of Technology*

NICS *Núcleo Interdisciplinar de Comunicação Sonora*

NYU *New York University*

OAC *Orquestração Assistida por Computador*

Orchidée *Orchestration Idée*

PCP *Pitch Class Profile*

PD *Pure Data*

PR *Pontos de Referência*

RMS *Root Mean Square*

SBCM *Simpósio Brasileiro de Computação Musical*

SIA *Sistemas Imunológicos Artificiais*

SMC *Sound and Music Computing*

SOL *Studio OnLine*

SPORCH *SPectral ORCHestration*

SSC *Sound Shizuku Composition*

STFT *Short-Time Fourier Transform*

UFMG *Universidade Federal de Minas Gerais*

UFRJ *Universidade Federal do Rio de Janeiro*

UNICAMP *Universidade Estadual Campinas*

UPIC *Unité Polyagogique Informatique*

Sumário

Introdução Geral	1
1 Campo Temático e Revisão da Literatura	13
1.1 Diálogo com Repertório: <i>Giacinto Scelsi, Helmut Lachenmann e Jônatas Man- zolli</i>	14
1.2 Composição Assistida por Computador & Orquestração Assistida por Com- putador	20
1.2.1 Composição Assistida por Computador	21
1.2.2 Orquestração Assistida por Computador	25
1.3 <i>Music Information Retrieval (MIR)</i>	31
2 Procedimentos Metodológicos	37
2.1 Arquitetura da Metodologia	38
2.2 Estudo Técnico dos Descritores de Áudio	39
2.2.1 Centróide Espectral	40
2.2.2 Desvio Padrão Espectral	42
2.2.3 <i>Skewness</i> ou Obliquidade Espectral	43
2.2.4 Curtose Espectral	44
2.2.5 Fluxo Espectral	45
2.2.6 Nivelamento Espectral	46
2.2.7 Intervalo entre <i>Onsets</i> - IOI	47
2.2.8 Irregularidade Espectral	48
2.2.9 Roll-Off Espectral	49
2.2.10 Razão entre Componentes Ímpares e Pares	50
2.2.11 Energia RMS	51
2.2.12 <i>Loudness</i>	52
2.2.13 Taxa de Cruzamento por Zero	52

2.2.14	Decrescimento Espectral	54
2.2.15	Centroide Temporal	54
2.2.16	Croma Espectral	55
2.3	Banco de Amostras Sonoras	58
2.4	Ambiente de Análise (Pure Data) - <i>Sound Shizuku Composition - SSC</i> . . .	60
2.4.1	Módulo 1 - Definição do Instrumentos Musicais e de suas Técnicas de Execução Instrumental	60
2.4.2	Módulo 2 - Definição da Quantidade de Misturas Sonoras	60
2.4.3	Módulo 3 - O Algoritmo de Orquestração das Sonoridades	62
2.4.4	Módulo 4 - Seleção dos Descritores de Áudio	63
2.4.5	Módulo 5 - Análise das Misturas Sonoras	64
2.4.6	Módulo 6 - Criação do Espaço de Exploração das Misturas Sonoras .	64
2.4.7	Módulo 7 - Seleção das Misturas Sonoras e Formatos de Exportação dos Resultados	66
2.4.8	Esquema Geral da Arquitetura do Sistema de Orquestração Assistida por Computador - <i>Sound Shizuku Compostion - SSC</i>	67
3	Diálogos Analíticos com Descritores de Áudio	71
3.1	Giacinto Scelsi	71
3.1.1	O Primeiro Movimento das <i>Quattro Pezzi per Orchestra</i>	72
3.1.2	Procedimento de Análise	73
3.1.3	Resultados e Análise dos Dados	75
3.1.4	Discussão e Conclusão	80
3.2	Helmut Lachenmann	82
3.2.1	As Três Peças Solo de Helmut Lachenmann	83
3.2.2	Procedimento de Análise	85
3.2.3	Resultados e Análise dos Dados	87
3.2.4	Discussão e Conclusão	88
3.3	Jônatas Manzolli	92
3.3.1	Contexto e Ponto de Vista, em <i>Reflexões</i>	93
3.3.2	Procedimento de Análise	94
3.3.3	Resultados e Análise dos Dados	95
3.3.4	Discussão e Conclusão	103
4	Apresentação do Portfólio Composicional	107
4.1	<i>Lana Tai - no dia em que nasceu uma aquarela</i>	108
4.1.1	Contexto e Ponto de Vista	108
4.1.2	Criação de Possibilidades a partir de Misturas Sonoras	109
4.1.3	Transcrições	110

4.1.4	Análise	112
4.2	<i>O Azeite, a lua e o rio - numa ilha rodeada de ouro, com água até o joelho</i> .	115
4.2.1	Contexto e Ponto de Vista	115
4.2.2	Criação de Possibilidades a partir de Misturas Sonoras	116
4.2.3	Transcrições	116
4.2.4	Análise	120
4.3	<i>Labori Ruinae</i>	126
4.3.1	Contexto e Ponto de Vista	126
4.3.2	Criação de Possibilidades a partir de Misturas Sonoras	128
4.3.3	Transcrições	131
4.3.4	Análise	131
5	Conclusões e Perspectivas	139
5.1	Descrição da Trajetória de Pesquisa	141
5.1.1	dos Diálogos com o Repertório à Análise Musical - Capítulo 1 e Capítulo 3	141
5.1.2	dos Ambientes Computacionais aos Procedimentos Metodológicos - Capítulo 1 e Capítulo 2	143
5.1.3	dos Procedimentos Metodológicos ao Portfólio Composicional - Capítulo 2 e Capítulo 4	144
5.1.4	Síntese da Trajetória de Pesquisa	146
5.2	As Contribuições da Pesquisa	147
5.3	Os Desdobramentos Composicionais	147
5.4	As Inovações de Pesquisa	148
5.5	A Tese em perspectiva com o presente e o futuro	149
	Bibliografia	151
A	Anexo A: Definição e Formulação Matemática dos Descritores de Áudio utilizados no ambiente <i>Sound Shizuku Composition - SSC</i>	168
B	Apêndice B: Ambiente Computacional de Orquestração Assistida por Computador - <i>Sound Shizuku Composition - SSC</i>	176
C	Apêndice C: Gravação das Obras Musicais	178
D	Apêndice D: Misturas Sonoras das obras <i>Lana Tai - no dia em que nasceu uma aquarela; O azeite, a lua e o rio</i> e <i>Labori Ruinae</i>	180
E	Apêndice E: Gráficos	182

F	Apêndice F: Todas as Figuras utilizadas no corpo da Tese	190
G	Apêndice G: Partituras das Obras Musicais	192

Introdução Geral

Nesta Introdução apresentamos as questões que motivaram a realização deste trabalho de pesquisa em composição musical utilizando uma ferramenta computacional de análise de sonoridades orquestrais. O nosso trabalho propôs-se apresentar os resultados dos nossos estudos composicionais que utilizaram recursos da computação musical e, em particular, de ambiente de orquestração assistida por computador. Os principais tópicos para realizar esta pesquisa relacionam-se com “composição musical”, “análise musical”, “timbre” e as “ferramentas computacionais de assistência à orquestração e à composição musical”.

O uso do computador como um instrumento de assistência à composição musical colaborou significativamente com os nossos trabalhos de análise e composição. Neste contexto, a composição e a análise realizadas diretamente pelos dados simbólicos, dispostos na partitura musical, fornecem resultados consideráveis ao ressaltar aspectos estéticos e conceituais da obra musical. Todavia, a utilização dos recursos computacionais junto a tais aspectos ampliam a compreensão macro e microestrutural do universo timbrístico ao qual o compositor está inserido em seu projeto.

As técnicas de escritura da música atual, aquelas que tangem o controle de fatores relacionados ao timbre musical, colocam o compositor frente a um sem número de recursos sonoros tanto para obras para um instrumento solo quanto para uma orquestra sinfônica. Essas possibilidades são exploradas no contexto da criação de obras musicais com técnicas estendidas de execução instrumental. Os recursos provenientes dos diversos e particulares modos de execução de cada instrumento musical, podem alterar sensivelmente as características espectrais de cada nota executada. Sinestesicamente, tal como numa pintura em aquarela, o “colorido sonoro” é controlado pela forma como o compositor concatena essas técnicas instrumentais, podendo criar “manchas sonoras” às quais alterarm a percepção do timbre associado a um instrumento ou a uma combinação deles.

O uso do timbre como categoria significativa do planejamento composicional descreve uma trajetória à qual inicia-se junto à orquestração musical, principalmente em trabalhos de Monteverdi e, posteriormente em Berlioz. A noção de timbre era associada às misturas ou sobreposições instrumentais sem considerá-lo do ponto de vista da criação de novas

sonoridades a partir da orquestração musical. Em consonância com a utilização do timbre como espaço potencial à composição, verifica-se uma preocupação cada vez mais acentuada com a obtenção de resultados timbrísticos mais refinados e particulares, tanto no âmbito do planejamento quanto na realização instrumental/vocal. A ideia de timbre como uma “metadimensão” (Guigue 1996, pg. 45) apresenta o interesse de considerá-lo não mais como uma simples “cor” mas como um espaço para integrar os parâmetros musicais e, até mesmo, como categoria central à composição. Como um parâmetro musical potencial à composição, utilizou-se o timbre como elemento funcional à criação musical e como elemento estrutural à forma musical. A Música Espectral (Dufourt 1979), fundamenta-se em pesquisas correlatas ao timbre cujo foco centra-se nas propriedades sonoras transformando-as em parâmetros potenciais à composição. As informações espectrais do timbre são adquiridas, principalmente, pelos ambientes computacionais de análise sonora. O projeto composicional da Música Espectral considera as características espectrais como parâmetros musicais dinâmicos e sempre em movimento. A Música Espectral centra-se em processos de transformações graduais sonoras, contínuas e sequenciais (Baillet 2000), (Zuben 2005), (Catanzaro 2013). Apontado por Barrière, em seu trabalho acerca da importância do timbre no pensamento composicional, corroboram para com esse cenário contemporâneo as obras de compositores como Mahler, Wagner, Debussy, Schönberg, Varèse, Messiaen, Ligeti, Stockhausen, Tristan Murail, dentre outros (Barrière 1991).

Contudo, definir o termo “timbre” e a sua contribuição para a estrutura musical é um desafio grande para diversos pesquisadores especializados na área (Sandell 2008), (McAdams 1999), e um esforço que excede o escopo deste trabalho. As pesquisas relacionadas com o timbre é um campo aberto, complexo e, apesar dos inúmeros trabalhos, ainda é uma área não conclusiva. Contudo, o conceito ordinário do termo, utilizado pela *ASA - American Standards Association*¹, define, por exclusão, que o timbre é um atributo da sensação auditiva através do qual um ouvinte pode julgar que dois sons de mesma altura musical e intensidade são diferentes. Como observou Boulez (Boulez 1987, pg. 162), do ponto de vista artístico e subjetivo, o timbre é uma propriedade da linguagem musical, concomitante a estética e a forma musical. Contudo, tal abordagem impossibilita o relacionamento da “intuição qualitativa” do timbre com a “avaliação quantitativa” das categorias de medidas e análises objetivas do comportamento do timbre musical. No nosso ponto de vista, estudar o timbre musical do ponto de vista científico, vincula-se indiretamente com uma abordagem poética e musical. Pois, as pesquisas acerca das características objetivas das microestruturas espectrais internas do timbre musical aprofundam o desenvolvimento de uma escuta mais refinada e consciente. Hermann von Helmholtz conduziu pesquisas relacionadas com o timbre levando em consideração a presença e a magnitude das componentes espectrais com relação à componente fundamental (Helmholtz 1885) e (Shields & Kendall 2004). Tal relação forneceu

¹Para mais informações, ver: <http://www.ansi.org>. Data de acesso: 06/10/2015.

subsídios importantes do ponto de vista da análise timbrística utilizando as características espectrais do som (Plomp & Levelt 1965), (Shepard 1962), (Grey 1977). As pesquisas de Berger (Berger 1964) e Wedin e Goude (Wedin & Goude 1972) apontam uma correlação entre a precisão do reconhecimento de um timbre com o tempo de ataque e decaimento de sua fonte sonora. Para Pierre Schaeffer, o timbre de um som é percebido pela variação do seu comportamento espectral e da sua evolução no tempo (Schaeffer 1966). Schaeffer é um dos pioneiros a distinguir a fenômeno físico do som e a sua própria percepção. Deve-se diferenciar a frequência e altura, no qual o primeiro diz respeito à acústica e o segundo à psicoacústica. A frequência está relacionada com o objeto que constitui o som. Já a altura musical relaciona-se com a audição.

A construção de um campo para explorar material timbrístico, tal como descrito no nosso trabalho, relaciona-se diretamente com ponto de vista teórico apresentado por Makis Solomos (Solomos 2013). A tese de Solomos versa sobre a problemática da “emergência do timbre, da dissonância e da introdução de ruído” na música, especialmente, em obras produzidas a partir do século XX. Ele enfatiza que novos parâmetros de caracterização sonora conduziram a novos paradigmas de escuta e de composição musical, com os quais o som define-se como o agente principal de uma obra musical. De acordo com o autor, na música e, em especial na música eletroacústica, o som é ao mesmo tempo material e a forma. É o modelo formal e narrativo. Solomos discute a definição de timbre analisando a história da utilização do termo a qual atribui a Rousseau como um dos primeiros autores a considerá-lo oficialmente (Solomos 2013, pg. 55). Em seu Capítulo 1, denominado *Du Timbre*, Solomos discute o panorama da utilização do termo em diversos autores que, além de Rousseau, discutiram o timbre do ponto de vista científico, tal como em Helmholtz (Helmholtz 1885), Chladni (Chladni 1809) e Savart (Savart 1979) e em orquestração musical, como em Berlioz (Berlioz & Strauss 1985) e Rimsky-Korsakov (Rimsky-Korsakoff 1964). Para Solomos, o timbre é um fenômeno da percepção. Não se trata mais de localizar e identificar o som, como é possível fazê-lo com a altura ou duração. Trata-se, portanto, do modo com o qual o ouvinte “aprende” o som (Solomos 2013, pg. 75). Na música atual, os sons possuem características das quais relacionam-se com sonoridades ruidosas, não estáticas e em plena transformação ao longo do tempo além de não serem previamente determinados (Solomos 2013, pg. 88). Solomos discute as inúmeras atribuições da presença do timbre na produção musical em orquestração, análise, funções composicionais (timbre como “objetos-centrais”, “categorias-centrais”, “harmonia-timbre”, “acordes-timbres”), na composição de timbres e como elemento limiar na percepção sonora. Por fim, o autor ressalta que a música que amplia a sua concepção composicional além da altura e da duração e que demanda outras categorias ou características sonoras, deve-se atribuir ao termo *som* uma função mais relevante que o de timbre (Solomos 2013, pg. 186). A esse som, descrito conceitualmente por Solomos, associamos o termo “sonoridade”, tal como apresentado por Didier Guigue (Guigue 2011), para conduzir o planejamento e a realização da composição aqui apresentada. Em sua *Estética da Sonoridade*, Guigue analisa a obra dos

compositores Debussy, Messiaen, Boulez, Stockhausen, Berio, Lachenmann e Crumb, que abordaram a problemática do timbre em composições elaboradas para piano solo e sobre a qual a sonoridade se define como uma síntese de componentes que interagem de forma complementar. O conceito de “sonoridade”, para Solomos, refere-se a uma entidade global e um composto inteiramente construído a partir do “interior” do som, logo após a dissolução das dimensões musicais clássicas, como a altura e o ritmo, por exemplo. Para Solomos, a escolha do termo “sonoridade” nos aproxima da noção de “som” enquanto um som composto, articulado, construído. Um “artefato” não como um som natural e muito menos um timbre (Solomos 2013, pg. 758-759).

A relação do ouvinte com as características espectrais do som extrapola o vasto universo que compreende o timbre. Uma das possibilidades de pesquisa que visa estudar essa relação busca correlacionar a percepção de timbre com descrições verbais que o representam. Hermann von Helmholtz foi um dos pioneiros a investigar a percepção dos atributos timbrísticos expressados verbalmente (Helmholtz 1885). Há duas abordagens fundamentais na literatura especializada centrada nos correlatos verbais da percepção do timbre. As pesquisas de von Bismarck identificam quatro dimensões ortogonais relacionadas com as escalas entre *fullness* (*full - empty*), *luminance and texture* (*dull - sharp*), *color* (*colorful - colorless*) e *density* (*compact - diffused*) (von Bismarck 1974b), (von Bismarck 1974a). Contudo, de acordo com o estudo recente desenvolvido por Zacharakis *et al.* (Zacharakis, Pasiadis & Reiss 2015), as quatro dimensões propostas por Bismarck reduzem descrições salientes e conceituais da percepção do timbre, restringindo e compactando a complexidade das características sonoras do timbre musical. Esta investigação associada com o estudo dos atributos verbais do timbre musical objetivou identificar as características semânticas mais significativas do timbre e a quantificação da correlação de tais descritores timbrísticos com diversas propriedades categóricas das entidades sonoras (Zacharakis, Pasiadis, Papadelis & Reiss 2011). A análise de sonoridades correlatas aos seus atributos verbais refere-se a estudos que objetivam identificar as características sonoras das quais emerge a percepção do timbre (Brent 2010a, pg. 08). Diversas técnicas de avaliação, recuperação e análise de tais características permitem a redução da complexidade multidimensional dos parâmetros sonoros. A técnica estatística de escalonamento multidimensional - MDS possibilitou as primeiras investigações quantitativas sobre a complexa estrutura sonora a partir de dados perceptivos (Loureiro & de Paula 2006, pg. 58). A pesquisa de referência de Grey (Grey 1975) emprega o método MDS na identificação das características espectrais similares entre a combinação de pares de sonoridades de 16 instrumentos musicais. Em seu estudo, Grey (Grey 1975, pg. 99) definiu um espaço de características sonoras de três dimensões no qual: 1º) os instrumentos musicais são classificados de acordo com a distribuição da sua energia espectral; 2º) os sons são mapeados de acordo com a presença dos transientes durante o tempo inicial de ataque do som e; por fim, 3º) há uma sincronicidade dos componentes espectrais mais altos nos tempos de ataque e decaimento do som. Já o modelo de escalonamento multidimensional apresentado por

McAdams (McAdams 1999) define um “espaço de timbre” no qual as características espectrais podem ser analisadas objetivamente tais como “centroide”, “tempo de ataque”, “fluxo espectral”, “irregularidade espectral”, dentre outras. Em síntese, Tae Hong Park apresenta os principais atributos da percepção do timbre (Park 2004, pg. 14)²: número de componentes espectrais - magnitudes relativas das componentes espectrais; estrutura das componentes harmônicas - envelope espectral no domínio do tempo; *Loudness* e frequência fundamental; fase, componentes inharmônicos, sincronicidade dos componentes espectrais; presença do ruído; multidimensionalidade; características temporais do estímulo sonoro, especialmente nos tempos de ataque; porções de sons estacionários e de ataque do som.

Inseridas na problemática acerca do timbre em composição musical, as áreas de pesquisa em composição assistida por computador, computação musical, processamento de áudio digital e outras áreas do conhecimento, oferecem ferramentas significativas para a análise e descrição do fenômeno sonoro. Os insumos técnicos, desenvolvidos pela tecnologia musical, podem ser uma prerrogativa muito eficaz quando aplicados à composição musical. Tal afirmação torna-se ainda mais relevante quando se trata da composição que apoia seu discurso no timbre musical. Nesse sentido, descrevê-lo é, de fato, interpretá-lo nas suas diversas relações paramétricas. As características do comportamento acústico do timbre musical deve ser significativo e consciente no projeto particular de cada compositor, independente de sua estética ou poética musical (Harvey 1980).

Uma abordagem importante do planejamento composicional que se relaciona com as possibilidades de manipulação do timbre, refere-se à orquestração musical. Os procedimentos reportados na pesquisa, aqui relatada, sintetizam o estudo contemporâneo sobre orquestração com suporte computacional. A literatura relacionada com timbre e orquestração é ampla e muito abrangente. Uma das questões fundamentais da nossa proposta centra-se no potencial criativo das características timbrísticas de sonoridades orquestrais. Segundo Carpentier, os estudos musicológicos direcionam as questões relacionadas com o planejamento orquestral na subjetividade, no empirismo e nas “práticas comuns” (Carpentier 2008, pg. 37). Apesar de historicamente relevantes, os tratados de instrumentação e orquestração consagrados pelos estudos da História da Música, como discutiremos na Seção 1.2.2, apresentam pouca discussão apoiada em critérios objetivos. As informações e reflexões presentes nestes estudos, às quais relacionam-se com a descrição do comportamento acústico e espectral dos instrumentos musicais apenas reforçam e ratificam o caráter subjetivo do timbre musical. Por outro lado, já em meados da década de 1980, Pierre Boulez projetava a importância objetiva e científica do estudo do timbre na música instrumental do século XX. Há estudos que vinculam a orquestração com a representação do espectro sonoro, no qual o timbre orquestral é a

²1. *Number of harmonics, relative strengths of harmonics*; 2. *Harmonic structure, spectral envelope change over time*; 3. *Loudness and fundamental frequency*; 4. *Phase, inharmonic partials, synchronicity of partials*; 5. *Presence of noise*; 6. *Multidimensionality*; 7. *Temporal characteristics of stimulus especially rise time*; 8. *Steady-state and attack portions*. (Tradução nossa)

resultante da evolução temporal das componentes espectrais geradas pela interação de múltiplos instrumentos e técnicas (Pires 2011, pg. 42). Orquestração musical não compreende somente “misturar” os mais variados timbres e técnicas de execução instrumental. O timbre orquestral é resultante da evolução temporal das componentes de frequências sonoras de múltiplos instrumentos musicais. Neste contexto, Aucouturier *et al.* (Aucouturier, Pachet & Sandler 2005), considera o timbre de maneira global, a partir da polifonia de diferentes timbres instrumentais e não somente as características particulares de um determinado instrumento musical.

A análise objetiva de sonoridades orquestrais viabiliza novos paradigmas e reflexões técnicas que se inserem, de alguma forma, como uma das etapas iniciais do próprio planejamento composicional. Tal como a interação entre o compositor e o computador, as relações entre Música e Tecnologia, enquanto um conjunto sistemático de processos confluentes entre conhecimento científico, técnico e instrumental, não são propriedades características e exclusivas da produção musical dos séculos XX e XXI. O termo “Tecnologia” deve ser interpretado como ferramentas de assistência ao processo composicional e à performance musical. Neste sentido, a utilização da escrita, de um instrumento musical para testar ideias musicais e de outras áreas como a computação musical, sistemas computacionais, modelos matemáticos e descritores de áudio podem ser considerados como “suportes tecnológicos” de assistência à composição. Como destacado por Solomos, a Música atribui à tecnologia uma extensão natural de sua própria técnica. Principalmente na produção da música atual, é impossível distinguir entre técnica e tecnologia musical³ (Solomos 2013, pg. 23).

A História da Música ratifica tais relações entre música e tecnologia tanto por intermédio da “demanda” musical, como uma resposta a uma necessidade composicional, estética ou especulativa anterior quanto pela própria conquista de novos recursos técnicos por intermédio da confecção e evolução dos instrumentos musicais. A codificação da música, por meio da partitura, por exemplo, são procedimentos simbólicos os quais proporcionaram a manipulação do material musical num âmbito de abstração muito mais elevada em comparação à prática instrumental. Em contrapartida, em diversas subcategorias da indústria do entretenimento sonoro, utilizam-se procedimentos técnicos para descrever as características de um sinal de áudio como, por exemplo, reconhecer padrões melódicos musicais e da fala (Mauch, Fujihara, Yoshii & Goto 2011), (Rafii, Germain, Sun & Mysore 2013) e (Boulanger-Lewandowski, Bengio & Vincent 2013). No âmbito dos recursos técnicos de assistência aos trabalhos de produção musical, Jeffrey Scott e Youngmoo Kim (Scott & Kim 2013) propuseram um método de mixagem automática a partir da identificação das características timbrísticas de instrumentos musicais. Byrd e Fingerhut (Byrd & Fingerhut 2002) utilizam recursos de processamento digital de sinais para extrair características do espectro do som.

³*la musique est le premier art à s’être approprié la technologie, celle-ci devenant un prolongement naturel de la technique – dans maintes musiques, aujourd’hui, il est impossible de faire la distinction entre ‘technique’ et ‘technologie’.*

Uma das alternativas de expansão das ferramentas de análise musical são os modelos e os suportes computacionais os quais descrevem características do comportamento do espectro de frequências sonoras de um sinal digital de áudio. Tal método utiliza um conjunto de funções matemáticas, do ponto de vista estatístico e psicoacústico, denominadas “descritores de áudio”. Tais medidas estatísticas também são ferramentas de relevância significativa, no contexto da composição musical assistida por computador. Nela, são utilizados recursos de processamento de áudio digital com os quais extraem-se características sonoras a partir de descritores de áudio sobre o espectro do sinal digitalizado. No nosso trabalho de pesquisa utilizamos as pesquisas em *Music Information Retrieval* ou MIR, como suporte à escrita de música instrumental.

No âmbito da orquestração assistida por computador, muitos trabalhos utilizam bancos de dados sonoros como material de referência na realização de suas análises sonoras. As pesquisas dessas soluções é realizada por dois processos distintos e colaborativos. De um lado, um algoritmo de pesquisa o qual busca por soluções eficientes dentro de um espaço multidimensional parametrizado. Por outro lado, outro algoritmo de pesquisa busca as configurações locais que satisfaçam, por sua vez, as restrições simbólico-musicais. No Capítulo 1, apresentamos um dos exemplos de ambiente computacional de assistência à orquestração, denominado *Orchidée*, que dialoga com os dois processos descritos anteriormente ao reproduzir um “timbre-alvo” ou sonoridade de referência. Há, ainda, trabalhos especializados em orquestração assistida por computador que utilizam modelos matemáticos associados ao conteúdo espectral dos instrumentos de orquestra. Outras pesquisas centram seus estudos em implementar ferramentas computacionais de áreas como a computação evolutiva e os algoritmos genéticos para otimizar o processamento de análise e a busca das sugestões orquestrais. Já a nossa proposta de pesquisa discute o desenvolvimento de um ambiente computacional de análise sonora, denominado como *Sound Shizuku Composition - SSC*, para criar sugestões de sonoridades orquestrais a partir da utilização de técnicas computacionais de análise com os descritores de áudio. O algoritmo de análise do ambiente SSC diferencia-se de outros ambientes por centrar-se nas características perceptivas potenciais que podem estar intrinsecamente associadas ou ortogonalmente diferenciadas a partir dos descritores de áudio. A pesquisa aqui reportada objetiva criar um espaço de exploração de sonoridades orquestrais ou *corpus* de sonoridades que auxiliam o compositor durante o seu próprio processo de planejamento composicional.

O Capítulo 1 expõe um panorama dos trabalhos correlatos aos temas discutidos em nossa proposta pesquisa. Apresentamos três estudos de caso de produção composicional que dialogam com o escopo do nosso trabalho de pesquisa. Os três compositores discutidos são: o italiano Giugino Scelsi, o alemão Helmut Lachenmann e o brasileiro Jônatas Manzolli. O projeto composicional de Scelsi relaciona-se com o nosso trabalho por centrar-se nas mudanças timbrísticas de sonoridades tonais utilizando a variação da orquestração e instrumentação do efetivo instrumental de suas obras musicais. Helmut Lachenmann destaca-se por sua

abordagem composicional centrada na “concretude sonora” relacionada com a articulação do ruído instrumental como sonoridade potencial ao processo criativo. O compositor Jônatas Manzolli dialoga diretamente com o nosso trabalho em orquestração musical assistida por computador. Consideramos as pesquisas do compositor brasileiro como um dos trabalhos precursores da orquestração musical a partir de modelos matemáticos. Ainda no Capítulo 1, descrevemos o panorama do estado da arte dos trabalhos centrados na utilização de recursos computacionais junto ao planejamento composicional e à orquestração musical. As técnicas, as ferramentas e os suportes oferecidos pelos avanços tecnológicos e científicos da Computação Musical já estão mais que consolidados e consagrados, principalmente para o estabelecimento de novos espaços de análise e criação musical. Dada a vasta disseminação e acessibilidade, a aplicação desses recursos para a composição e para a musicologia não apresenta-se mais como uma prerrogativa inédita e exclusiva, ainda mais quando o objeto de análise e/ou de criação incide sobre a extração de características temporais relacionadas ao comportamento dinâmico do fenômeno sonoro. Neste sentido, discutiremos o termo “assistência” à composição e à orquestração, ao qual não implica uma relação única com os recursos tecnológicos, especialmente a informática e a computação. Por fim, apresentamos a área de desenvolvimento científico da qual dialoga com a nossa pesquisa, do ponto de vista dos recursos e das ferramentas computacionais de análise sonora, em especial, com a utilização dos descritores de áudio.

O Capítulo 2 apresenta a metodologia de trabalho interativo de análise sonora e simbólica com composição tal como desenvolvida neste trabalho de pesquisa. Realizamos um estudo sobre as técnicas de recuperação da informação musical via descritores de áudio de baixo-nível, aqueles os quais relacionam-se com o comportamento do espectro de frequências sonoras e com as propriedades psicoacústicas da audição. Neste sentido, utilizar descritores de áudio como ferramenta de análise sonora, relaciona duas abordagens particulares de auxílio ao planejamento composicional: *a)* descrições de características do comportamento do espectro de frequências sonoras com *b)* os modos específicos de execução instrumental estendida e em orquestração. O planejamento composicional, via orquestração musical assistida por computador, foi dividido em cinco etapas principais: *a)* definir as características timbrísticas a serem exploradas por intermédio dos descritores de áudio. Esta etapa definirá os aspectos e as características timbrísticas os quais serão trabalhados composicionalmente; *b)* estabelecer as demarcações dentro do espaço de características, denominadas como “Pontos de Referência”; *c)* realizar experimentos em misturas instrumentais, denominadas como “Misturas Sonoras”, via orquestração de registros sonoros de modos de ataque, articulação e técnicas estendidas de diversos instrumentos musicais. Tais configurações foram construídas a partir de um banco de dados com registros sonoros de diversas técnicas de execução instrumental; *d)* definir as configurações orquestrais ponderadas pelas preferências particulares do compositor. Tal procedimento garante a participação efetiva do compositor no resultado final de sua própria composicional musical; *e)* por fim, armazenar as misturas sonoras sele-

cionadas pelo compositor em notação musical e em formato de áudio. Como destacado em parágrafos anteriores, na Seção 2.4 apresentamos o nosso ambiente de análise e sugestões de sonoridades orquestrais, denominado *Sound Shizuku Composition - SSC*

O Capítulo 3 expõe os trabalhos de análise musical de algumas obras de referência do repertório da música da primeira metade do século XX e início do século XXI e que dialogam com o trabalho de pesquisa desenvolvido durante o doutorado. Uma considerável quantidade de obras, compostas a partir da Segunda Guerra Mundial, possui características e objetivos composicionais que expandem a paleta timbrística por intermédio das misturas instrumentais e pelas técnicas estendidas. Esses projetos composicionais produziram novos matizes os quais alteram a percepção esperada do timbre de um efetivo instrumental ou orquestra sinfônica. Os objetos de pesquisa de análise concentraram-se no primeiro movimento das *Quattro Pezzi per Orchestra*, do compositor italiano Giacinto Scelsi; nas três peças solo do compositor alemão Helmut Lachenmann *Guero*, *Pression* e *Dal Niente - Intérieur III*; e na obra para orquestra *Reflexões*, do compositor brasileiro Jônatas Manzolli.

O Capítulo 4 apresenta um conjunto de três trabalhos composicionais decorrentes dos resultados de pesquisa a partir da metodologia utilizada neste trabalho: *Lana Tai - no dia em que nasceu uma aquarela*; *O azeite, a lua e o rio - numa ilha rodeada de ouro, com água até o joelho* e *Labori Ruinae*. Do ponto de vista da produção composicional relacionada com o desenvolvimento da pesquisa aqui relatada, foram criadas 11 obras inéditas além da revisão de duas obras compostas em períodos anteriores ao período de doutoramento. Com esta produção, ampliamos o escopo do seu estudo em processos criativos que extrapolaram o ambiente de pesquisa e foram apresentados para o público em eventos internacionais. No total, trabalhamos em 13 obras musicais dentre as quais 11 obtiveram registros de áudio de seus concertos de estreia. No repertório produzido durante o período de doutoramento, produzimos 02 peças para instrumento solo, 10 para música de câmara e 01 obra para orquestra sinfônica. A seguir, listamos em perspectiva o portfólio composicional desenvolvido durante o período da pesquisa de doutorado:

- *Shapiro Peer XI*, para Flauta; Clarinete; Trompa; Percussão; Piano; Violino; Viola; Violoncelo e Contrabaixo - 2015
- *Sida Rika Orao*, para Flauta e Piano - 2015
- *ExSamples*, para Clarinete; Saxofone Alto; Percussion; Piano e Contrabaixo - 2014
- *Aida Reina Jolia Su*, para Flauta; Clarinete; Saxofone Alto; Vibrafone/Percussão e Piano - 2014
- *Jade God In*, para Piano Solo - 2014
- *Prologue*, para Flauta e Clarinete - 2014

- *Labori Ruinae*, para Flauta/Piccolo; Clarinete/Clarone; Vibrafone; Piano; Violino; Viola e Violoncelo - 2014
- *Samurai Lunar*, para Oboé; Saxofone Alto e Três Violoncelos - 2014
- *O azeite, a lua e o rio - numa ilha rodeada de ouro, com água até o joelho*, para Flauta, Clarinete e Violoncelo - 2013
- *Factorial Ann*, para Quinteto de Madeiras - 2013
- *Fireman Dither*, para Orquestra Sinfônica - 2013
- *Lana Tai - no dia em que nasceu uma aquarela*, para orquestra de cordas - 2012
- *FFT - Fast Flute Transform*, para Flauta Solo - 2012

Além das três obras discutidas no Capítulo 4 (*Lana Tai - no dia em que nasceu uma aquarela* - Seção 4.1; *O azeite, a lua e o rio - numa ilha rodeada de ouro, com água até o joelho* - Seção 4.2; e *Labori Ruinae* - Seção 4.3), destacamos duas obras que obtiveram prêmios em eventos nacionais e internacionais. A obra *Factorial Ann* obteve o Segundo Lugar no Concurso Internacional de Composição “Edison Denisov”, em Tomsk, na Rússia⁴. Já a obra *Shapiro Peer XI* foi selecionada e premiada durante a 21^o Bienal de Música Brasileira Contemporânea, realizada pela Fundação Nacional das Artes – FUNARTE, em 2014⁵.

Do ponto de vista da produção científica, a nossa pesquisa produziu um conjunto de 07 artigos publicados em anais de congressos e simpósios e 06 artigos publicados em periódicos científicos. No âmbito das publicações em periódicos científicos, destacamos os seguintes trabalhos.

- SIMURRA, I. E. Y. Uma abordagem analítica dos procedimentos composicionais dos *sons de bebê*, em *Speakings*, de Jonathan Harvey. NICS Reports, v. 1, p. 1-8, 2015.
- SIMURRA, I. E. Y; MANZOLLI, J. Diário de Bordo – Composição a partir de descritores de áudio: *Lana Tai – no dia em que nasceu uma aquarela*. PERMUSI – Revista Acadêmica de Música. Programa de Pós-Graduação em Música da UFMG.
- SIMURRA, I. E. Y. *Fireman Dither Variate Ilona* (Partitura). Revista Vórtex, v.2, p. 121-163, 2014
- SIMURRA, I. E. Y. *Jade God In*. Revista Vórtex. V.2, p.181 – 188, 2014

⁴<http://tmk.tomsk.ru/index.php/afisha/competitions/433-the-third-international-edison-denisov-young-composers-competition>

⁵<http://www.funarte.gov.br/musica/xxi-bienal-de-musica-brasileira-contemporanea/>

- SIMURRA, I. E. Y. Lana Tai – No dia em que nasceu uma aquarela. Revista Música HODIE – Revista do Programa de Pós-Graduação. EMAC/UFG, v. 14, p. 249 – 260, 2014
- SIMURRA, I. E. Y.; MANZOLLI, J. Descritores de Áudio como suporte à Orquestração Assistida por Computador: Computador: croma de uma aquarela. NICS Reports, v.1, p. 1-4, 2013.

Com relação às publicações em anais de congressos e simpósios, destacamos os seguintes trabalhos:

- SIMURRA, I. E. Y. A utilização descritores de áudio à análise e composição musical assistidas por computador: um estudo de caso na obra *Labori Ruinae*. In: XXV CONGRESSO DA ANPPOM - Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Música, 2015, Vitória - ES.
- SIMURRA, I. E. Y.; TAVARES, T. A Comprehensive Approach in Music and Audio Analysis: Similarities in Helmut Lachenmann s Music Compositions. In: International Conference of Students of Systematic Musicology, 2014, Londres. Proceedings of The International Conference of Students of Systematic Musicology, 2014.
- SIMURRA, I. E. Y MAIA, I. L ‘Composition with Noise: Extended Techniques and Spectral Analysis’. Trinity College, em Dublin – Irlanda 2014
- SIMURRA, I. E. Y. Composição musical a partir da análise sonora de técnicas instrumentais, via descritores de áudio. 38º Festival de Música – EMAC/UFG. Goiânia – 2013.
- SIMURRA, I. E. Y.; MAIA, I. L. ; MANZOLLI, J. Quattro Pezzi per Orchestra de Scelsi sob a Ótica da Análise Musical Assistida por Computador. XIV Simpósio Brasileiro de Computação Musical – SBCM. Brasília-2013.
- SCHAUB, S.; SIMURRA, I. E. Y.; TAVARES, T. MIXING SYMBOLIC AND AUDIO DATA IN COMPUTER ASSISTED MUSIC ANALYSIS A Case study from J. Harvey’s *Speakings* (2008) for Orchestra and Live Electronics, SMC, 2013 (Schaub, Simurra & Tavares 2013)
- SIMURRA, I. E. Y.; MANZOLLI, J. Descritores de Áudio como suporte à Orquestração Assistida por Computador: Computador: croma de uma aquarela. In: XI Congresso de Engenharia de Áudio - AES 2013, 2013, São Paulo. Anais do Congresso de Engenharia de Áudio da AES Brasil. São Paulo: Totum, 2013

- SIMURRA, I. E. Y. Uma abordagem analítica dos procedimentos composicionais dos sons de bebê, em *Speakings*, de Jonathan Harvey. In: XXII Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Música - ANPPOM, 2012, João Pessoa. Anais do XXII Congresso da ANPPOM, 2012.

Dentre os diversos veículos de divulgação e discussão das pesquisas acerca da utilização do computador como assistente à composição e orquestração musical e dos descritores de áudio, citamos os seguintes periódicos, jornais, revistas, instituições e grupos de ensino e pesquisa: *Journal of New Music Research*; *Contemporary Music Review*; *Computer Music Journal*; *Organised Sounds*; *Perspective of New Music*; *Sound and Music Computing (SMC)*; *The Psychology of Music*; *The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*; *Simpósio Brasileiro de Computação Musical (SBCM)*; *Anais dos Congressos da AES*; *Anais dos Congressos da Sociedade Internacional para Recuperação da Informação Musical (ISMIR)*. Além dos periódicos descritos anteriormente, realizamos pesquisas e levantamento bibliográfico dos Grupos de pesquisas e de ensino das seguintes instituições: *CCRMA - Stanford University*; *Sonic Research Studio - Simon Fraser University*; *Grupo de Representação Musical - IRCAM*; *MTG - Universitat Pompeu Fabra*; *Music and Audio Research Laboratory - Steinhardt/NYU*; *LabRosa - Columbia University*; *Media Arts and Sciences - MIT*; *Music Technology Area - McGill*; *NICS e Faculdade de Engenharia Elétrica - UNICAMP*; *Instituto de Matemática e Estatística - USP*; *Faculdade de Engenharia Elétrica da UFRJ*; *Grupo de pesquisa em Sonologia - UFMG*. Além de tais referências, utilizou-se os livros de Oppenheim (Oppenheim, Portnoff, Frazier, Samsam, Schuessler, Singer, Kopec, Holt, Vincent, Tribolet et al. 1975); Roads (Roads 1996) e (Roads 2004); Miranda (Miranda 2001); Theodoridis e Koutroumbas (Theodoridis & Koutroumbas 2008) e Park (Park 2009).

A pesquisa, aqui relatada, propôs-se em criar novos estudos composicionais, do ponto de vista de sonoridades particulares, a partir da análise de dados objetivos de diferentes técnicas estendidas instrumentais. A nossa proposta é utilizar o próprio som como elemento potente do processo criativo. Os métodos utilizados para a elaboração dos materiais composicionais são inovadores e de grande interesse para a comunidade especializada na área de composição musical cujo foco concentra-se no timbre musical. O trabalho de pesquisa possibilitou o diálogo da análise formal e estatística do fenômeno sonoro com as definições conceituais, estéticas e subjetivas com as quais o compositor pode se utilizar para o seu processo de composição e escritura musical. Dessa forma, descrevemos a nossa abordagem como sendo a aplicação de descritores de áudio como suporte à Orquestração Assistida por Computador.

Capítulo 1

Campo Temático e Revisão da Literatura

Knowledge is indivisible. When people grow wise in one direction, they are sure to make it easier for themselves to grow wise in other directions as well.

Isaac Asimov

A produção musical não é desvinculada da utilização de suportes tecnológicos, especialmente para a música produzida a partir do século XX. Nesta tese, o sentido do termo “suportes tecnológicos” é “a utilização de ferramentas de assistência ao processo composicional, à performance, à análise musicais”. Desta forma, adotamos um sentido amplo no nosso trabalho, no qual entendemos que a utilização da escrita, de um instrumento musical para testar ideias musicais e áreas como a computação musical, sistemas computacionais, modelos matemáticos, descritores de áudio, dentre outros, são considerados como suportes tecnológicos. A tecnologia associada ao uso do computador em música refinou e ampliou as possibilidades de se extrair informações a respeito do material sonoro. Conseqüentemente, os dados produzidos por tais sistemas de análise podem ampliar as possibilidades composicionais, principalmente, no tratamento da orquestração e é esse o ponto inicial que motivou o desenvolvimento da pesquisa. Neste Capítulo 1 apresentamos aspectos do repertório musical que dialogam com nossa proposta; contextualizamos os fundamentos da composição musical assistida e da orquestração musical assistida por computador e, por fim, um panorama do estado da arte sobre a utilização de descritores de áudio como ferramentas de auxílio à análise e à orquestração. O Capítulo 1 é dividido em três Seções. Na Seção 1.1, destacamos três estudos de caso de produção composicional que dialogam com o escopo do nosso trabalho de pesquisa. Os três compositores apresentados nesta Seção 1.1 (o italiano Giacinto Scelsi, o alemão Helmut Lachenmann e o brasileiro Jônatas Manzolli) desenvolvem pesquisas em composição e em orquestração musical cujo objetivo centra-se nas possibilidades técni-

cas de variação do timbre musical. Na Seção 1.2 apresentamos um panorama do estado da arte dos trabalhos centrados na utilização de recursos computacionais junto ao planejamento composicional e para a orquestração musical. Por fim, na Seção 1.3 apresentamos a área de desenvolvimento científico a qual dialoga com a nossa pesquisa, do ponto de vista dos recursos e das ferramentas computacionais de análise sonora, em especial, com a utilização dos descritores de áudio.

1.1 Diálogo com Repertório: *Giacinto Scelsi, Helmut Lachenmann e Jônatas Manzolli*

Uma considerável quantidade de obras compostas a partir da segunda metade do século XX, possui características e objetivos composicionais os quais expandem a paleta timbrística por intermédio das misturas instrumentais e pelas técnicas instrumentais expandidas. Tais projetos composicionais produziram novos matizes os quais alteram a percepção esperada do timbre de um efetivo instrumental ou orquestra sinfônica. No âmbito de várias obras do repertório produzido a partir de tal conceito composicional, destacamos três compositores distintos: o italiano Giacinto Scelsi, o alemão Helmut Lachenmann e o brasileiro Jônatas Manzolli. O projeto composicional de Scelsi se destaca por centrar-se nas mudanças timbrísticas de sonoridades tonais. O compositor altera a percepção espectral e, conseqüentemente, a percepção timbrística das notas musicais de alturas definidas utilizando as informações musicais simbólicas, como registros, dinâmicas, articulação, modos de ataques e orquestração. O caso particular da produção composicional de Helmut Lachenmann destaca-se por objetivar a concretude do som instrumental, relacionando o seu próprio projeto composicional com a presença de ruído sonoro instrumental. O compositor realiza uma extensa pesquisa sobre técnicas instrumentais não convencionais que ressaltam ou enfatizam a presença do ruído sonoro. Portanto, se por um lado Scelsi centra seu trabalho composicional a partir da alteração espectral de sonoridades tonais, Lachenmann, em contrapartida, utiliza as técnicas instrumentais estendidas para inserir ou enfatizar a presença do ruído sonoro instrumental como um procedimento composicional tão potencial quanto a própria composição musical. Por fim, a produção musical do compositor brasileiro Jônatas Manzolli dialoga com o escopo do nosso trabalho em orquestração musical assistida por computador. Consideramos as pesquisas do compositor brasileiro como um dos trabalhos precursores da orquestração musical a partir de modelos matemáticos.

O compositor italiano Giacinto Scelsi (1905 - 1988) desenvolveu seu projeto composicional com o objetivo de extrapolar as particularidades da notação simbólica, de uma partitura, face a complexidade timbrística de uma única nota musical¹. O compositor explora as mudanças

¹Uma característica poética, presente nas composições de Scelsi, centra-se em referências de culturas não europeias. Tal aspecto extrapola o escopo geral da Tese e, dessa forma, não aprofundaremos as discussões de

de instrumento ou mesmo os diversos modos de ataque e técnicas de execução instrumental de forma a ressaltar diferentes aspectos do comportamento do espectro de frequência de uma única nota musical. No que refere-se às pesquisas relacionadas com o desenvolvimento composicional acerca de “uma nota só”, podemos citar os trabalhos de (Rudhyar 1982) e (Steiner & Wulsin 1983). A obra *Quattro Quattro Pezzi per Orchestra* (1959) possui quatro movimentos os quais desenvolvem-se, predominantemente, por intermédio deste projeto composicional. No primeiro movimento, o âmbito espectral é estabelecido pela nota *Fá*, a qual é executada em diferentes registros². Para o compositor, a nota musical é um microcosmo ilimitado de som (Reish 2006, pg. 179). O trabalho musicológico de Reish aborda questões relacionadas com as microvariações timbrísticas das alturas musicais e na organização do efetivo instrumental, realizada pelo próprio compositor (Reish 2006). Os recursos técnicos destacados por tais pesquisadores ressaltam o interesse de Scelsi na variação timbrística potencial e inerente de uma única nota musical. Tais características extrapolam a organização simbólica de orquestração ou mesmo pela indicação de diferentes técnicas instrumentais. O trabalho de Magalhães e Fenerich (Magalhães & Fenerich 2013), ressalta os aspectos da escuta com a notação simbólica do primeiro movimento das *Quattro Pezzi*. Os autores utilizaram os dados obtidos para elaborar um *corpus* paramétrico potencial à produção de outras composições musicais. Na Seção 3.1.3, apresentamos uma breve análise do primeiro movimento das *Quattro Pezzi per Orchestra*, na qual relacionamos o trabalho particular do compositor, cujo foco centra-se na variação timbrística da nota *Fá*, com as ferramentas computacionais de análise sonora, via descritores de áudio.

O compositor Tristan Murail relaciona o seu projeto particular com as pesquisas composicionais de Scelsi (Murail 2005b). Murail ressaltou o trabalho composicional do compositor frente às propriedades e as características das quais constituem o fenômeno sonoro (Murail 2005a). Para Paulo Zuben, Scelsi centra o seu trabalho composicional nas microvariações dos elementos timbrísticos, explorando os movimentos internos do som, a partir de procedimentos como: densidades, articulações, ataques, dinâmicas, ritmos, microflutuações das alturas musicais, *glissandos* (Zuben 2005, pg. 122). A análise do *Quarteto de Cordas Nº 4* (1964), realizada por Lin, em (Lin 2013), ressalta a implementação de tais recursos técnicos junto ao projeto particular do compositor. Já o trabalho de análise das obras de Scelsi, realizado por Dickson (Dickson 2012), destaca uma sintaxe e uma gramática

tal problemática. Contudo, Scelsi utiliza, em muitos de seus trabalhos, o termo *anahata*, o qual traduzimos, do Hindu para o inglês, como *limitless sound*, o pressupõe a dicotomia estética entre o “som cósmico”, latente e infinito com o “som mundano”, finito e momentâneo (Reish 2006). O percurso composicional cuja referência centra-se nas questões citadas pode ser verificado em (Siqueira 2006). O trabalho recente de Sung-Hie Ahn investiga tal relação do compositor com a cultura não europeia e, em especial, realiza um estudo comparativo entre Scelsi e o compositor japonês Toru Takemitsu (Ahn 2014).

²Em cada um dos quatro movimentos da obra de Scelsi, o compositor utilizou-se, como referência sonora, notas musicais distintas: o primeiro movimento, a nota *Fá*; no segundo movimento, a referência centra-se na nota *Si*; o terceiro desenvolve-se a partir da nota *Láb* ou *Sol#* e, por fim, o último movimento utiliza, como referência a nota *Lá*.

particular, relacionadas com a variação timbrística de sonoridades estáticas, a partir de improvisações realizadas pelo próprio compositor. No que refere-se às questões da improvisação no processo criativo de Scelsi, Kerry Yong analisou as obras *Aitsi*, para piano amplificado e o *Quarteto de Cordas Nº 05* (Yong 2006). Yong utilizou as duas obras para elaborar alternativas de performance e arranjo a partir do suporte computacional do programa Max/MSP. Na Seção 3.1.2, consideramos as questões relacionadas com as propriedades espectrais das sonoridades trabalhadas por Scelsi, nas *Quattro Pezzi per Orchestra*. Para tanto, utilizamos uma versão do trabalho de análise, do primeiro movimento das *Quattro Pezzi per Orchestra*, o qual encontra-se em (Simurra, Maia & Manzolli 2013). No entanto, a proposta de variação timbrística, realizada pelo compositor, centra-se principalmente nas possibilidades de orquestração e nas mínimas alterações da informação sonora de uma nota musical. O escopo do trabalho do compositor delimita-se a partir de sonoridades, cuja referência, centra-se em um tom musical.

A partir da segunda metade do século XX, o emprego de técnicas instrumentais expandidas, sistemas alternativos de escalas e afinações sonoras, microflutuações, estruturas microtonais, as pesquisas relacionadas com a mecânica instrumental e às possibilidades gestuais do instrumentista, focou a inserção de sonoridades ruidosas na música instrumental, as quais foram derivadas da própria execução expandida (Padovani & Ferraz 2012). Um dos casos mais proeminentes desse aporte é a produção musical do compositor alemão Helmut Lachenmann (1935 -). Em particular, na tese de doutorado de Abigail Heathcote a produção musical de Lachenmann é discutida a partir das ideias filosóficas de Adorno, Lyotard, Deleuze e Guattari, além de apresentar uma análise das obras *Accanto* e *Tanzsuite mit Deutschlandlied* (Heathcote 2003). De acordo com Heathcote, o projeto composicional e conceitual de Lachenmann relaciona-se com conteúdo extra-musical, em particular, associando o seu engajamento político e cultural com o seu próprio material composicional (Heathcote 2003, pg. 192).

Há inúmeros estudos e pesquisas musicológicas relacionados com o escopo particular do projeto composicional do compositor alemão. O periódico *Contemporary Music Review* compilou uma variedade de trabalhos exclusivamente dedicados à produção musical de Lachenmann (Albertson 2004). A coleção compreende entrevista com o compositor (Steenhuisen 2004), uma discussão sobre quatro aspectos significativos, relacionados com o “presente” e o “passado” da denominada “Nova Música” (Lachenmann 2004a), uma análise dos aspectos timbrísticos nas obras para piano (Abbinanti 2004), além de uma quantidade significativa de trabalhos de análise musical de alguma de suas obras (Lachenmann 2004b), (Schmidt 2004) e (Lesser 2004). No artigo, desenvolvido pelo próprio compositor (Lachenmann 2009), discute-se os “modelos sonoros característicos” aos quais centram-se no resultado sonoro da produção da música contemporânea³. As características dos trabalhos de análise ressaltam aspectos

³Alexandre Ficagna, em sua Tese de Doutorado (Ficagna 2014), discute as principais questões relacionadas com a “tipologia sonora da música contemporânea”.

simbólicos, a partir da análise da própria partitura. Alastair Williams investiga as relações do processo criativo da obra *Accanto*, para clarinete e orquestra, com a tradição composicional europeia, em especial, com o *Concerto de Clarinete em Lá Maior - K622*, de Mozart (Williams 2011a). O musicólogo David Cecchetto desenvolve uma análise dos aspectos composicionais de ‘...*zwei Gefühle...*’, cujo escopo centra-se na relação dos instrumentos dos quais constituem o efetivo da obra (Cecchetto 2009, pg. 04).

No que relaciona-se à análise de obras para instrumento solo, a violoncelista Tanja Orning apresenta um estudo focado em *Pression*, para violoncelo (Orning 2012). A autora discute o contexto histórico e musicológico da obra desenvolvendo uma análise da partitura focando questões relacionadas com performance, atividade cênica, gesto instrumental e ressonância acústica do instrumento. Já Didier Guigue descreveu as transformações sonoras da obra *Serynade* (1998), para piano (Guigue 2007). O procedimento metodológico adotado por Guigue consistiu em segmentar os principais elementos sonoros resultantes de uma variedade de técnicas instrumentais expandidas do piano. Utilizando a própria partitura como unidade de referência para a segmentação, Guigue utilizou tais técnicas instrumentais assim como a própria ressonância acústica do instrumento (Guigue 2008, pg. 161-162). Guigue discute a relação de tais características acústicas, do ponto de vista do processo composicional de Lachenmann (Guigue, Noda & Bragagnolo 2014). Além disso, Guigue utiliza o suporte computacional para analisar alguns aspectos relacionados com o processo composicional de outras obras de Lachenmann para piano (Guigue 2009). Muitos dos trabalhos de análise relacionados à obra de Lachenmann centram-se nos dados simbólicos da partitura e no planejamento conceitual e estético do compositor. Contudo, sua música extrapola o resultado simbólico e objetiva o resultado sonoro. A performance musical e a própria gravação sonora das obras do compositor estabelece um conjunto de dados relevantes na análise sonora de suas composições. As ferramentas computacionais de análise sonora utilizam dados objetivos a partir das próprias gravações sonoras. Amplia-se a própria proposta de análise das obras do compositor, na qual a partitura apresenta-se como um importante “plano de fundo”. Todavia, na Seção 3.2 apresentamos as etapas do procedimento de análise musical assistida por computador, em três obras para instrumentos solo: *Pression*, *Guero* e *Dal Niente (Intérieur III)*⁴.

A problemática relacionada com música, composição, análise e tecnologia não são propriedades particulares do contexto histórico da produção musical, a partir do início de século XX. A *Introdução Geral* discute as questões relacionadas com essa afirmação. Dialogando nesse contexto, a produção artística e científica do compositor e pesquisador Jônatas Manzolli torna-se uma das referências na área. Trata-se de um compositor inserido no panorama da música contemporânea brasileira, utilizando recursos de análise e criação musical com suporte computacional. Jônatas Manzolli pesquisa a interação entre arte e tecnologia em criação mu-

⁴Uma versão do trabalho de análise das três peças solo, encontra-se em (Simurra & Tavares 2015).

sical, computação musical e ciências cognitivas. Sua produção artística é ampla e relaciona música instrumental, eletroacústica, obras multimídia para dança e instalações sonoras. No universo de criação musical, Manzolli e Moroni (Moroni, Manzolli & Von Zuben 1999) e (Moroni, Manzolli, Von Zuben & Gudwin 1999) propuseram modelos de algoritmos genéticos interativos para controlar um ambiente gráfico e virtual para manipular parâmetros musicais, como melodia e harmonia. O sistema interativo de composição algorítmica *Roboser* propôs um dispositivo autônomo ou interface na qual possibilita a “criação musical sem a interferência humana” (Manzolli, Blanchard & Verschure 2000, pg. 07). O trabalho desenvolvido por *Roboser* foi utilizado em diversos projetos, tais como o ADA (Eng, Babler, Bernardet, Blanchard, Briska, Conradt, Costa, Delbruck, Douglas, Hepp et al. 2002) e o *re(Per)curso* (Mura, Rezazadeh, Duff, Manzolli, Le Groux, Mathews, Bernardet, Wierenga, Bermudez & Verschure 2008). No âmbito de sistemas interativos para a criação e modulação de materiais musicais, o projeto *Multimodal Brain Orchestra* ou *MBO*, integra a manipulação de parâmetros musicais a partir de estímulos e respostas coletadas pela atividade elétrica cerebral espontânea (Le Groux, Manzolli, Verschure, Sanchez, Luvizotto, Mura, Valjamae, Guger, Prueckl & Bernardet 2010). Para elaborar o material composicional de *MBO*, Jônatas Manzolli utilizou os modelos composicionais de obras do compositor György Ligeti, em especial, aqueles relacionados com transformações graduais de texturas sonoras. No que refere-se às questões sobre texturas sonoras e modelos composicionais, Manzolli pesquisa a produção de compositores como Ligeti e Xenakis (Iwao & Manzolli 2006), (Manzolli & Maia Jr. 2010), (Manzolli & Luvizotto 2015) e (Monteiro & Manzolli 2015).

Além da utilização de recursos computacionais para a criação e gerenciamento de materiais musicais como melodia, ritmo e textura, como apresentado anteriormente, Jônatas Manzolli direciona pesquisas relacionadas com o timbre musical. Tais trabalhos objetivam a criação complexos sonoros sintetizados, utilizando mapas de auto-organização, redes neurais (Caetano, Costa, Manzolli & Von Zuben 2005), Inteligência Artificial e Aprendizado de Máquinas (Caetano, Manzolli & Von Zuben 2005b). No âmbito das pesquisas relacionadas com o timbre, em música acústica ou instrumental, a dissertação de Manzolli discute um modelo matemático para timbre orquestral (Manzolli 1988). Na Seção 1.2, detalhamos a proposta de Manzolli, à qual relaciona-se com as questões sobre orquestração assistida por computador.

Nos parágrafos anteriores, destacamos três paradigmas composicionais diferentes, os quais relacionam-se à nossa pesquisa. Giacinto Scelsi e Helmut Lachenmann desenvolvem seus projetos composicionais objetivando as possibilidades técnicas de manipulação sonora ou timbrística. O projeto desses compositores centra-se em aspectos que extrapolam o âmbito da partitura musical, mas não utilizam ambientes computacionais de assistência à composição. Contudo, há propostas de análise de suas obras que utilizam-se tanto de dados simbólicos, por intermédio da partitura musical, quanto de dados objetivos, extraídos do áudio da gravação. Em contrapartida, o compositor brasileiro Jônatas Manzolli desenvolve modelos do processo criativo utilizando suporte computacional e os generaliza nas suas produções artísticas. Em

particular, esses modelos tratam questões relacionadas com textura e suas interações com outras modalidades dos sentidos, além do som.

A Tabela 1.1 sintetiza todos os aspectos discutidos anteriormente, os quais contribuíram para o desenvolvimento do trabalho de análise, apresentado no Capítulo 3. Estruturamos a Tabela para identificar os procedimentos de análise utilizados para cada compositor. Destaca-se a comparação entre os trabalhos relacionados com a produção composicional de Scelsi e Lachenmann, com a quantidade de trabalhos de análise simbólica da produção composicional particular de Manzolli. Os dados inseridos em “Análise com Suporte Computacional”, refere-se ao desenvolvimento de modelos cuja referência estrutural, poética e composicional relaciona-se com diversos compositores, como Xenakis, Ligeti, Steve Reich, dentre outros.

Compositores	Análise Musical Simbólica	Análise com Suporte Computacional	Outras Informações Relevantes
Giacinto Scelsi	(Zuben 2005); (Reish 2006); (Magalhães & Fenerich 2013); (Lin 2013)	(Yong 2006); (Magalhães & Fenerich 2013); (Simurra et al. 2013)	(Reish 2006); (Siqueira 2006); (Ahn 2014); (Rudhyar 1982); (Steiner & Wulsin 1983); (Murail 2005b); (Murail 2005a)
Helmut Lachenmann	(Heathcote 2003); (Abbinanti 2004); (Lachenmann 2004b); (Schmidt 2004); (Lesser 2004); (Williams 2011a); (Cecchetto 2009); (Orning 2012);	(Guigue 2007); (Guigue 2008); (Guigue 2009); (Simurra & Tavares 2015)	(Heathcote 2003); (Lachenmann 2009); (Steenhuisen 2004); (Lachenmann 2004a); (Lachenmann 2009); (Ficagna 2014); (Guigue et al. 2014)
Jônatas Manzolli		(Iwao & Manzolli 2006); (Manzolli & Maia Jr. 2010); (Manzolli & Luvizotto 2015); (Monteiro & Manzolli 2015)	(Manzolli 1988); (Moroni, Manzolli & Von Zuben 1999); (Moroni, Manzolli, Von Zuben & Gudwin 1999); (Manzolli et al. 2000); (Mura et al. 2008); (Caetano, Manzolli & Von Zuben 2005b); (Le Groux et al. 2010);

Tabela 1.1: Tabela com a síntese da Revisão da Literatura utilizada na Seção 1.1, organizadas por assunto de trabalho.

Na Seção 1.1, evidenciamos três etapas fundamentais do trabalho de análise e composição com as quais utilizamos em nossa metodologia de pesquisa:

- Análise Simbólica, utilizando a partitura musical como material de referência.
- Análise com Suporte Computacional, utilizando gravações sonoras das obras analisadas.
- Material Bibliográfico de Referência do qual discute-se os procedimentos e planejamentos composicionais de Scelsi, Lachenmann e Manzolli.

A análise musical descreve, interpreta e discute o espaço de possibilidades composicionais de uma obra musical, às quais abarcam desde o material até o impacto resultante da sua performance. Naturalmente, não procuramos validar o nosso próprio e particular trabalho composicional utilizando a análise musical de repertório já consagrado pela História da Música. Nem, ao menos, há a prerrogativa de utilizar os dados e os resultados adquiridos pela análise musical, sob o ponto de vista da composição. Do contrário, espera-se elaborar espaços de trabalho colaborativo ampliando a reflexão artística, composicional, poética e musical.

Como destacado na Introdução Geral da nossa tese, o trabalho de análise musical, realizado diretamente pela partitura, disponibiliza resultados consideráveis por ressaltar aspectos estéticos e conceituais do planejamento particular do compositor. Contudo, a análise realizada somente pela partitura pode não ser suficiente para a compreensão macro e microestrutural do universo timbrístico o qual o compositor está inserido em seu projeto composicional. Além dos tradicionais métodos de análise musical (Cook 1994), os ambientes computacionais refinaram as possibilidades técnicas e instrumentais da análise musical e da recuperação da informação musical. De forma similar, no âmbito da composição musical cujo foco centra-se na construção de sonoridades⁵, a utilização de ambientes computacionais fornecem espaços de criação e estruturas sonoras mais refinadas e objetivas em relação ao trabalho desenvolvido, especificamente, a partir de dados simbólicos-musicais. Por intermédio deste ponto de vista, na Seção 1.2, abordaremos “Composição Musical Assistida por Computador”, na qual discute-se as alternativas técnicas e conceituais da utilização do computador como um suporte de auxílio junto ao planejamento composicional. Segue-se uma discussão relacionada com “Orquestração Musical Assistida por Computador”, na qual apresenta-se os trabalhos os quais desenvolveram ferramentas computacionais para a orquestração.

1.2 Composição Assistida por Computador & Orquestração Assistida por Computador

Durante o seu planejamento composicional, o compositor dispõe de um sem número de recursos sonoros para construir a sua obra musical, seja para instrumento solo ou para uma orquestra sinfônica. Uma dessas possibilidades são as técnicas expandidas de execução instrumental, as quais possibilitam que os recursos provenientes dos diversos e particulares modos de execução de cada instrumento musical alterem sensivelmente as características espectrais de cada nota ouvida. Como apontado na Introdução Geral, pode-se fazer uma analogia entre a pintura de uma aquarela e a construção de novas sonoridades instrumentais. Seria como se a paleta de cores fosse misturada por técnicas instrumentais estendidas e

⁵A distinção do trabalho composicional centrada no termo “sonoridades”, contrasta com a utilização de outras ferramentas composicionais, tais como: melodia, ritmo, estruturas harmônicas, dentre outras. Tais ferramentas extrapolam o âmbito de pesquisa do nosso trabalho.

produzisse novos matizes com os quais alteram a percepção esperada do timbre da orquestra. Os recentes métodos de análise e composição com suporte computacional, possibilitam a extração de vários parâmetros ou curvas com os quais são descritas características sonoras a partir do espectro de frequências sonoras. O ponto de partida desta Seção 1.2 relaciona-se com essas informações paramétricas, extraídas por ferramentas computacionais de assistência à composição e à orquestração.

1.2.1 Composição Assistida por Computador

Muitas técnicas, ferramentas e suportes oferecidos pelos avanços tecnológicos da Computação Musical e de áreas como Recuperação de Informação Musical (*Music Information Retrieval*) estão consolidados, principalmente para o estabelecimento de novos espaços de análise e criação musical (Miranda 2001). Descrever o som e, conseqüentemente, o timbre, como uma resultante global de suas propriedades espectrais é, de certa forma, representá-lo nas suas diversas dimensões (Manoury 1998). Tais métodos não são usados diretamente ou estritamente na composição mas podem ser manipulados musicalmente pelo compositor a partir de um ponto de vista interpretativo. São informações às quais tem o potencial de ser utilizadas como elementos básicos à composição musical. Dentro do âmbito da computação musical, os dados numéricos e as análises subsequentes podem ser interpretadas de forma criativa com maior liberdade e intuição, em qualquer nível de complexidade.

Contudo, o termo “assistência à composição” não implica uma relação direta e unívoca com os recursos tecnológicos, especialmente à computação, bem como a sua linguagem estrutural de programação. A codificação da música, por meio da partitura, já é uma forma simbólica que proporciona a manipulação do material musical em um âmbito de abstração muito elevado em comparação à composição e performance musical sem a utilização de tal suporte gráfico. A partir do ponto de vista da partitura, a prática composicional é enriquecida de vários procedimentos (inversões, jogo de simetrias, retrogradações, repetições, esboços), subsidiados por representações gráficas da música. Uma das ramificações da Composição Assistida por Computador, a qual relaciona-se diretamente com essa tipo de “codificação” ou de “representação gráfica” são os processos assistência computacional proporcionados por ambientes computacionais para suporte à escrita musical como o Finale, Sibelius, Lilypond, NoteAbility, MuseScore, entre outros. Se por um lado o suporte computacional se apoia na noção de escrita, há, não obstante, ferramentas computacionais utilizadas como base para as apreensões do conteúdo informacional do som, especialmente para analisar o espectro de frequências sonoras. Essas ferramentas, tais como o software AudioSculpt⁶, SPEAR⁷,

⁶Disponível em: <http://anasynth.ircam.fr/home/english/software/audiosculpt>. Data de acesso: 29/07/2015

⁷Disponível em: <http://www.klingbeil.com/spear/>. Data de acesso: 29/07/2015

TARTINI⁸, Acousmographie⁹, entre outros, apresentam-se como assistentes à composição, mesmo que seu objetivo não esteja diretamente relacionado com a representação simbólica da partitura.

Pioneiro na construção de interfaces gráficas de assistência à composição musical, o compositor Xenakis desenvolveu uma máquina de manipulação de frequências sonoras e intensidades, denominado *UPIC - Unité Polyagogique Informatique du CEMAMu* (Thiebaut, Healey, Kinns & Mary 2008). Nela, o compositor controlava formas de ondas sintetizadas numa interface semelhante à uma mesa, conectada a um computador.

Para alguns autores, como William Buxton (Buxton 1977), a Composição Assistida por Computador ou CAC, deve auxiliar a elaboração de projetos, com a particularidade de explicitar “tomadas de decisões musicais”. Para o autor, tais ambientes devem oferecer recursos e ferramentas intuitivas, amigáveis e não devem ser elaboradas exclusivamente para um único produto. Para Otto Laske (Laske 1981), a composição assistida por computador deve estabelecer a interação entre o compositor e a máquina. Para o autor, deve haver um equilíbrio entre o grau de intuição e a participação da “máquina computacional” além da flexibilidade de ambas abordagens (Laske 1981, pg. 01).

Mikhail Malt (Malt 2000) argumenta sobre a particularidade de otimizar o cálculo, o processamento e a manipulação da informação simbólica e musical, oferecendo a possibilidade de escolher materiais composicionais mais detalhadas e refinadas. Para o autor, a Composição Assistida por Computador deve amplificar e expandir as possibilidades do compositor e não substituí-las. Malt argumenta que os ambientes de assistência à composição devem estabelecer espaços de interação entre os seus paradigmas e as particularidades com a formalização das estruturas e os processos relacionados com a escritura musical. Consente-se uma equivalência dos projetos composicionais com o cálculo e o planejamento do material composicional.

Para o compositor Tristan Murail (Murail 2005c), um ambiente de CAC deve ser aberto e capacitado com as mais diversas possibilidades de execução estrutural às quais atendam, ou melhor, se relacionem diretamente com as necessidades individuais e particulares de cada compositor. Neste sentido, o compositor insere a utilização de ambiente computacional à composição musical como nos sistemas já existentes em outros domínios, como na arquitetura e no desenho industrial, CAD ou *computer-aided design* (Murail 2005c, pg. 146).

Relacionadas ainda com os recursos computacionais, diversas técnicas exploram modelos matemáticos ótimos que podem ser utilizados tanto para a composição quanto à análise musical. Em tais ambientes multimodais, José Henrique Padovani e Jônatas Manzolli os definem como ambientes computacionais de assistência a contextos musicais ou *Computer-Aided Music Contexts - CAM* (Padovani & Manzolli 2015, pg. 1). Segundo os autores, os materiais musicais são estruturas de dados que podem ser declarados em uma linguagem

⁸Disponível em: <http://miracle.otago.ac.nz/tartini/>. Data de acesso: 29/07/2015

⁹Disponível em: <http://www.inagrm.com/accueil/outils/acousmographie>. Data de acesso: 29/07/2015

computacional que satisfaça uma formalização inequívoca para a criação musical automatizada, processada, gerenciada ou operada pelo computador (Padovani & Manzolli 2015, pg. 2). A pesquisa recente dos autores relaciona-se com a criação de uma biblioteca de análise e composição baseada em técnicas de algoritmos genéticos e programação genética para criar funções matemáticas que possam descrever otimamente ou esboçar conjunto de dados simbólicos no contexto de composição e análise musical assistidos por computador.

Os parágrafos anteriores estão relacionados com o surgimento de ambientes de assistência à composição, como o PatchWork¹⁰, OpenMusic¹¹ e PWGL¹², por exemplo, os quais utilizam a linguagem de programação computacional denominada como *Common Lisp*. A estrutura de listas e definições abstratas do *Common Lisp* possibilita representar relações entre variáveis e funções, fornecendo recursos para manipulação da informação musical de forma amigável e intuitiva. Tais ambientes de gerenciamento e de processamento fluxogramas de informações numéricas e/ou sonoras, comunicam-se por intermédio de objetos simbólicos ou “módulos” orientados, elaborando uma comunicação mais fluente e intuitiva para o usuário não familiarizado com as linguagens de programação. Uma alternativa de ambiente computacional de assistência à composição refere-se ao sistema *Hyperscore* (Farbood, Kaufman & Jennings 2007), com o qual manipula-se estruturas musicais simbólicas, como melodia, harmonia e ritmo.

Outros ambientes computacionais possibilitam o tratamento e síntese de áudio em tempo real. Tais ambientes compilam as técnicas de manipulação sonora para interagir com os sistemas musicais. Os exemplos mais notáveis são Graphic 1 (Mathews & Rosler 1966), Max/MSP¹³, *Common Music*¹⁴, *Pure Data* ou PD¹⁵ e *Integra Live* (Bullock, Beattie & Turner 2011). Ambos ambientes utilizam o paradigma de programação de fluxo de dados, manipuláveis em interface gráfica e visual, aproximando os usuários os quais não possuem tanta fluência em linguagens de programação. Os pesquisadores Andrea Agostini e Daniele Ghisi desenvolveram uma biblioteca de funções, em ambiente Max/MSP, na qual os recursos da Composição Assistida por Computador podem ser processador e manipulados em tempo real (Agostini & Ghisi 2013).

Paralelamente, os ambientes de programação SuperCollider¹⁶ e CSound (Boulanger 2000), oferecem recursos à elaboração de síntese sonora, processamento e composição algorítmica, tal como à manipulação de sistemas musicais interativos, em tempo real ou tempo diferido (Gallo 2006). Há diversos ambientes computacionais dos quais processam, armazenam, edi-

¹⁰Mais informações em: <http://www2.siba.fi/soundingscore/PWHomePage/patchwork.html>. Data de acesso: 29/07/2015

¹¹Disponível em: <http://repmus.ircam.fr/openmusic/home>. Data de acesso: 29/07/2015.

¹²Disponível em: <http://www2.siba.fi/PWGL/>. Data de acesso: 29/07/2015.

¹³Disponível em: <http://cycling74.com/products/max/>. Data de acesso: 29/07/2015.

¹⁴Disponível em: <http://commonmusic.sourceforge.net/#news>. Data de acesso: 31/07/2015

¹⁵Disponível em: <http://puredata.info/>. Data de acesso: 29/07/2015.

¹⁶Disponível em: <http://supercollider.sourceforge.net/>. Data de acesso: 29/07/2015.

tam, reproduzem e sequenciam tanto a informação sonora quanto a musical. Tais sistemas são denominados *Digital Audio Workstation* ou DAW. Neste contexto, destacamos os ambientes computacionais ProTools¹⁷, Logic¹⁸, Cubase¹⁹, Live²⁰, Reason²¹, dentre outros. A Tabela 1.2 sintetiza os ambientes computacionais de assistência à composição listados na Seção 1.2.1.

	Ambientes Computacionais de Assistência à Composição
Escrita Musical	Finale, Sibelius, Lilypond, NoteAbility, MuseScore
Análise Sonora	AudioSculpt, SPEAR, TARTINI, Acousmographie
Manipulação da Informação Musical orientada por 'módulos'	PacthWork, OpenMusic, PWGL, Hyperscore
Síntese Sonora	UPIC, Graphic 1, Max/MSP, Common Music, PD, SuperCollider, CSound, Integra Live
<i>Digital Audio Workstation - DAW</i>	ProTools, Logic, Cubase, Live, Reason

Tabela 1.2: Tabela com a síntese da Revisão da Literatura relacionada com ambientes computacionais de assistência à composição.

Todo esse complexo estrutural de organização composicional, expandido por intermédio da Composição Assistida por Computador, CAC, só terá relevância para a prática de determinado processo composicional se essa mesma prática acabar por repercutir, de alguma maneira, sobre os seus processos criativos, seja de forma ativa ou, ao menos mas não com menor importância, reflexiva. Uma vez assimiladas, essas técnicas apreendidas pela prática composicional acarretam numa considerável ampliação da paleta de recursos disponíveis à própria heurística do compositor. Portanto, além dos aspectos técnicos e tecnológicos abordados nessa subseção é preciso desenvolver-se uma clara e manifesta heurística composicional e analítica a qual abrigará, ao lado das técnicas e disciplinas tradicionais, elaboradas e aplicadas pela tradição da prática composicional, como harmonia, contraponto e orquestração, um repertório de recursos técnicos e instrumental cada vez mais amplo, eclético e generalizado. Na Seção 1.2.2, discutimos as questões relacionadas com a orquestração assistida por computador.

¹⁷Para mais informações relacionadas com o ambiente ProTools, ver: <http://www.avid.com/us/products/family/pro-tools>. Data de acesso: 11/08/2015.

¹⁸Para mais informações relacionadas com o ambiente Logic, ver: <http://www.apple.com/logic-pro/>. Data de acesso: 11/08/2015.

¹⁹Para mais informações relacionadas com o ambiente Cubase, ver: <http://www.steinberg.net/en/products/cubase/start.html>. Data de acesso: 11/08/2015.

²⁰Para mais informações relacionadas com o ambiente Live, ver: <https://www.ableton.com>. Data de acesso: 11/08/2015.

²¹Para mais informações relacionadas com o ambiente Reason, ver: <https://www.propellerheads.se/reason>. Data de acesso: 11/08/2015.

1.2.2 Orquestração Assistida por Computador

Após apresentarmos aspectos da Composição Assistida por Computador (CAC), na Seção 1.2.2, descrevemos a Revisão da Literatura relacionada com Orquestração Assistida por Computador - OAC, da qual utilizamos na nossa pesquisa.

Como apresentado na Introdução Geral, as questões as quais circundam a problemática sobre as estratégias de orquestração, dentro da História da Música, sempre encontraram um subterfúgio na subjetividade, empirismo e nas “práticas comuns”, desenvolvidas pelos próprios compositores (Carpentier 2008, pg. 37). Mesmo os tratados de instrumentação e orquestração, já consagrados, seguem essa metodologia. Dentre eles, destacam-se os trabalhos de Koechlin (Koechlin 1954), Berlioz (Berlioz & Strauss 1985), Rimsky-Korsakov (Rimsky-Korsakoff 1964), Piston (Piston 1955), Gieseler *et. al.*, (Gieseler, Lombardi & Weyer 1985), Adler (Adler 1989), McKay (McKay 1963) e Mathews (Mathews 2006).

Como apresentado na Seção 1.2, o compositor dispõe-se de um sem número de recursos sonoros para construir a sua obra musical, independente de sua formação instrumental. As técnicas de escritura da música atual, aquelas às quais tangem o controle de fatores relacionados ao timbre musical²² alteram sensivelmente as características espectrais de cada nota ouvida. Seria como se a paleta de cores fosse misturada por técnicas instrumentais estendidas e produzisse novos matizes os quais alteram a percepção esperada do timbre da orquestra.

O compositor e regente Pierre Boulez discute a função do timbre na música instrumental do século XX e a iminente colaboração dos avanços tecnológicos acerca da orquestração musical (Boulez 1987). Boulez ratifica tal abordagem ao considerar o timbre de um ponto de vista também objetivo, científico e sem qualquer critério estético paralelamente à abordagem subjetiva ou artística. Refletir acerca do timbre musical, do ponto de vista científico, não relaciona-se diretamente com uma abordagem poética e musical. Contudo, as pesquisas acerca das características objetivas das estruturas internas do timbre musical refinam e aprofundam o desenvolvimento de uma escuta timbrística mais refinada e consciente.

No entanto, há diversas relações complexas entre “material sonoro”, “materiais simbólico-musicais” e construções timbrísticas e orquestrais. Do ponto de vista “simbólico”, a orquestração é um sistema de distribuição de índices discretos os quais podem ser claramente descritos em notação musical a partir de um conjunto de variáveis: instrumentos, notas musicais, dinâmicas, técnicas e modos de execução instrumental. A partir desse modo de operar sobre esses elementos simbólicos e, dependendo substancialmente dos modos de execução instrumental, a partitura orquestral como um todo é projetada dentro de um espaço de possibilidades sonoras à qual, no âmbito dessa resultante orquestral, pode ser pouco previ-

²²As questões relacionadas com o termo “timbre” tal como utilizado nesta tese, extrapolam a definição, “por exclusão”, do timbre como uma propriedade de identificação e distinção, cujas fontes sonoras possuem as mesmas intensidades e alturas musicais. Atribuímos ao termo “timbre” uma identidade morfológica espectral, tal como discutido por Smalley (Smalley 1994).

sível, justamente por abordar características outras, extrapolando a esfera das propriedades simbólicas da notação musical. Para Emily Dolan, a orquestra transformou-se de um mero agrupamento de instrumentos para uma “comunidade ideal” repleta de diversidade, nuances e caracteres expressivos. A “materialidade” do som é fundamental na moderna obra de arte musical (Dolan 2013).

De maneira intuitiva, pode-se dizer que a Orquestração Musical compreende uma mistura das mais variadas sonoridades e técnicas de execução instrumental. Por este ponto de vista, a sonoridade orquestral é resultante da evolução temporal das componentes espectrais das frequências sonoras desses múltiplos instrumentos e técnicas (Pires 2011). No trabalho recente sobre a revisão da literatura relacionada com os sistemas de orquestração assistida por computador, Aurélien Antoine e Eduardo Miranda, definem a Orquestração Musical como “a arte de combinar as propriedades instrumentais”. Além disso, “por combinar diversas sonoridades, de diversos instrumentos, a Orquestração Musical estabelece sonoridades das quais não existiriam por si só²³” (Antoine & Miranda 2015, pg. 01).

Em seu projeto de pesquisa relacionado com análise musical do ponto de vista da orquestração, Didier Guigue centra-se em duas frentes de trabalhos colaborativos: a da partitura musical e a da gravação sonora. Do ponto de vista da partitura, as informações simbólicas fornecem informações do projeto conceitual e estético do compositor. Paralelamente, a gravação sonora da obra analisada fornece dados objetivos e concretos de tais prescrições, de modo a verificar o “impacto” da interação da partitura com a gravação, do ponto de vista da sua forma musical (Guigue 2014).

No contexto da orquestração assistida por computador, destacam-se trabalhos dos quais utilizam-se de modelos matemáticos associados ao uso do envelope espectral dos diversos instrumentos da orquestra e da otimização entre a soma dos envelopes com a descrição de um timbre-alvo (Manzoli 1988), (Psenicka 2003), (Hummel 2005) e (Rose & Hetrick 2009).

Uma visão pioneira de tal ponto de vista, foi apresentada a partir da utilização de modelos matemáticos e métodos de otimização aplicados ao estudo de processos de orquestração em Manzoli (Manzoli 1988). Dada uma “função-critério”, o autor desenvolveu uma macroestrutura a qual propicia ao compositor os parâmetros necessários à obtenção do efeito timbrístico desejado. Essa relação é descrita no trabalho pela distância euclidiana²⁴ de duas funções: a “função-timbre objetivo” e a “função-timbre orquestral”. A primeira é o equilíbrio desejado e a segunda, estrutura-se pela superposição de “funções-timbre de cada instrumento”, na qual utilizou-se as Curvas de Envelope Espectral e de *Loudness*²⁵ de cada instrumento musical

²³ *Furthermore, orchestration is the art of mixing instrumental properties. For example, by combining small sounds from different instruments, the orchestration creates a sound that could not exist on its own.* Tradução nossa.

²⁴ Calcula-se a distância euclidiana de n-pontos de vetores diferentes a partir da seguinte equação: $\mathbf{d}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \sqrt{(x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2 + \dots + (x_n - y_n)^2} \Leftrightarrow d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}$

²⁵ *Loudness* pode ser definido como um descritor de medida psicoacústica relativo à percepção de intensidades sonoras. Na Seção 2.2, aprofundaremos-nos nas questões relacionadas com tal descritor.

analisado. Por Envelope Espectral, Manzolli entende uma persistência nos padrões de energia e de quantidade de componentes espectrais de um sinal sonoro analisado (Manzolli 1988, pg. 42).

O ambiente virtual *SPORCH (SPectral ORCHestration)*, proposto por Psenicka (Psenicka 2003), utilizou as informações em amplitude, de picos e componentes espectrais mais proeminentes de um sinal sonoro analisado. A distância entre os vetores de característica foi calculada a partir da distância euclidiana. Para refinar os resultados de busca às melhores soluções, implementou-se um algoritmo de iteração para minimizar os resultados mais distantes de cada ponto do vetor.

Rose e Hetrick propuseram a ferramenta denominada *Linear Algebra Based ORCHestration* (Rose & Hetrick 2009). Nela, utilizou-se um algoritmo de baixo custo computacional, a partir de um método de Decomposição de Valor Singular (*Singular Value Decomposition - SVD*), com o qual adquire-se um vetor de amplitude do comportamento espectral dos instrumentos analisados. Esta análise é então comparada com as informações espectrais de um conjunto de banco de dados sonoros, a partir do produto interno dos dois vetores. Para garantir a exequibilidade dos resultados, os autores implementaram rotinas de restrição, de forma a manipular subconjuntos de dinâmicas musicais, quantidade de instrumentos e notas musicais executadas. Rose utilizou o ambiente computacional na obra *L'identité voilée* (2009), para clarinete, violino e piano²⁶.

Diferentemente da estrutura desenvolvida por Psenicka, em SPORCH, à qual utilizou-se informações de picos espectrais e os mais proeminentes componentes espectrais, Hummel (Hummel 2005) implementou a soma de curvas do envelope espectral no seu modelo computacional de assistência à orquestração. Contudo, o objetivo desta pesquisa centrou-se na simulação do timbre da voz humana pela orquestração de instrumentos musicais. O algoritmo calcula os envelopes espectrais do timbre de referência e acessa, iterativamente, o banco de dados sonoros. Para encontrar os envelopes espectrais mais próximos, realizou-se o cálculo de subtração entre os dados coletados. Para refinar os seus resultados, o autor implementou um algoritmo de minimização de erro o qual relaciona-se com as curvas de envelope espectral das amostras sonoras de um banco de dados sonoros. Implementou-se este em estágio anterior à análise comparativa do timbre alvo ou objetivo. O trabalho de pesquisa resultou na obra orquestral de Hummel, *Nicanor*²⁷.

Hummel amplia sua pesquisa em orquestração assistida por computador, ao desenvolver o projeto denominado *conTimbre* (Hummel 2014). O sistema utiliza-se de um banco de dados sonoros para realizar as misturas orquestrais e a linguagem de programação *Common Lisp* para ser uma “alternativa para criar algoritmicamente orquestração²⁸”. O ambiente

²⁶Mais informações em: <http://www.cirmmt.mcgill.ca/activities/distinguished-lectures/rose>. Data de acesso: 03/08/2015.

²⁷Mais informações em: <http://www.thomashummel.net/en/music>. Data de acesso: 03/08/2015.

²⁸Traduzido do inglês: *option to algorithmically create orchestrations*, em <http://www.contimbre.com>.

conTimbre foi extensivamente utilizado no trabalho de doutoramento de Murphy (Murphy 2013).

Como destacado no parágrafo anterior, há trabalhos dos quais utilizam-se bancos de dados sonoros, como material de referência na realização de suas análises sonoras. Em essência, tais coleções dispõem de registros sonoros da performance de diversos instrumentos musicais, executando diversas alturas musicais e técnicas particulares, estendidas e convencionais. A pesquisa dessas soluções é realizada por dois processos distintos e colaborativos. De um lado, um algoritmo de pesquisa, o qual busca por soluções eficientes dentro do espaço multidimensional parametrizado. Por outro lado, outro algoritmo de pesquisa busca as configurações locais que satisfaçam, por sua vez, as restrições simbólico-musicais. Tais ambientes utilizam fundamentos da computação evolutiva e algoritmos genéticos. A busca é realizada pelas características acústicas e musicais dos sinais analisados, tais como altura musical, frequência sonora fundamental, amplitude dos componentes espectrais, dentre outros (Carpentier 2008), (Esling & Agon 2010) e (Esling & Agon 2013).

Desde 2003, o grupo de Representações Musicais, do IRCAM, desenvolve pesquisas acerca da problemática da orquestração assistida por computador. Os trabalhos, descritos anteriormente, consituem um projeto de longo prazo, idealizado pelo compositor Yan Maresz, no IRCAM (Maresz 2013). O trabalho colaborativo entre pesquisadores, engenheiros e compositores resultou no desenvolvimento do ambiente computacional *Orchidée*, ou *Orchestration Idée* (Carpentier 2008). Compositores como Tristan Murail, Yan Maresz e Jonathan Harvey utilizaram a primeira versão da ferramenta de Orquestração Musical Assistida por Computador (Harvey, Nuono, Cont & Carpentier 2009). *Orchidée* centra-se na busca das melhores soluções orquestrais possíveis, via algoritmos genéticos, entre o banco de dados sonoros e um timbre-alvo de referência, o qual pode ser estabelecido por intermédio de uma gravação sonora ou um timbre sintetizado. A busca é realizada pelas características acústicas e musicais dos sinais analisados, tais como altura musical, frequência sonora fundamental, centróide espectral, amplitude dos componentes espectrais, dentre outros. A metodologia garante uma abordagem multi-objetiva do timbre analisado, calculando as misturas orquestrais às quais possuem as melhores características acústicas e musicais. Concentrando-se nas características espectrais e harmônicas de determinados timbres, *Orchidée* não oferecia sugestões dinâmicas, com transformações espectrais ao longo do tempo. Por isso, todas as “soluções sonoras” sugeridas por esse aplicativo eram estáticas. Ademais, não há presença de qualquer instrumento de percussão, muito em parte, por concordar com os seus objetivos conceituais acerca de resultados puramente harmônicos.

Em 2010, Carpentier, Esling e Agon (Esling & Agon 2010) aperfeiçoaram o ambiente *Orchidée*, concentrando-se às questões acerca do comportamento temporal das estruturas espectrais. Implementaram um Modelo de Misturas de Gaussianas (*Gaussian Mixture Models*

Data de acesso: 05/08/2015

- GMM), o qual representa ambas propriedades espectrais e temporais de um sinal sonoro analisado (Verbeek, Vlassis & Kröse 2003). GMM é um modelo probabilístico o qual assume coletar todos os dados de análise pela justaposição de diversas funções de distribuição normal ou gaussianas²⁹. O compositor Marco Suarez utilizou a atualização de *Orchidée*, em sua obra *Poetry*, para voz; flauta; clarone; violino; violoncelo; contrabaixo e dispositivo eletrônico³⁰. Por levar em consideração as estruturas espectro-temporais, o modelo GMM aproxima-se de resultados mais próximos à realidade acústica dos timbres musicais, além de considerar modos de execução instrumental mais refinados e dinâmicos, tais como crescendos/decrescendos, *glissandos*, multifônicos, etc.

Desenvolvido por Esling, o aplicativo ATO-MS (*Abstract Temporal Orchestration - Modular Sctructure*) aborda questões pertinentes ao comportamento dinâmico das características espectrais do som analisado (Esling & Agon 2013). Tal como o *Orchidée*, ATO-MS desenvolve-se no IRCAM e pode ser considerado um sucessor da pesquisa iniciada por Carpentier.

A última versão do sistema de orquestração assistida por computador, desenvolvido e divulgado pelo grupo de pesquisa coordenada por Maresz, denomina-se *Orchids*³¹. No atual sistema, o ambiente integra recursos como “especialização orquestral” e características psico-acústicas do “timbre-alvo³²” (Esling & Bouchereau 2014).

O “timbre-alvo” é sugerido para medir as distâncias dos diversos resultados que o algoritmo é capaz de encontrar dentro de um mesmo espaço sonoro. Para isso, as diversas informações parametrizadas do fenômeno sonoro de referência são utilizadas para calcular e classificar essas distâncias entre essas diversas soluções. Tais características são automaticamente extraídas dos sinais de áudio e podem ser facilmente correlacionadas com as características multidimensionais de determinado timbre. É possível encontrar, dentro de um espaço de características, um alto índice de dimensionalidades ou parâmetros, seja como “brilho”; “intensidade sonora”; “harmonicidade”; “quantidade de ruído”; “principais componentes espectrais”, dentre outros, alocando a escolha desses domínios dimensionais a uma posição complexa e determinante para as ‘preferências’ de escuta e de escolhas, realizadas pelo usuário/compositor.

Implementar os algoritmos genéticos ou GA’s, em pesquisas sobre orquestração assistida por computador, relaciona o problema da otimização combinatorial multiobjetiva. Cada indivíduo ou sonoridade analisada é representado como um vetor de características. Os algoritmos genéticos resultam em pouca diversidade de soluções. Conceitualmente, os GA’s tendem a convergir, de maneira eficiente, a uma única solução máxima. Marcelo Caetano

²⁹Para mais informações relacionadas com a distribuição normal, ver: <https://goo.gl/ZOIFZt>. Data de acesso: 03/08/2015

³⁰Mais informações em: <http://marcosuarezcifuentes.wordpress.com/>. Data de acesso: 03/08/2015.

³¹Disponível em: <http://www.forumnet.ircam.fr/product/orchids/>. Data de acesso: 03/08/2015

³²Para mais informações, ver documentação do sistema, disponível em: <http://goo.gl/m3Tjcy>. Data de acesso: 03/08/2015

propõe uma alternativa junto à problemática da orquestração assistida por computador, também utilizando algoritmos bioinspirados, em especial, os sistemas imunológicos artificiais (SIA), (*Artificial Immune System - AIS*). De uma generalizada, são sistemas adaptativos inspirados no “Sistema Imunológico Natural” e estão sendo amplamente utilizados em problemas de otimização, busca, reconhecimento de padrões, segurança de redes, entre outros. Nos sistemas imunológicos artificiais, um problema com solução desconhecida é tratado como “antígeno” enquanto as potenciais soluções são modelizadas como “anticorpos” (Caetano, Manzolli & Von Zuben 2005a). Em contraste com os algoritmos genéticos, os SIA resultam em múltiplas soluções otimizadas (Abreu, Caetano & Penha 2015).

Os sons produzidos pelos SIA foram chamados de “sons imunológicos”. Basicamente, produz-se “sons-anticorpos” para reconhecer um conjunto fixo e predefinido de “sons-antígeno”, resultando em variantes timbrais com as características desejadas (Caetano, Manzolli & Von Zuben 2005a, pg. 04), tais como centroide espectral, desvio padrão espectral, energia RMS, energia total e amplitude os principais picos espectrais (Abreu et al. 2015). Para realizar as análises sonoras, o método utilizou um banco de dados sonoros com 1439 sonoridades instrumentais distintas. Do ponto de vista prático, a resposta induzida pelo SIA resultará em “sons-anticorpos” altamente correlacionados com um timbre-alvo, mesmo preservando a diversidade local (Caetano, Manzolli & Von Zuben 2005b, pg. 02).

Já o estudo piloto recente, desenvolvido por Antoine e Miranda, implementa novos recursos para classificar as soluções orquestrais, utilizando o sistema *Orchids*. No estudo, os pesquisadores associam correlatos verbais e usuais para descrever as qualidades timbrísticas perceptivas, como por exemplo: “brilho” e “rugosidade” (Antoine & Miranda 2015, pg. 09). Para relacionar tais correlatos verbais com os atributos perceptivos das sonoridades orquestrais, o sistema desenvolvido pelos pesquisadores utiliza ferramentas de análise, via descritores de áudio. Similar ao estudo piloto de Antoine e Miranda, o nosso sistema denominado *Sound Shizuku Composition - SSC* utiliza descritores de áudio para analisar as misturas instrumentais. Contudo, diferentemente do estudo piloto dos pesquisadores, o nosso ambiente não foi desenvolvido em sistema proprietário, como o *Orchids*. Não obstante, utilizamos o ambiente de programação Pure Data (PD) para realizar as análises sonoras e desenvolver a interface gráfica do nosso sistema *SSC*. No Capítulo 2 apresentamos o procedimento metodológico com o qual desenvolvemos nosso trabalho de pesquisa em orquestração assistida por computador.

A Tabela 1.3 sintetiza a Revisão da Literatura à qual contribuiu com desenvolvimento do trabalho relacionado com orquestração assistida por computador. A Seção 1.2.2 forneceu subsídios para elaborarmos o nosso ambiente de análise e orquestração musical assistidos por computador. As questões relacionadas com o nosso ambiente serão descritas no Capítulo 2.

Dada a diversidade de sons produzidos por um conjunto de instrumentos musicais, ou seja, os diferentes registros, os diversos modos de ataque e técnicas expandidas de execução, optou-se por utilizar bancos de amostras como fonte de referência timbrística junto ao nosso

	Referências Bibliográficas
Discussão da problemática relacionada com Orquestração Assistida por Computador	(Boulez 1987); (Pires 2011); (Dolan 2013); (Guigue 2014); (Antoine & Miranda 2015)
Orquestração por intermédio da subjetividade, empirismo e ‘práticas comuns’	(Koechlin 1954); (Berlioz & Strauss 1985); (Rimsky-Korsakoff 1964); (Piston 1955); (McKay 1963); (Gieseler et al. 1985); (Adler 1989); (Mathews 2006)
Orquestração por intermédio de modelos matemáticos	(Manzoli 1988); (Psenicka 2003); (Hummel 2005); (Rose & Hetrick 2009)
Orquestração por intermédio de fundamentos da computação evolutiva e algoritmos bioinspirados	(Caetano, Manzoli & Von Zuben 2005b); (Caetano, Manzoli & Von Zuben 2005a); (Carpentier 2008); (Esling & Agon 2010); (Esling & Agon 2013); (Esling & Bouchereau 2014); (Abreu et al. 2015)
Orquestração por intermédio de propriedades psicoacústicas	(Esling & Bouchereau 2014)
Orquestração por intermédio de descritores de áudio	(Antoine & Miranda 2015); ‘ <i>Contribuição ao Problema da Orquestração Assistida de Técnicas Expandidas com Suporte de Descritores de Áudio</i> ’
Outros ambientes de Orquestração Assistida por Computador	(Hummel 2014)

Tabela 1.3: Tabela com a síntese da Revisão da Literatura relacionada com Orquestração Assistida por Computador

trabalho com o ambiente *SSC*. O trabalho propõe uma ferramenta computacional para criar objetos sonoros/musicais e aplicá-los na orquestração os quais podem ser observados a partir dos métodos de recuperação das informações musicais. Frente a possibilidade de utilizar-se do próprio som como um modelo para composição ou uma sonoridade como um elemento potente da obra, a composição musical que se sustenta nesse substrato pode se beneficiar de ferramentas de análise computacional denominados de descritores de áudio. A próxima Seção 1.3 apresenta a Revisão da Literatura relacionada com *Music Information Retrieval*, a área de desenvolvimento científico na qual os descritores de áudio desempenham um trabalho considerável na análise sonora.

1.3 *Music Information Retrieval (MIR)*

A área de desenvolvimento tecnológico que interage com nosso estudo denomina-se *Music Information Retrieval* ou MIR, como descrito por Byrd e Fingerhut (Byrd & Fingerhut 2002). Nela, utilizam-se recursos de processamento digital de sinais para extrair características sonoras do espectro do som. As medidas de características são denominadas “descritores de áudio” na literatura especializada da área. Os desenvolvimentos realizados pela área MIR contribuem tanto em âmbito acadêmico e científico quanto comercial. Os ambientes virtuais de classificação e reconhecimento de padrões musicais, tal como o comercialmente disponibilizado Shazam (Wang et al. 2003), utilizam determinadas características perceptivas e espectrais para identificar o conteúdo sonoro/musical. Além do trabalho de Byrd e Fingerhut, os trabalhos de Downie (Downie, Byrd & Crawford 2009), Serra (Serra, Magas,

Benetos, Chudy, Dixon, Flexer, Gómez, Gouyon, Herrera, Jordà, Paytuvi, Peeters, Schlüter, Vinet & Widmer 2013) e Sturm (Sturm 2014) nos auxiliam a compreender o panorama atual dos desenvolvimentos na área MIR, seus principais desafios e objetivos futuros.

Como descrevem Tzanetakis e Cook (Tzanetakis & Cook 2002), os procedimentos relacionados à classificação automática de sinais musicais localizam, indexam e catalogam objetos sonoros/musicais de acordo com diversos critérios paramétricos. Em particular, Tzanetakis emprega três critérios: 1) textura timbrística, 2) discriminação de altura e 3) conteúdo rítmico. Na pesquisa aqui reportada são utilizados dois descritores de áudio, o croma e o centroide, que dialogam com os primeiros critérios discutidos por Tzanetakis. Outra aplicação importante, com a qual o nosso trabalho dialoga, é a pesquisa de Malt e Jourdan (Malt & Jourdan 2009). Tal ferramenta, à qual denomina-se *Zsa.Descriptors*, concentra-se em fornecer estratégias de detecção de eventos musicais de música mista, eletrônica e acústica (Malt & Jourdan 2008). No âmbito da modelização de descritores de áudio os quais relacionam-se com mudanças temporais, Philippe Esling e Carlos Agon sistematizaram um ambiente computacional de análise temporal, em *OpenMusic*, denominado *Spectral Maquettes* (Esling & Agon 2010). A principal ferramenta de desenvolvimento utilizou modelos de mistura de funções de gaussianas ou GMM. Por relacionar-se com as informações de início e decaimento de eventos sonoros ou envoltórias, Esling e Agon desenvolveram pesquisas em performance de vibratos e tremolos, em instrumentos musicais.

No âmbito da utilização de ambiente computacional de assistência à análise e à composição musical, o compositor Roger Reynolds utilizou os descritores de áudio para relacionar os materiais composicionais, da sua obra *The Angel of Death*, com as análises de tais resultados na escuta e percepção de sua audiência (McAdams, Vines, Vieillard, Smith & Reynolds 2004) e (McAdams & Battier 2005). O procedimento direcionou o planejamento, de Reynolds, para que os seus objetivos composicionais se dialogasse com as respostas cognitivas dos seus ouvintes.

No contexto da análise e composição de música instrumental, a biblioteca de análise *Zsa.Descriptors* objetiva às técnicas estendidas de execução instrumental, tais como multifônicos, *bigliandos*, *key clicks*, por exemplo. A biblioteca foi utilizada pelo compositor italiano Daniele Ghisi, em sua obra *Comment pouvez vous lire à present ? Il fait nuit* (2009), para saxofone alto e eletrônica em tempo real. O objetivo foi implementar o algoritmo para detecção de *key clicks*, a partir da análise via descritores de áudio. Os pesquisadores Bullock e Conservatoire (Bullock & Conservatoire 2007) compuseram uma obra para piano e eletrônica, em tempo real, na qual as manipulações e os processamentos sonoros eram extraídos por descritores de áudio.

A pesquisa apresentada por Pesek *et. al* (Pesek, Leonardis & Marolt 2014), utiliza as técnicas MIR para estabelecer um algoritmo baseado em redes neurais³³ no desenvolvimento de

³³Do ponto de vista generalizado, uma Rede Neural pode ser definida como um processador distribuído composto por unidades de processamento simples, denominadas neurônios. Tais unidades possuem

um modelo composicional no qual consiste em múltiplas camadas. Cada uma é composta hierarquicamente, das quais correspondem com as estruturas musicais, tais como componentes espectrais, notas musicais, acordes, melodias e ritmos.

O recente trabalho de Maezawa *et. al* (Maezawa, Itoyama, Yoshii & Okuno 2014) apresenta a utilização de descritores de áudio para desenvolver um modelo probabilístico, no qual alinha-se múltiplas performances de uma mesma obra musical. Os pesquisadores formularam um modelo generativo unificado entre composição e performance, por intermédio das gravações de áudio das performances musicais. O pesquisador Valtteri Wikström desenvolve um sistema computacional no qual o mapeamento dos sinais fisiológicos do usuário é identificado pelos descritores de áudio (Wikström 2014). Tais dados são usados na criação de síntese sonora e composição musical. Dessa forma, os sons sintetizados relacionam-se com os estados psicológicos e afetivos do próprio usuário.

Do ponto de vista tecnológico, os procedimentos desenvolvidos por pesquisadores, tais como Pampalk (Pampalk 2006) e Bogdanov; Wack e Gomez (Bogdanov, Wack, Gómez, Gulati, Herrera, Mayor, Roma, Salamon, Zapata & Serra 2013), deram origem a novos ambientes computacionais para realizar análises de áudio nas quais quantificam-se diversas categorias descritivas do sinal sonoro, tais como conteúdo espectral, tonal e rítmicos. De maneira análoga, no trabalho de Deshpande; Singh e Nam (Deshpande, Singh & Nam 2001), a classificação foi realizada por intermédio de uma análise gráfica, via espectrogramas, para o reconhecimento e classificação de diferentes gêneros musicais, como o rock e o jazz. Barbedo e Lopes (Barbedo & Lopes 2007) elaboraram uma importante classificação de gêneros musicais, tais como rock, erudito e *dance music*, a partir de uma taxonomia hierárquica relacionada com valores paramétricos extraídos dos sinais musicais analisados. Thoshkahna; Nsabimana e Ramakrishnan (Thoshkahna, Nsabimana & Kalpathi 2011), automatizaram a remoção de ruído sonoro; o trabalho de Dieleman e Schrauwen (Dieleman & Schrauwen 2013) realiza a complexa tarefa de separar diferentes fontes de áudio num mesmo sinal digitalizado; Cartwright e Pardo (Cartwright & Pardo 2013) utilizam os recursos da tecnologia MIR para controlar procedimentos de mixagem e equalização sonora no estúdio digital. Morchid *et. al* desenvolveram um sistema computacional de recomendação musical em comerciais e propagandas televisivas (Morchid, Dufour & Linares 2014). No âmbito de sistemas de transcrição musical automática, o pesquisador Axel Roebel apresenta uma proposta para derivar partituras musicais completas, incluindo as suas durações, ritmos, notas musicais, instrumentação e percussão a partir dos sinais sonoros analisados³⁴.

As pesquisas acerca de descritores de áudio são emergentes e há iniciativas singulares como a proposta do projeto *CUIDADO - Content-based Unified Interfaces and Descriptors for Au-*

a capacidade de armazenar conhecimento a partir de treinamentos realizados com os dados experimentais (Junior 2015, pg. 27). Para mais informações, ver (Haykin 2009).

³⁴Para mais informações, acessar a *keynote speech* do pesquisador durante a Conferência *ISMIR*, em 2014. Disponível em: <http://www.camdemmy.com/media/16427>. Data de acesso: 11/08/2015

dio/music Databases available online (Peeters 2004) para padronizar as características do comportamento acústico do sinal sonoro para o reconhecimento da fala e da música. Outro projeto pioneiro, o qual concentra-se na recuperação da informação musical, denomina-se *Music Information Retrieval Evaluation eXchange* ou MIREX, descrito por Downie; Ehmann; Bay e Jones (Downie, Ehmann, Bay & Jones 2010) que é um conjunto de técnicas para avaliar os desenvolvimentos científicos, os sistemas e os algoritmos de recuperação da informação musical.

O trabalho recente de Miron *et. al.* (Miron, Carabias-Orti & Janer 2014) apresenta um sistema de alinhamento da partitura musical com a gravação sonora de uma obra orquestral. Os pesquisadores utilizaram os dados extraídos pelos descritores de áudio para desenvolver o algoritmo de alinhamento na identificação da duração das notas musicais de entrada e de saída, i.e., *onsets* e *offsets*.

No âmbito da utilização de descritores de áudio desenvolvidos em ambiente computacional PureData (PD), destaca-se o trabalho de William Brent, na elaboração da biblioteca de funções de análise sonora, em tempo real, denominada TimbreID (Brent 2009) e (Brent 2010b). A principal motivação do trabalho de Brent é oferecer uma coleção de ferramentas computacionais de análise das características do sinal sonoro. Tais ferramentas centram-se em pesquisa e produção artística, inseridas no contexto da classificação automática do timbre musical. Uma das possibilidades de utilização da biblioteca TimbreID é a de identificar vetores de características os quais mais se aproximam de um timbre objetivo. Para tanto, há diversos cálculos de medição das distâncias de vetores, dentre as quais: euclidiana e correlação. Muitos trabalhos composicionais de música eletrônica utilizam as ferramentas oferecidas pela biblioteca TimbreID.

Jamie Bullock desenvolveu a biblioteca *libextract*, à qual consiste de uma coleção de funções de análise para extração de características de baixo nível (Bullock & Conservatoire 2007). Bullock elabora uma taxonomia para classificar as medidas em seis categorias: *basic spectral*; *signal parameters*; *temporal timbral*; *spectral timbral* e *spectral basis representations*. O método baseia-se na proposta de Lindsay *et. al.* (Lindsay, Burnett, Quackenbush & Jackson 2002).

A biblioteca de análise mais utilizada no escopo deste trabalho de pesquisa foi desenvolvida por Adriano Claro Monteiro, no NICS/UNICAMP. A biblioteca denomina-se PDescriptors. Nela, estão disponibilizadas as implementações dos métodos algorítmicos de análise de áudio estudados durante a pesquisa de Mestrado de Monteiro (Monteiro 2012). As principais referências de taxonomia das medidas às quais descrevem o comportamento do sinal sonoro concentraram-se nos trabalhos de Peeters (Peeters 2004) e Pereira (Pereira 2009).

Dentre os demais ambientes computacionais, cujo objetivo concentra-se na extração de características do sinal sonoro, via descritores de áudio, pode-se citar em perspectiva, as seguintes plataformas e linguagens de programação: *MARSYAS* (Tzanetakis & Cook 2000); *Sonic Visualizer* (Cannam, Landone, Sandler & Bello 2006) e a coleção de plugins, deno-

minado Vamp Plugins, desenvolvido pelo projeto Mazurka (Cannam 2009); *SuperCollider* e a biblioteca SCMIR - *SuperCollider Music Information Retrieval* (Collins 2011); EchoNest (Ellis, Whitman, Jehan & Lamere 2010); *jAudio* (McKay, Fiebrink, McEnnis, Li & Fujinaga 2005); em Matlab, com a biblioteca *MIRToolBox* (Lartillot & Toiviainen 2007) e; *Essentia*, em linguagem Python (Bogdanov et al. 2013).

A Tabela 1.4 sintetiza a Revisão da Literatura à qual contribuiu com desenvolvimento do trabalho relacionado com a área MIR e, especificamente, com a utilização de descritores de áudio na análise e composição musical. As referências bibliográficas apresentadas na Seção 1.3 forneceram subsídios teóricos e técnicos para elaborarmos o nosso ambiente de análise e orquestração musical assistidos por computador. Descrevemos as etapas de desenvolvimento do nosso ambiente no Capítulo 2. As referências bibliográficas apresentadas no Capítulo 1 fundamentou as etapas de análise das obras musicais, apresentadas no Capítulo 3.

	Panorama da área MIR	Descritores de áudio na tecnologia da informação musical	Descritores de áudio na análise musical e composição	Descritores de Áudio em Max/MSP e OpenMusic	Descritores de Áudio em PureData (PD)	Descritores de Áudio em outros ambientes computacionais
Referências Bibliográficas	(Byrd & Fingerhut 2002); (Downie et al. 2009); (Downie et al. 2010); (Serra et al. 2013); (Sturm 2014)	(Deshpande et al. 2001); (Tzanetakis & Cook 2002); (Wang et al. 2003); (Peeters 2004); (Pampalk 2006); (Barbedo & Lopes 2007); (Pereira 2009); (Thoshkahna et al. 2011); (Bogdanov et al. 2013); (Dieleman & Schrauwen 2013); (Cartwright & Pardo 2013); (Morchid et al. 2014)	(McAdams et al. 2004); (McAdams & Battier 2005); (Bullock & Conservatoire 2007); (Malt & Jourdan 2008); (Malt & Jourdan 2009); (Pesk et al. 2014); (Junior 2015); (Haykin 2009); (Maezawa et al. 2014); (Wikström 2014)	(Malt & Jourdan 2009); (Malt & Jourdan 2008); (Esling & Agon 2010)	(Bullock & Conservatoire 2007); (Brent 2009); (Brent 2010b); (Monteiro 2012)	(Tzanetakis & Cook 2000); (McKay et al. 2005); (Cannam et al. 2006); (Lartillot & Toiviainen 2007); (Cannam 2009); (Collins 2011); (Ellis et al. 2010); (Bogdanov et al. 2013)

Tabela 1.4: Tabela com a síntese da Revisão da Literatura relacionada com descritores de áudio e *Music Information Retrieval* - MIR

Neste Capítulo 1, apresentamos o estado da arte dos desenvolvimentos científicos relacionados com a utilização do computador como ferramenta de assistência à composição musical e orquestração musical. Concentramo-nos na apresentação de procedimentos os quais extraem características do conteúdo do espectro de frequências sonoras de um timbre musical. Para tanto, utiliza-se medidas estatísticas denominadas como descritores de áudio. Como apresentado na Introdução do trabalho de pesquisa, utilizamos a Revisão da Literatura, tal como apresentada no Capítulo 1 para desenvolvermos os próximos Capítulos 2 e 3. Especificamente, as Seções 1.1 e 1.2 relacionam-se com o Capítulo 3, no qual apresentamos uma proposta de análise musical, com suporte de descritores de áudio, de algumas obras do repertório da música do século XX e XXI, em especial dos compositores Scelsi, Lachenmann e Manzolli. Já as Seções 1.2 e 1.3 relacionam-se com o Capítulo 2, no qual apresentamos

as etapas de desenvolvimento do nosso ambiente de orquestração assistida por computador, com o suporte de descritores de áudio.

Procedimentos Metodológicos

If a machine is expected to be infallible, it cannot also be intelligent. There are several mathematical theorems which say almost exactly that. But these theorems say nothing about how much intelligence may be displayed if a machine makes no pretence at infallibility

Alan Turing

Neste Capítulo 2, apresentamos a metodologia de trabalho interativo de análise sonora e composição musical tal como desenvolvida neste trabalho de pesquisa. Realizamos um estudo sobre as técnicas de recuperação da informação musical via descritores de áudio de baixo-nível, aqueles aos quais relacionam-se com o comportamento do espectro de frequências sonoras e com as propriedades psicoacústicas da audição. Neste sentido, utilizamos os descritores de áudio como ferramentas de análise sonora, relacionando duas abordagens particulares de auxílio ao planejamento composicional: *a)* descrições de características do comportamento do espectro de frequências sonoras com *b)* os modos específicos de execução instrumental estendida e em orquestração. Na Seção 2.1 apresentamos as etapas principais da nossa proposta de análise sonora e orquestração musical assistidas por computador. Na Seção 2.2 descrevemos os descritores de áudio utilizados para desenvolver o nosso sistema de orquestração. Na Seção 2.3 apresentamos o banco de dados utilizados para realizar as misturas sonoras. A Seção 2.4 descreve as etapas de elaboração do nosso ambiente de análise sonora, denominado *Sound Shizuku Composition - SSC*.

2.1 Arquitetura da Metodologia

O escopo do desenvolvimento do nosso ambiente de orquestração assistida por computador centra-se nas particularidades contrastantes de variações de sonoridades, a partir da análise sonora via descritores de áudio. Nosso objetivo é produzir uma mescla refinada do material sonoro tomando como ponto de partida um conjunto de técnicas estendidas de execução instrumental. Esse processo criativo produz diversas relações entre o material sonoro descrito a partir da análise dos descritores, configurações instrumentais e, finalmente, nas transcrições da partitura. Essas transcrições auxiliam o compositor no seu planejamento composicional e em orquestração. O processo apoia-se nas etapas estabelecidas, a saber: *a)* “Pontos de Referência”, são as características timbrísticas potenciais associadas aos descritores de áudio, as quais definem o campo macroestrutural da composição e *b)* “Misturas Sonoras”, simulações computacionais que geram arquivos de áudio, com o objetivo de ampliar as possibilidades de mistura instrumental.

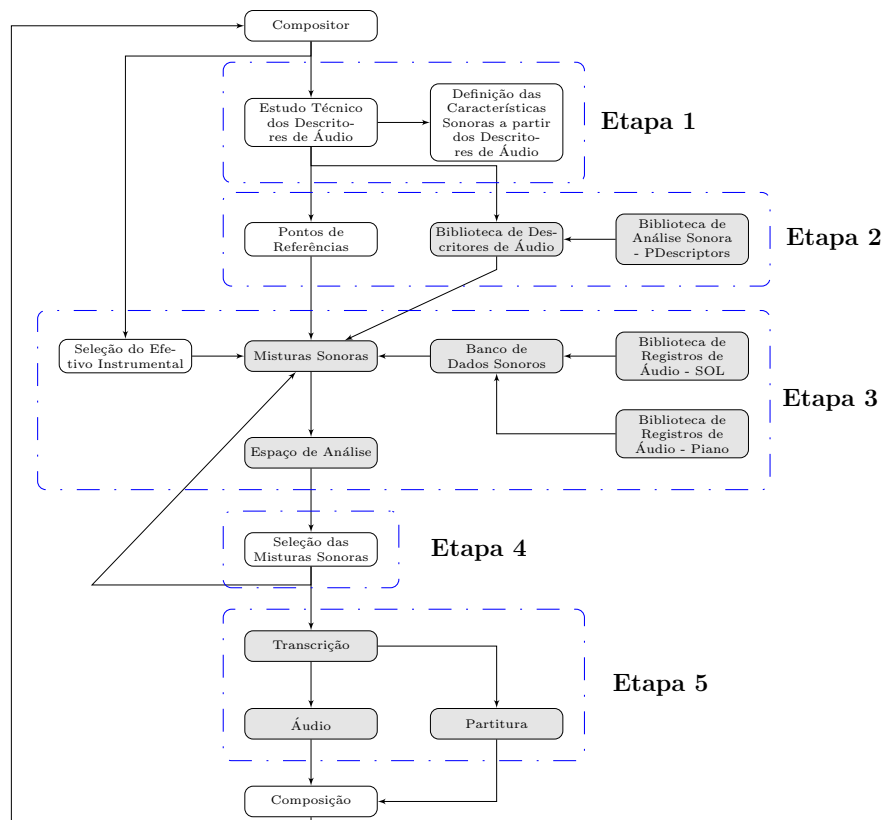
Nas Misturas Sonoras, sobrepomos registros de áudio de diversos modos de ataque, articulações e técnicas estendidas instrumentais. Os registros que utilizamos pertencem a dois bancos de dados sonoros compilados por Ballet *et. al* (Ballet, Borghesi, Hoffmann & Lévy 1999) e Barbancho *et. al* (Barbancho, Barbancho, Tardón & Molina 2013). O processo composicional, via orquestração musical assistida por computador, foi dividido em cinco etapas principais:

- **Etapa 1** definem-se as sonoridades a serem exploradas no processo criativo da obra musical, por intermédio de estudos técnicos e entendimento dos descritores de áudio. Tal etapa definirá os aspectos e as características timbrísticas que serão trabalhadas composicionalmente.
- **Etapa 2** utilizando os conceitos de sonoridade da **Etapa 1**, estabelecem-se demarcações dentro do espaço de características, denominadas como “Pontos de Referência”, os quais definimos como demarcações que o compositor realiza *a priori* no seu planejamento composicional, utilizando os descritores de áudio para construir um espaço de sonoridades. Ou seja, são as demarcações que apontam para características timbrísticas potenciais que são associadas aos descritores de áudio.
- **Etapa 3** simulam-se as “Misturas Sonoras” com o computador para testar misturas instrumentais que estão relacionadas aos Pontos de Referência. Para tanto, utilizou-se amostras sonoras digitais de diversos modos de ataque, articulação e técnicas estendidas de diversos instrumentos musicais. Tais configurações foram construídas a partir de um banco de dados com registros sonoros, do qual apresentaremos na Seção 2.2.
- **Etapa 4** realizam-se a interação das escolhas das configurações orquestrais ponderadas pela interpretação de aplicação e pertinência. Tal procedimento garante a participação

efetiva do compositor no resultado final de sua própria composicional musical.

- **Etapa 5** Armazenam-se as misturas sonoras selecionadas pelo compositor em notação simbólica e em formato de arquivos de áudio.

A Figura 2.1 representa o esquema geral da metodologia proposta na nossa pesquisa em orquestração assistida por computador.



Ex. 2.1: Esquema geral da metodologia do sistema de orquestração assistida por computador - *Sound Shizuku Composition - SSC*. Os blocos cinzas representam o fluxo computacional de dados para análise de sonoridades. Os blocos brancos representam a interação do usuário/compositor com o próprio sistema. Os blocos pontilhados e tracejados compreendem as tarefas de cada uma das cinco etapas da nossa arquitetura de metodologia.

2.2 Estudo Técnico dos Descritores de Áudio

Nesta Seção 2.2, discutiremos o uso dos descritores de áudio como ferramenta de análise sonora junto ao nosso sistema de orquestração assistida por computador. Apresentaremos os descritores de áudio que dialogam diretamente com o nosso estudo. Como apresentado no

Capítulo 1, a área de conhecimento científico sobre o assunto denomina-se *Music Information Retrieval* ou simplesmente, MIR. Os estudos sobre MIR utilizam funções matemáticas, apoiadas em medidas estatísticas e modelos psicoacústicos para desenvolver os chamados descritores de áudio. Segundo Peeters (Peeters 2004, pg. 01), os procedimentos para descrever as características de um sinal sonoro foram propostos pela comunidade científica para o reconhecimento de padrões da fala e para a classificação de instrumentos musicais. Esses procedimentos também são ferramentas de relevância significativa no contexto da composição e orquestração musical assistidas por computador. Os métodos para analisar o conteúdo espectral, a partir de sinais de áudio digitalizados, são realizados via *Short-Time Fourier Transform* ou *STFT*, que é definida a seguir por Sheh e Ellis (Sheh & Ellis 2003, pg. 02):

$$\mathbf{STFT}_{[k,n]} = \sum_{m=0}^{N-1} x[n-m]w[m]e^{-j2\pi km/n} \quad (2.1)$$

Onde k indexa o eixo de frequência (*bin*) dentro do intervalo $0 < k < N - 1$ do n^{esimo} quadro; $w[m]$ é uma janela de N amostras.

Do ponto de vista generalizado, os descritores de áudio são ferramentas de análise sonora as quais representam determinadas características unidimensionais do sinal sonoro. Como apontado por Rimoldi (Rimoldi 2013, pp. 01), embora tenham caráter reducionista em relação objeto analisado, os descritores de áudio são ferramentas úteis como uma taxonomia de características relacionadas com o conteúdo espectral do sinal sonoro analisado. Tais características podem ser correlacionadas e, não necessariamente, equivalentes com atributos subjetivos da percepção do sinal sonoro, tais como “brilho”, “opacidade”, “rugosidade”, “ruidosidade”, “maciez”, dentre outros.

Nas Subseções consequentes, apresentaremos um conjunto de descritores de áudio e as suas relações frente ao nosso escopo de trabalho, ou seja, os critérios com os quais os descritores podem relacionar-se com o nosso projeto composicional e de análise musical. No total utilizamos dezesseis descritores de áudio: “Centroide Espectral”; “Desvio Padrão Espectral”; “Obliquidade Espectral”; “Curtose Espectral”; “Fluxo Espectral”; “Nivelamento Espectral”; “Intervalo entre *onsets*”; “Irregularidade Espectral”; “Roll-Off Espectral”; “Razão entre Componentes Ímpares e Pares”; “Energia RMS”; “Loudness”; “Taxa de Cruzamento por Zero”; “Decrescimento Espectral”; “Centroide Temporal” e; “Croma Espectral”.

A Tabela 2.1 ilustra os descritores de áudio utilizados para desenvolver os trabalhos apresentados no Capítulo 3, sobre as análises das obras de Scelsi, Lachenmann e Manzoli e; no Capítulo 4, sobre a apresentação do nosso portfólio de obras composicionais.

2.2.1 Centroide Espectral

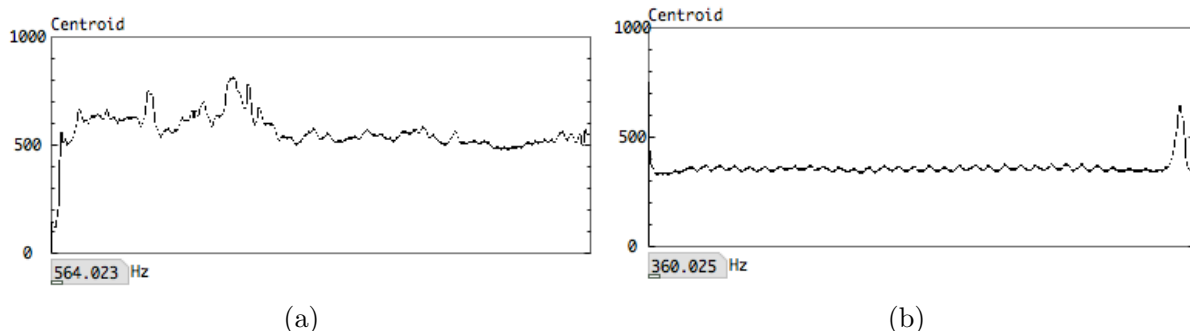
Segundo Theodoridis e Koutroubas (Theodoridis & Koutroubas 2008, pgs. 460-461), um dos parâmetros mais utilizados para a extração de características do sinal sonoro é o

Descritores de Áudio	Análise Musical	Composição Musical
Centroide Espectral - Subseção 2.2.1	Scelsi - Seção 3.1; Lachenmann - Seção 3.2; Manzolli - Seção 3.3	<i>Lana Tai</i> - Seção 4.1; <i>Labori Ruinae</i> - Seção 4.3
Desvio Padrão Espectral - Subseção 2.2.2	Manzolli - Seção 3.3	
<i>Skewness</i> Espectral - Subseção 2.2.3	Manzolli - Seção 3.3	
Curtosis Espectral - Subseção 2.2.4	Manzolli - Seção 3.3	
Fluxo Espectral - Subseção 2.2.5	Lachenmann - Seção 3.2; Manzolli - Seção 3.3	
Nivelamento Espectral - Subseção 2.2.6	Lachenmann - Seção 3.2; Manzolli - Seção 3.3	<i>Labori Ruinae</i> - Seção 4.3
Intervalo entre <i>Onsets</i> - Subseção 2.2.7	Lachenmann - Seção 3.2	
Irregularidade Espectral - Subseção 2.2.8	Manzolli - Seção 3.3	<i>O azeite, a lua e o rio</i> - Seção 4.2; <i>Labori Ruinae</i> - Seção 4.3
Roll-Off Espectral - Subseção 2.2.9	Manzolli - Seção 3.3	
Razão entre Componentes Ímpares e Pares - Subseção 2.2.10	Manzolli - Seção 3.3	<i>Labori Ruinae</i> - Seção 4.3
Energia RMS - Subseção 2.2.11	Manzolli - Seção 3.3	
<i>Loudness</i> - Subseção 2.2.12	Scelsi - Seção 3.1	<i>O azeite, a lua e o rio</i> - Seção 4.2
Taxa de Cruzamento por Zero - Subseção 2.2.13	Manzolli - Seção 3.3	
Decrescimento Espectral - Subseção 2.2.14		<i>Labori Ruinae</i> - Seção 4.3
Centroide Temporal - Subseção 2.2.15		<i>Labori Ruinae</i> - Seção 4.3
Croma Espectral - Subseção 2.2.16	Scelsi - Seção 3.1	<i>Lana Tai</i> - Seção 4.1; <i>O azeite, a lua e o rio</i> - Seção 4.2

Tabela 2.1: Tabela com a síntese da utilização dos descritores de áudio no contexto de análise musical e da composição musical.

Centroide Espectral, que é denominado apenas de centroide no restante do nosso trabalho. Tal como apontado por Pereira (Pereira 2009, pg. 16), por intermédio do centroide é possível medir a percepção de brilho do sinal sonoro analisado. Analogamente, tal descritor pode ser definido como o centro de massa ou baricentro do espectro analisado. Dessa forma, quanto mais alto o valor do centroide, dado em Hz, maior será a concentração de energia nas componentes espectrais de altas frequências o que pode levar, em muitos casos, à percepção de um som mais brilhante. Cabe ressaltar que o registro e a altura musical não se relacionam diretamente com o centroide. Por exemplo, uma nota tocada no grave, pode apresentar um valor de centroide em frequências altas. Isto ocorrerá se as magnitudes de seus componentes espectrais de alta frequência tiverem mais energia que os de baixa. O uso de técnicas estendidas pode produzir transientes que elevam o valor da energia nas componentes de alta frequência.

Analisamos duas sonoridades com características musicais distintas, do ponto de vista centroide espectral. Utilizamos o contrabaixo, executando a altura musical Mi_3 , em *mezzoforte* e com a técnica de arco denominada *arco sul ponticello*. A outra sonoridade utilizada é a da viola com a mesma altura Mi_3 , mesma dinâmica *mezzoforte* mas com a utilização de *sordina*, em arco *ordinario*. A Figura 2.2 ilustra os contornos da análise das suas sonoridades e a média, em Hz, para cada uma delas. A Figura 2.2a, que representa a análise sonora do contrabaixo, aponta um valor maior de média em comparação com o valor da média da Figura 2.2b, que descreve o resultado da análise da viola. A análise dessas duas sonoridades, a partir do cálculo do centroide espectral, aponta que o contrabaixo obteve um valor médio de centroide mais alto que a sonoridade da viola.



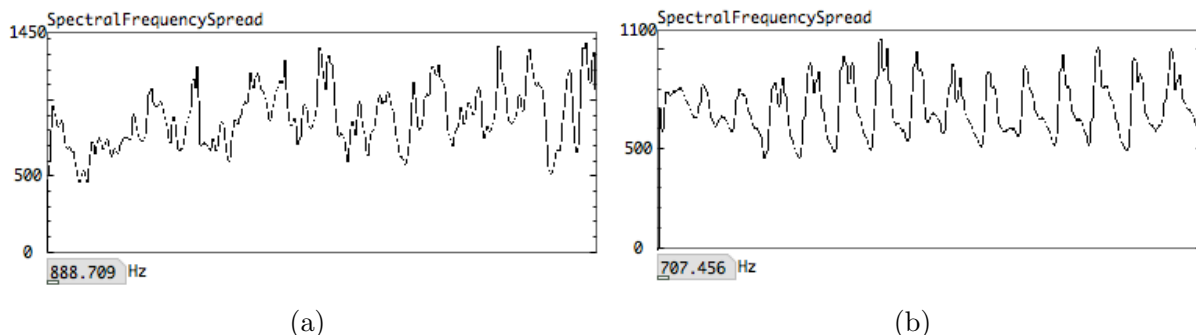
Ex. 2.2: Análise da média de Centroide Espectral de dois instrumentos executando a mesma altura e a mesma dinâmica musical. Figura 2.2a, Análise do Contrabaixo; Figura 2.2b, Análise da Viola.

2.2.2 Desvio Padrão Espectral

O Desvio Padrão Espectral representa o cálculo da raiz quadrada da variância do espectro de frequências sonoras, analisadas a partir do centroide espectral. Consideramos o desvio padrão espectral como uma medida calculada a partir do momento central da segunda ordem da distribuição do cálculo do centroide. Ela mede a espalhamento da distribuição de energia espectral, ou seja, a média de desvio padrão em relação ao centroide e que pode ser entendido como uma estimativa média da largura de banda espectral (Monteiro 2012, pg. 125).

Analisamos duas sonoridades distintas para demonstrar o uso da medida do desvio padrão espectral, na qual *a*) um conjunto de instrumentos de cordas, executando a nota $Lá_4$, em *ordinario* e *b*) uma viola solo executando a mesma nota $Lá_4$, em *ordinario*. A sonoridade *a*), formada pelos instrumentos *contrabaixo*, *violoncelo*, *viola*, *violino II* e *violino I* apresenta um valor médio maior de desvio padrão espectral que a viola solo. O descritor identificou que o conjunto instrumental analisado possui uma largura de banda maior que o instrumento solo. A Figura 2.3, ilustra a análise realizada com as duas sonoridades e os seus respectivos valores de média.

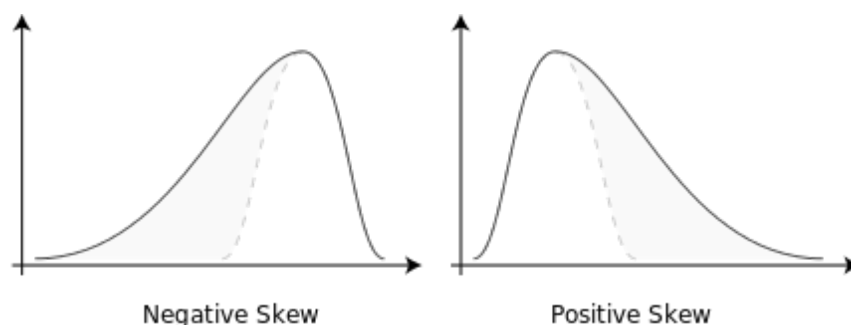
Já Mikhail Malt e Emmanuele Jourdan utilizam a medida de desvio padrão espectral para identificar eventos musicais discretos ou técnicas de execução instrumental (Malt & Jourdan 2009). O desvio padrão espectral é utilizado ainda para identificar eventos ruidosos inseridos em um contexto musical no qual há diferentes materiais sonoros misturados. Em sua análise, a técnica instrumental de *key clicks*, na flauta, pode ser facilmente discriminado de um contexto sonoro mais harmônico. Na Seção 1.3, do Capítulo 1, apontamos o uso de descritores de áudio junto à confecção da obra *Comment pouvez vous lire à present ? Il fait nuit*, para saxofone alto e eletrônica em tempo real, do compositor italiano Danielle Ghisi. Em seu planejamento composicional, Ghisi utilizou a medida de desvio padrão espectral para manipular o conteúdo da eletrônica, em tempo real.



Ex. 2.3: Análise do desvio padrão espectral de duas sonoridades executando a mesma altura e a mesma dinâmica musical. Figura 2.3, análise da orquestra de cordas; Figura 2.3b, análise da Viola.

2.2.3 *Skewness* ou Obliquidade Espectral

A medida de *Skewness* espectral, também conhecida como obliquidade espectral calcula a assimetria da largura de banda espectral com relação ao centroide. É computada a partir do momento central de terceira ordem da distribuição (Rimoldi 2013, pg. 100). Quando o resultado da medida for igual a zero, a *skewness* indica uma distribuição simétrica em relação ao pico e à média da largura banda de frequência, aproximando-se de uma distribuição gaussiana. Valores maiores que zero indicam assimetria para a direita, com maior desvio em relação à média das frequências agudas. Já os valores menores que zero indicam assimetria para a esquerda, com maior desvio em relação à média das frequências graves (Esling & Agon 2013), (Rimoldi 2013). Na Figura 2.4, ilustramos dois momentos de análise da obliquidade espectral. À esquerda, a ilustração indica obliquidade negativa, no qual a curva do vale esquerdo é mais alongada. Inversamente, à direita, a curva do vale direito da distribuição é mais alongada, indicando uma obliquidade positiva.



Ex. 2.4: Dois momentos de análise a partir da obliquidade espectral

No seu trabalho de pesquisa, William Brent analisa sonoridades de instrumentos de percussão a partir do uso das ferramentas estatísticas dos descritores de áudio. Brent utiliza

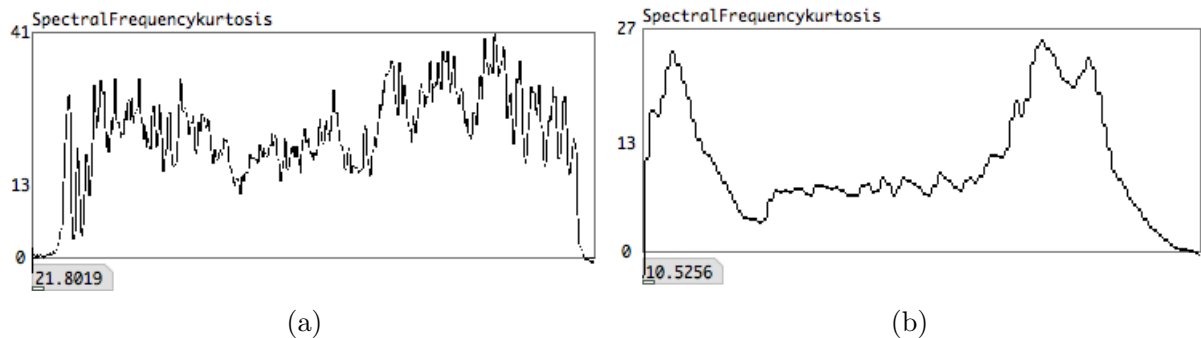
a medida de obliquidade para analisar as sonoridades do bongô, que resulta em um alto índice positivo de obliquidade e de instrumentos metálicos de percussão, tal como os gongos, que resultam em índices positivos consideravelmente baixos, comparando-se com os bongôs (Brent 2010a, pg. 39). Por tratar-se de apresentar uma maior predominância em frequências graves, a obliquidade positiva é associada com a percepção subjetiva de sonoridades arredondadas e quentes (Brent 2010a, pg. 130). Inversamente, a obliquidade negativa, por indicar uma predominância em frequência agudas, relaciona-se com a percepção de sonoridades brilhantes, a partir do cálculo de centroide (Brent 2010a, pg. 131).

2.2.4 Curtose Espectral

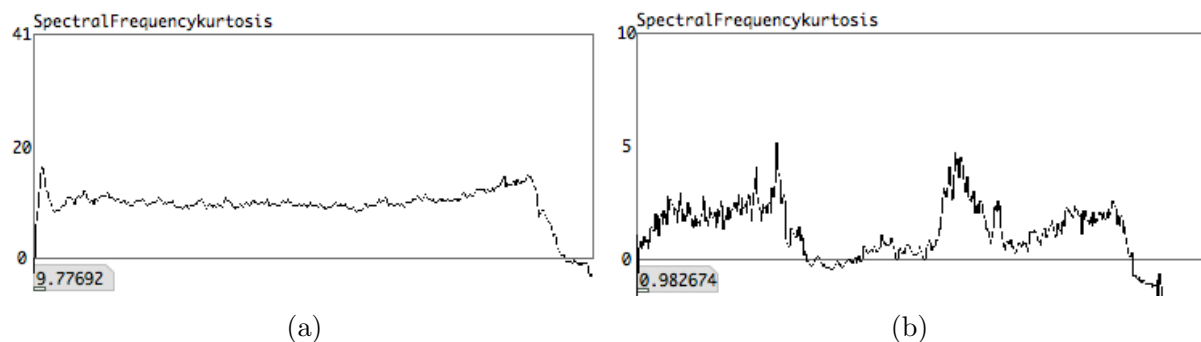
O descritor de curtose espectral é calculado pela razão entre o quarto momento central e o quadrado da variância da magnitude. É uma medida de análise do formato da largura de banda relacionada com os picos e os vales da distribuição estatística. A curtose espectral é considerada como uma ferramenta estatística que pode indicar a presença de séries de transientes e a suas posições no domínio das frequências sonoras (Antoni 2006). Valores altos de curtose indicam uma distribuição com picos, caracterizando a presença de valores que se aproximam da média do desvio padrão e se relaciona com sonoridades sinusoidais. Inversamente, valores baixos de curtose indicam uma distribuição da energia mais achatada ou plana do que a gaussiana e são relacionadas com sonoridades mais ruidosas. Contudo, segundo Lawrence DeCarlo há interpretações equivocadas junto à análise estatística a partir da curtose, onde não se consideram a presença e os contornos dos vales de uma distribuição (DeCarlo 1997).

Analisamos dois pares de sonoridades distintas a partir da curtose espectral. Nosso objetivo foi ressaltar as diferenças entre as sonoridades com baixa quantidade de ruído sonoro instrumental e as sonoridades mais ruidosas. Utilizamos os instrumentos de flauta e violino. Na Figura 2.5a, analisamos a flauta executando a técnica de *whistle sound*, que apresenta sonoridade mais *limpa* e *pura*. Na Figura 2.5b, a flauta executa a técnica de *jet whistle*, que resulta em grande quantidade de ruído sonoro. A partir dos valores da média da análise, ilustrados em cada figura, a sonoridade em *whistle tone* possui maior índice de curtose, indicando sonoridades mais tonais.

A segunda análise que realizamos centra-se em duas sonoridades do violino, na qual destacamos que os harmônicos artificiais representam alto índice de curtose em relação à técnica de arco tocado atrás do espelho do violino. A Figura 2.6a representa o contorno e o valor da média da análise da técnica de harmônico artificial. Já a Figura 2.6b ilustra distribuição da análise e o valor da média da técnica de arco tocado atrás do espelho.



Ex. 2.5: Análise da curtose espectral de duas sonoridades da flauta executando *whistle tone*, na Figura 2.5a e em *jet whistle*, Figura 2.5b.

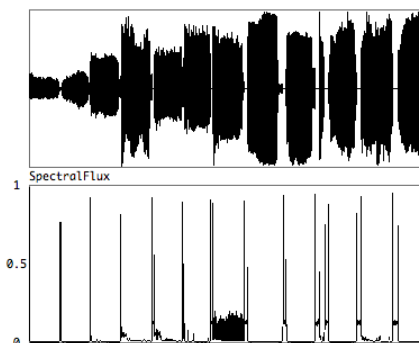


Ex. 2.6: Análise da curtose espectral de duas sonoridades do violino executando *harmônico artificial*, na Figura 2.6a e com o arco *atrás do espelho*, Figura 2.6b.

2.2.5 Fluxo Espectral

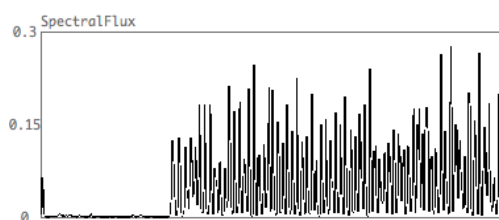
O descritor de fluxo espectral é uma medida de análise temporal do espectro de frequências sonoras. O objetivo desse parâmetro é caracterizar quão rápidas são as mudanças no espectro do sinal ao longo dos quadros (Pereira 2009). O descritor, também denominado como “Variação temporal de Espectro” é utilizado para identificar os tempos de ataques, i.e. *onsets* e representa a quantidade de variação do espectro no decorrer do tempo. Se próximo a zero, os espectros sucessivos são similares. Perto de um, os espectros sucessivos são dissimilares (Peeters 2004). A Figura 2.7 ilustra a análise da justaposição de um conjunto de sonoridades, que resultam de experimentos composicionais junto à obra *O azeite, a lua e o rio*, descrita na Seção 4.2, do Capítulo 4. O descritor de fluxo espectral resultou em altos valores de índice nos momentos de ‘entradas’ das sonoridades, contrastando-as com os intervalos de “silêncio” entre si.

O descritor de fluxo espectral é utilizado ainda para identificar sonoridades que possuem alto índice de variação de articulação. Analisamos a técnica instrumental de *tremolo* na viola. A Figura 2.8 representa a análise do fluxo espectral da técnica de *arco ordinario*, com *poco*



Ex. 2.7: Análise do conjunto de sonoridades a partir do cálculo de fluxo espectral.

vibrato e, posteriormente, a técnica de *tremolo*. A análise do descritor destaca o momento da mudança de técnica instrumental, na qual o *tremolo* resulta em uma maior variação de fluxo espectral.



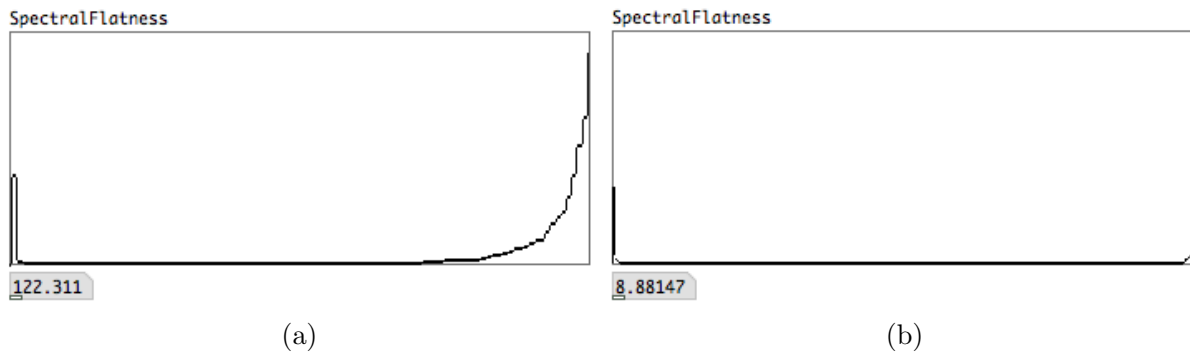
Ex. 2.8: Análise sonora, a partir do fluxo espectral, de duas técnicas instrumentais da viola: *arco ordinario* com *poco vibrato* e *tremolo*.

2.2.6 Nivelamento Espectral

Nivelamento Espectral ou *Spectral Flatness* define-se por se tratar de uma medida da relação ruídosidade/som tonal de um espectro. De acordo com Dubnov, o índice de tonalidade de um sinal caracteriza-se pela sua quantidade de picos espectrais (Dubnov 2004, pg. 01). O nivelamento espectral é calculado pela razão da média geométrica com a média aritmética da energia do valor espectral (Peeters 2004) e (Jehan 2005). Quando normalizados, valores próximos de um indicam uma distribuição de energia homogênea, correlata a espectros mais ruidosos e sem formas definidas. Quando próximo a zero, a distribuição da energia no espectro de frequência é heterogênea, indicando a presença de picos de magnitude. Tal configuração correlaciona-se com sonoridades tonais ou senoidais (Rimoldi 2013, pg. 99).

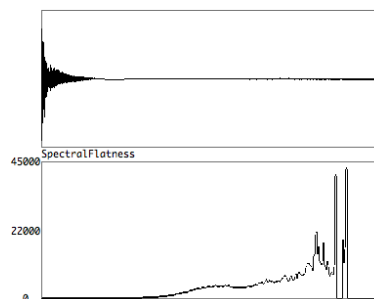
Utilizamos o descritor de nivelamento para analisar duas sonoridades distintas da flauta: a) executando a técnica de *jet whistle* e b) executando a nota $D\acute{o}_4$, em *ordinario*. A Figura 2.9 ilustra os contornos dos dados de análise e os seus respectivos valores de média. A Figura

2.9a, que representa a flauta, em *jet whistle* possui um valor médio de nivelamento muito maior que a flauta, em *ordinario*, como ilustra a Figura 2.9b.



Ex. 2.9: Análise da média de nivelamento espectral de duas técnicas instrumentais executadas pela flauta. Figura 2.9a, análise da flauta em *jet whistle*; Figura 2.9b, análise da flauta em *ordinario*.

O nivelamento espectral é utilizado, ainda, para identificar e segmentar “momentos” de silêncio daqueles que possuem informações sonoras musicais. A Figura 2.10 representa a análise do violoncelo tocando em *pizzicato bartók*. No momento da execução da sonoridade, o valor de nivelamento é baixo, em comparação com o decaimento da sonoridade e o aumento do ruído, no final da análise.



Ex. 2.10: Análise do nivelamento espectral do violoncelo executando a técnica de *pizzicato bartók*.

2.2.7 Intervalo entre *Onsets* - IOI

O descritor que analisa o intervalo das “entradas” do sinal sonoro calcula o tempo de um *onset* com o tempo do seu *onset* anterior. Segundo Brown, os IOI's podem ser considerados rigorosamente equivalente com durações dos eventos musicais (Brown 1993, pg. 1954). Segundo Loureiro, o IOI corresponde às especificações dos eventos simbólicos musicais de

durações locais, no qual: $IEI(i) = início(i + 1) - início(i)$ intervalo de tempo medido entre os inícios de notas sucessivas (Loureiro, Magalhães et al. 2008, pg. 122). O intervalo entre *onsets* ou *Inter-onset Interval - IOI* identifica a densidade de *onsets* de um excerto. Uma grande quantidade de *onsets*, que resulta em uma grande densidade de eventos, resulta em baixo índice de IOI's. Inversamente, excertos cuja densidade é baixa possui alto índice de IOI's ou seja, maior intervalo entre os eventos computados. A Figura 2.11 ilustra um caso de IOI's em duas situações diferentes mas que possuem o mesmo resultado de intervalo entre *onsets*. Por tratar-se do intervalo de tempo entre os pontos de ataque de sucessivos eventos, a Figura 2.11 ilustra o mesmo IOI para diferentes durações de notas¹.



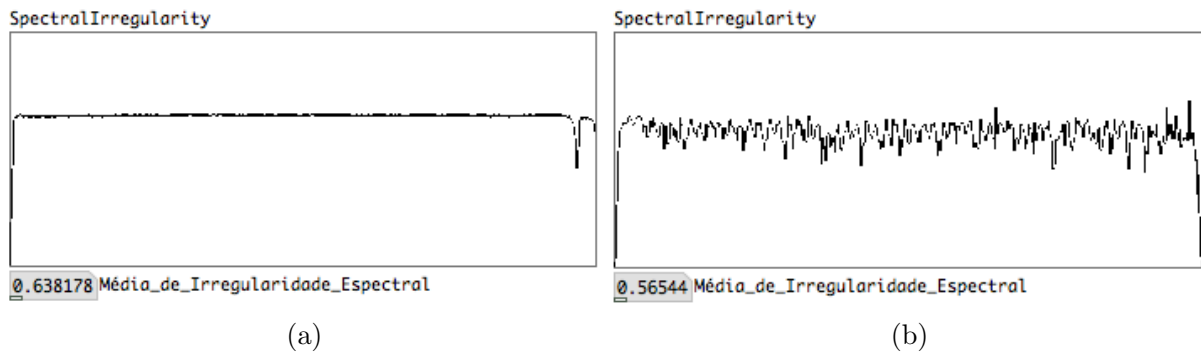
Ex. 2.11: Análise do intervalo entre *onsets* com durações de notas diferentes.

2.2.8 Irregularidade Espectral

Como apontado por Krimphoff *et al.* (Krimphoff, McAdams & Winsberg 1994), a Irregularidade Espectral apresenta-se como um atributo perceptivo fundamental para identificar sonoridades, separar e distinguir instrumentos musicais. Essa medida relaciona-se com o comportamento do envelope espectral que é uma curva que caracteriza a variação das magnitude das componentes de frequência. Contornos suaves, com pouca alternância de picos espectrais e, conseqüentemente, com baixo índice de irregularidade, caracterizam sonoridades aveludadas e lisas. Inversamente, contornos com maior presença de picos espectrais e com alto índice de irregularidade espectral, caracterizam-se por sonoridades rugosas e estriadas. Para detalhar as considerações expostas no parágrafo anterior, a Figura 2.12 apresenta dois instrumentos distintos, clarinete e violoncelo, executando a mesma nota musical Lá#, com a dinâmica musical *forte* ou *f*. Nota-se que o clarinete possui o valor médio de irregularidade espectral maior (Figura 2.12a) que o violoncelo, o qual possui comportamento mais difuso mas com valor médio menor de irregularidade espectral (Figura 2.12b). Do ponto de vista do descritor, o clarinete é mais rugoso e estriado que o violino, mais aveludado e suave.

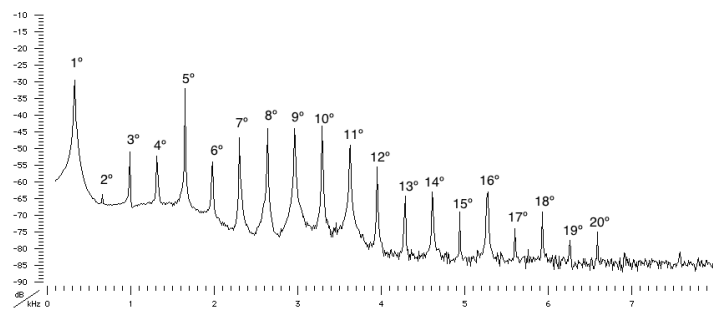
O maior valor da média de irregularidade espectral, extraído do clarinete, pode ser justificado pelo comportamento das componentes espectrais, o qual constitui o seu envelope espectral. Pelas características acústica e física do instrumento, o clarinete apresenta maior

¹A Figura que ilustra as durações musicais diferentes com o mesmo intervalo ente *onsets* foi retirada do site (Wikipedia 2015).



Ex. 2.12: Análise da média de Irregularidade Espectral de dois instrumentos executando a mesma altura e a mesma dinâmica musical. Figura 2.12a, Análise do Clarinete, em Sib; Figura 2.12b, Análise do Violoncelo.

energia entre os seus componentes ímpares. A Figura 2.13, a seguir, apresenta o comportamento dos picos espectrais do instrumento.



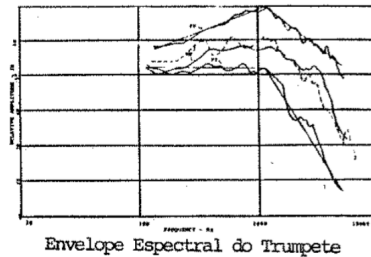
Ex. 2.13: Envelope Espectral do clarinete.

Há trabalhos que utilizaram o descritor de irregularidade espectral como ferramenta de análise à composição musical. Luka Mikula desenvolveu uma interface de controle de síntese sonora utilizando, dentre outros descritores, a irregularidade espectral (Mikula 2008). Os pesquisadores Bullock e Conservatoire compuseram uma obra para piano e eletrônica, em tempo real, na qual as manipulações e os processamentos sonoros eram extraídos pelos descritores de áudio (Bullock & Conservatoire 2007).

2.2.9 Roll-Off Espectral

O descritor de roll-off está correlacionado com o ponto de declividade que antecede a frequência de corte ou o pico de frequência com a maior amplitude do Envelope Espectral. Como discutido na Seção 1.2.2 do Capítulo 1, por Envelope Espectral, entende-se uma persistência nos padrões de energia e de quantidade de componentes espectrais de um sinal

sonoro analisado. A Figura 2.14, representa a análise do envelope espectral do trompete em duas intensidades: *pp* e *ff* (Manzoli 1988, pg. 47). A terceira curva representa a diferença entre as frequências analisadas das duas sonoridades.



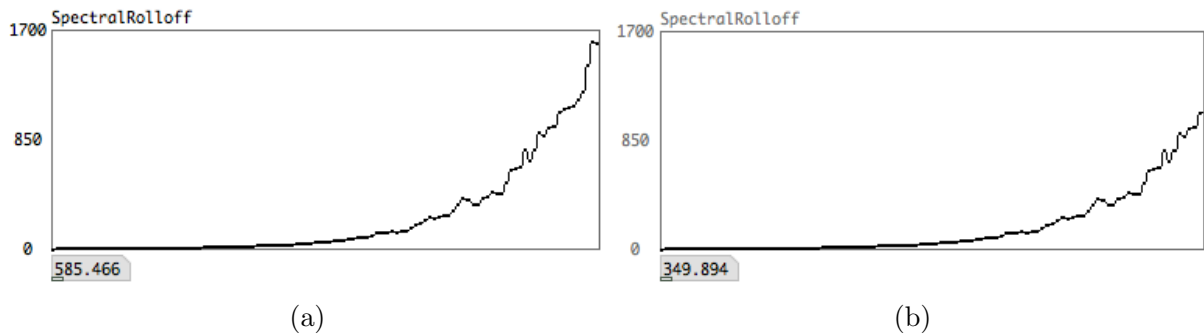
Ex. 2.14: Análise do Envelope Espectral de duas sonoridades do trompete, em intensidade *pp* e *ff*. O eixo *y* representa a intensidade sonora, mensurada em *dB*. Eixo *x* representa a escala de frequência sonoras, em Hz.

O trompete quando tocado em *pp*, curva inferior da Figura 2.14, exibe um Roll-Off próximo a zero, declividade da reta à esquerda. De acordo com Manzoli, tal característica descreve um timbre do qual sua fundamental é predominante e, com decaimento rápido de seus componentes mais agudos, produz uma sonoridade menos penetrante e mais agradável. De modo contrário, para a sonoridade em *ff*, o ponto de declividade do Roll-Off é semelhante à declividade à direita da frequência de corte. A esta característica, Manzoli associa a percepção de sonoridades mais penetrantes (Manzoli 1988, pg. 49).

Contudo, de acordo com Pereira, os sinais musicais tendem apresentar valores maiores para este descritor que os sinais de voz. Isto porque os sons percussivos, os transientes de ataque, etc, tem mais energia nas altas frequências que os sinais de voz (Pereira 2009). Analisamos a mesma técnica instrumental de *pizzicato bartók*, no contrabaixo, em duas cordas diferentes. Nosso objetivo foi identificar, a partir do roll-off, qual a frequência sonora de corte que representa 85% de toda a energia espectral analisada. As Figuras 2.15a e 2.15b ilustram o contorno da análise do *pizzicato bartók* executado nas cordas três e quatro, respectivamente. O procedimento de análise demonstrou que a sonoridade realizada na corda 3, mais aguda que a corda 4, possui uma frequência roll-off aproximada a 585Hz. Já a média de roll-off da corda 4 possui um valor de frequência menor, aproximadamente 349Hz.

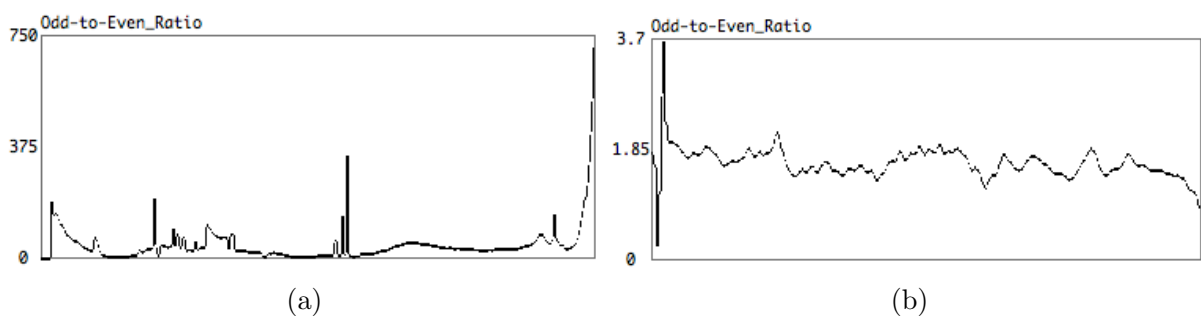
2.2.10 Razão entre Componentes Ímpares e Pares

Este descritor analisa a razão entre os componentes espectrais ímpares e pares, que é utilizado para identificar sonoridades distintas, tais como o clarinete, com maior predominância de componentes ímpares. Índices maiores que um indicam a predominância de energia nos componentes ímpares. Inversamente, os índices menores que um indicam a predominância de energia em componentes pares. Utilizamos o cálculo da razão entre componentes ímpares



Ex. 2.15: Análise da média da frequência roll-off de *pizzicato bartók*, no contrabaixo, executado em duas cordas diferentes. A Figura 2.15a ilustra a análise da corda 3; a Figura 2.15b, representa a análise da corda 4.

e pares para analisar duas sonoridades distintas: *a)* clarinete, em *Sib*, tocando em *ordinario* e *poco vibrato*; *b)* fagote tocando em *ordinario* e *poco vibrato*. O clarinete, como esperado, resulta em valores altos junto à análise do descritor. Tal resultado relaciona-se com as características acústicas e espectrais do instrumento, ressaltando os componentes ímpares. A análise do fagote, em contrapartida, retorna valores baixos, próximos ou menores que um. O resultado indica que a sonoridade do fagote, em *ordinario* e *poco vibrato*, possui grande quantidade de energia em seus componentes pares. A Figura 2.16 ilustra a análise das suas sonoridades, na qual Figura 2.16a representa a variação do contorno da análise da razão dos componentes ímpares e pares do clarinete. A Figura 2.16b representa a variação de índices baixos da análise do fagote.



Ex. 2.16: Análise da razão entre componentes espectrais ímpares e pares do clarinete, Figura 2.16a, e do fagote, Figura 2.16b, executando técnica instrumental em *ordinario* e *poco vibrato*.

2.2.11 Energia RMS

O descritor cujo acrônimo RMS equivale a *Root Mean Square* ou raiz da média dos quadrados, calcula a potência média de curta duração do sinal analisado (Loureiro et al. 2008,

pg. 113). Correlaciona-se o RMS com o descritor de *loudness*, que será descrito na Subseção 2.2.12. Segundo Tzanetakis, o RMS é muito utilizado no processo de segmentação sonora, já que as mudanças de amplitudes são indicativos consideráveis para a identificar novos eventos (Tzanetakis & Cook 1999, pg. w99-2).

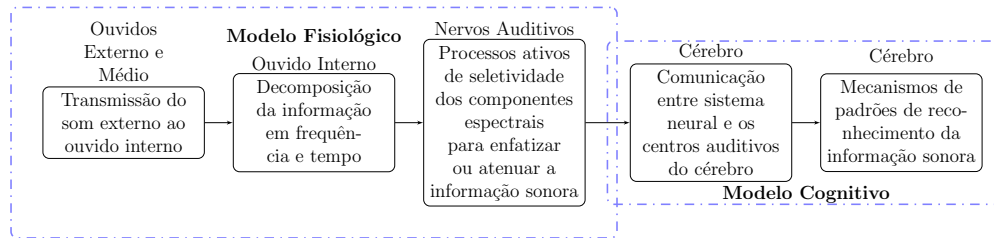
2.2.12 *Loudness*

Segundo Fletcher e Munson (Fletcher & Munson 1933, pg. 377), *Loudness* é um termo que descreve a magnitude da sensação auditiva de variação de intensidade sonora. Os atributos subjetivos para medir a intensidade sonora, tais como “muito forte”, “forte”, “moderadamente forte”, “moderadamente baixo”, “baixo” e “muito baixo” são correlacionados com termos musicais como *fortissimo*, *forte*, *mezzoforte*, *mezzopiano*, *piano* e *pianíssimo*. Mas esses termos não são absolutos nem tampouco unívocos para mensurar a capacidade de percepção humana de intensidade sonora. Diversos estudos propuseram modelos para descrever o comportamento do sistema auditivo com relação ao *Loudness* (Zwicker & Scharf 1965), (Florentine, Bonding et al. 1978), (Miśkiewicz & Rakowski 1994), (Thiede 1999) e (Plomp 2001). Os modelos da percepção de *Loudness*, foram utilizados em trabalhos de musicologia e análise, como Collins (Collins 2005), Einbond (Einbond 2005) e Bullock (Bullock & Conservatoire 2007).

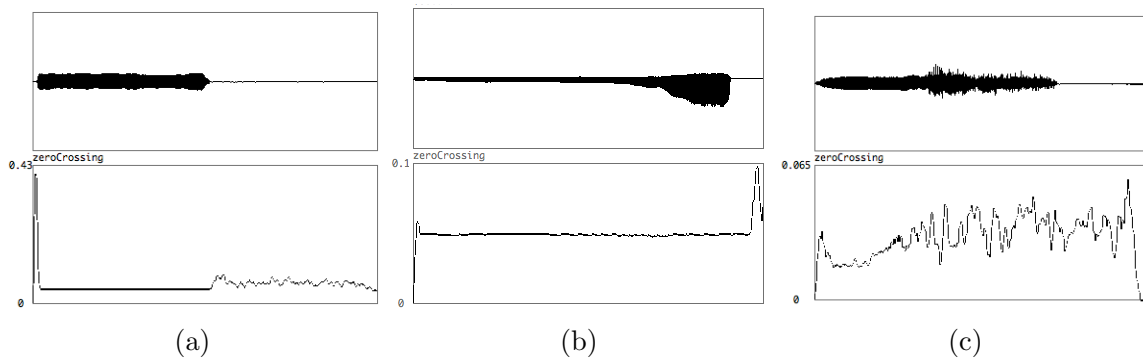
A percepção de intensidade sonora varia de acordo com a frequência, ou seja, a percepção de intensidade varia com o registro. Esse comportamento psicoacústico é descrito pelas curvas de audibilidade, que são denominadas de “Curvas de *Iso-Loudness*” (Fletcher & Munson 1933). Dentro do âmbito da nossa pesquisa, utilizamos como referência o trabalho de Thiede (Thiede 1999). O pesquisador destaca que a percepção sonora pode ser descrita a partir de cinco etapas, distribuídas em dois módulos distintos. O primeiro modelo é relacionado às estruturas fisiológicas do ouvido humano, nas quais as informações sonoras, do meio externo, são convertidas em impulsos elétricos, para comunicação neural. O segundo é relacionado às propriedades cognitivas que realizam o reconhecimento de diversos padrões para recuperar a informação sonora. A Figura 2.17, a seguir, sintetiza as etapas do processamento auditivo, discutidas pelo pesquisador:

2.2.13 Taxa de Cruzamento por Zero

O descritor que calcula a taxa de cruzamento por zero é uma medida que se relaciona com o ruído sonoro. Segundo Monteiro, para sinais simples, como ondas sinusoidais, o cálculo da taxa de cruzamento por zero é útil para identificar altura musical pois correlaciona-se com a frequência fundamental do sinal analisado. Aplicada em sinais complexos, o descritor fornece indicações sobre a ruidosidade do sinal (Monteiro 2012, pg. 121). Os sinais de música apresentam uma taxa de cruzamentos na qual normalmente os valores não variam muito ao longo do sinal. No caso de sinais de voz por exemplo, os valores variam intensamente



Ex. 2.17: Síntese das etapas do processamento auditivo.

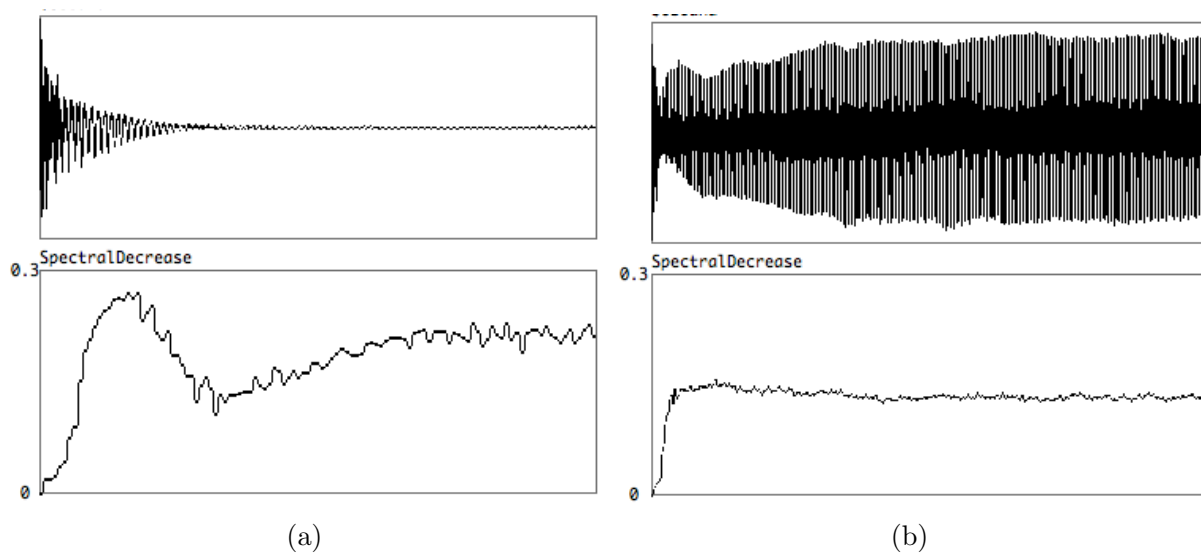


Ex. 2.18: Análise da taxa de cruzamento por zero da flauta, Figura 2.18a, do trompete, Figura 2.18b e do violoncelo, Figura 2.18c.

de quadro para quadro de análise (Pereira 2009, pg. 18). O descritor é utilizado para segmentar sinais sonoros e silêncio nos excertos analisados. Utilizamos três sonoridades para ressaltar os contornos de análise de três técnicas, em três diferentes instrumentos. Na Figura 2.18a, a flauta executa a transição da técnica de *ordinario* para *sons eólicos*. O descritor de taxa de cruzamento por zero retorna maior variação nas sonoridades em *sons eólicos*, o que se caracteriza pela considerável presença de ruído sonoro. Na Figura 2.18b, analisamos o trompete executando a transição entre *ordinario* e *brassy* ou uma sonoridade mais metálica. Na nossa análise, o descritor não identificou nuances de ruído sonoro, demonstrando que o descritor não é associado com as mudanças de timbre ou de variação da magnitude dos componentes espectrais de um sinal sonoro. Por fim, a Figura 2.18c ilustra a análise da transição da técnica de *ordinario* para *arco overpressure*, no violoncelo. Apesar de maior variação quando o instrumento executa *arco overpressure*, os índices de variação não são muito acentuados.

2.2.14 Decrescimento Espectral

A decrescimento espectral é uma medida que representa a taxa de decaimento da energia dos componentes espectrais de um sinal sonoro. O descritor de áudio de decrescimento espectral é relacionado por Malt e Jourdan (Malt & Jourdan 2008) como uma medida para analisar sons percussivos e sons sustentados. A energia dos componentes espectrais dos sons percussivos tendem a decair rapidamente em relação a energia dos componentes espectrais de sons sustentados. Analisamos duas sonoridades distintas a partir do uso do descritor de decrescimento espectral, onde *a)* o contrabaixo com a técnica de *pizzicato bartók*, caracterizando uma sonoridade percussiva do instrumento de corda e *b)* uma orquestração utilizando contrabaixo em *pizzicato bartók* e um conjunto instrumental tocando notas sustentadas. A Figura 2.19a ilustra o contorno do comportamento espectral no qual logo após o “ataque” do *pizzicato bartók*, há um decrescimento acentuado na energia dos seus componentes. Na análise da sonoridade orquestral, devido a presença do *pizzicato bartók*, o momento do ataque ilustra um comportamento semelhante ao da Figura 2.19b. Contudo, após esse ataque, a decrescimento espectral é estabilizado pelas outras sonoridades mais sustentadas.

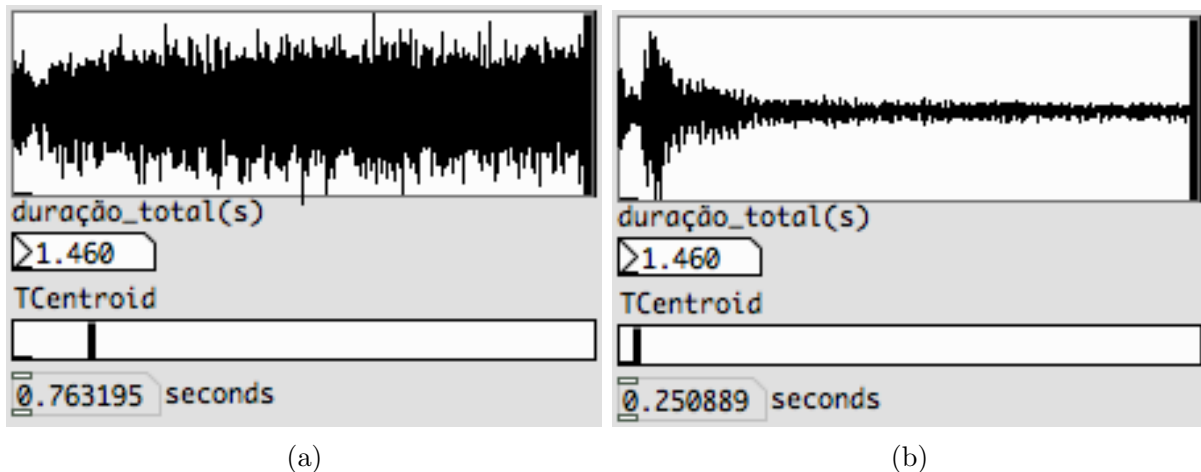


Ex. 2.19: Análise do decrescimento espectral de duas sonoridades distintas, com notas percussivas (Figura 2.19a) e notas sustentadas (Figura 2.19b).

2.2.15 Centroide Temporal

O centroide temporal é associado por Peeters como um importante descritor de análise de sonoridades percussivas ou sustentadas, contudo, a partir da análise temporal da energia do sinal analisado (Peeters, McAdams & Herrera 2000). O descritor calcula a média ponderada da energia do sinal no tempo. Sons percussivos tendem a apresentar índices baixos de

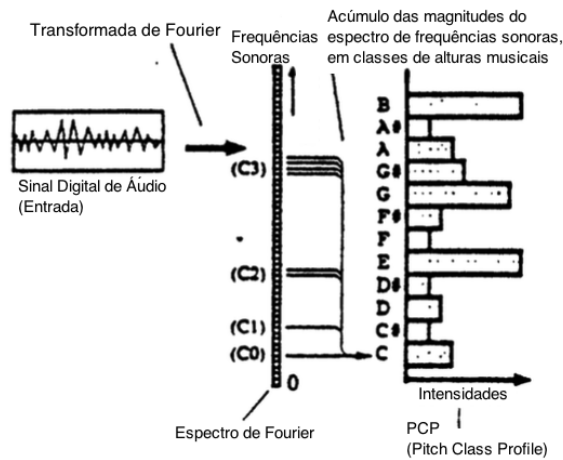
centroide temporal. Os sons sustentados resultam em índices mais altos. Analisamos duas versões de sonoridades, com a mesma duração, do ponto de vista do centroide temporal. Ambas sonoridades possuem a duração aproximada de 1.46 segundos. Na primeira, orquestramos um conjunto de sonoridades estabelecido por: violino em *pizzicato seco*; oboé e trompete em *crescendo*; trombone em *brassy*; harpa em *glissando*; saxofone alto em *crescendo súbito* e; fagote em *molto vibrato*. O descritor calculou o tamanho do arquivo analisado e apontou que o centro de massa da energia da sonoridade encontra-se em aproximadamente 0.76 segundo. A outra sonoridade utilizou os mesmos instrumentos do experimento anterior com a adição do violão, contrabaixo e violoncelo em *pizzicato* e; o tam-tam em *deixar vibrando*. Ao utilizar as técnicas de *pizzicato* e a percussão, o centroide temporal da segunda versão da sonoridade reduziu para aproximadamente 0.25 segundo, demonstrando que a média da energia do sinal encontra-se mais próxima ao ataque do som. A Figura 2.20 ilustra as análises realizadas para as duas versões de sonoridades.



Ex. 2.20: Análise do centroide temporal de duas versões de uma mesma sonoridade utilizando técnicas de *pizzicato* nos instrumentos de cordas.

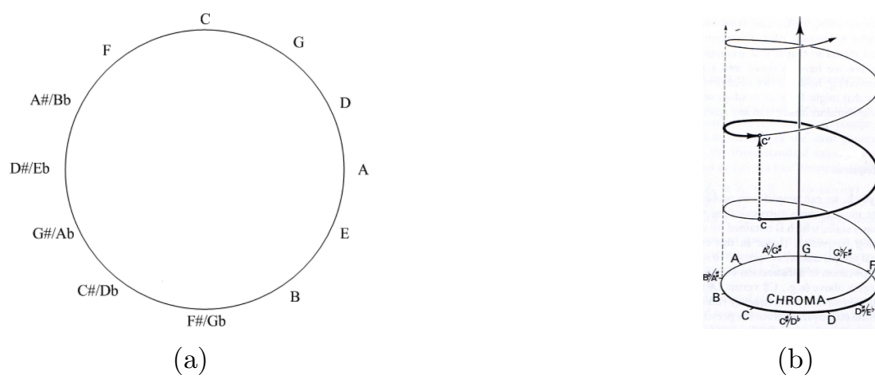
2.2.16 Cromo Espectral

O Cromo Espectral, que é denominado apenas de croma no restante do trabalho, é caracterizado pela distribuição estatística acumulada da magnitude do espectro de Fourier, por bandas fixas de frequência. Essas, referem-se às classes de alturas da escala cromática. Originalmente, o cálculo do Croma foi descrito no trabalho de Fujishima (Fujishima 1999), que o denominou como perfil de classes altura, *Pitch Class Profile* ou PCP. A Figura 2.21, a seguir, apresenta o esquema geral do algoritmo de croma, segundo o diagrama de Fujishima (Fujishima 1999).



Ex. 2.21: Esquema geral do algoritmo de Cromas.

O descritor foi muito utilizado na extração de informações relacionadas com estruturas harmônicas e tonalidade. O seu modelo perceptivo baseia-se na pesquisa de Shepard (Shepard 1982), no qual definiu-se duas características importantes para o reconhecimento de hierarquias de alturas musicais: *a)* a configuração rotacional denominada de Cromas ou *Pitch Class*, definida como a equivalência da percepção das alturas musicais independente do seu registro ou oitava, vide Figura 2.22a e; *b)* A posição vertical do índice do cromas, o qual Shepard chama de altura ou *height*, à qual é apresentada numa espiral, tal como ilustrado na Figura 2.22b.



Ex. 2.22: Representação do comportamento rotacional (Figura 2.22a) e espiral das alturas em oitavas diferentes (Figura 2.22b).

Emilia Gomez (Gómez 2006) atualizou o algoritmo PCP, implementando o *Harmonic Pitch Class Profile*, HPCP. Nesta atualização, implementou-se a ponderação \log_2 para caracterizar a propriedade logarítmica da percepção de alturas musicais com o objetivo de

destacar a contribuição das componentes harmônicas de cada altura musical. Ou seja, para a escala cromática de 12 notas, os componentes harmônicos são calculados pelo valor inteiro dado pelo cálculo do módulo 12 em relação à frequência fundamental. Com esse procedimento, focou-se na resolução da distribuição da energia em classes de alturas. Utilizando-se o HPCP é possível configurar outras bandas de frequência que extrapolam a escala cromática tais como quartos de tom e sextos de tom.

Para desenvolver a nossa pesquisa, tanto em análise no Capítulo 3 quanto em composição no Capítulo 4, utilizamos um conjunto de dezesseis descritores de áudio. Como discutido na Seção 2.2, tais medidas estatísticas de análise descrevem características particulares de um sinal digital de áudio. Na Seção 2.2, apresentamos os descritores de áudio como ferramentas potentes para a criação de uma taxonomia de características de conteúdo espectral. Essa taxonomia pode ser correlacionada e não necessariamente equivalente aos atributos subjetivos da percepção sonora. A Tabela 2.2 resume os principais pontos destacados sobre os descritores de áudio. Nela, sintetizamos a apresentação dos descritores com as suas possíveis aplicações

Descritor	Definição	Correlato Sonoro	Aplicação Possível
Centroide Espectral - Seção 2.2.1	Baricentro Espectral	<i>Brilho / Opacidade</i>	Deteção de variação sonora
Desvio Padrão Espectral - Subseção 2.2.2	Largura de banda espectral do Centroide Espectral	<i>Massa Sonora</i>	Equalização de bandas espectrais
<i>Skewness</i> Espectral - Subseção 2.2.3	Assimetria ou Obliquidade da distribuição estatística do espectro	<i>Quentes e Arredondadas / Brilhantes e Penetrantes</i>	Deteção de tipos de instrumentos de percussão
Curtose Espectral - Subseção 2.2.4	Achatamento da distribuição estatística	<i>Ruído</i>	Deteção de transientes
Fluxo Espectral - Subseção 2.2.5	Varição Espectral no decorrer do tempo	<i>Ataque</i>	Detectar tempos de ataque de eventos sonoros
Nivelamento Espectral - Subseção 2.2.6	Razão entre Média Geométrica com a Média Aritmética Espectral	<i>Ruído/Som Tonal</i>	Remoção de ruído sonoro
Intervalo entre <i>Onsets</i> - Subseção 2.2.7	Intervalo Temporal de Eventos	<i>Rugoso ou Estriado</i>	Densidade de Eventos Rítmicos
Irregularidade Espectral - Subseção 2.2.8	Diferença da Magnitude Espectral	<i>Aveludado e Liso / Rugoso e Estriado</i>	Equalização de Banda Espectral
Roll-Off Espectral - Subseção 2.2.9	Declividade do Envelope Espectral	<i>Rugosidade</i>	Masterização de voz e música
Razão entre Componentes Ímpares e Pares - Subseção 2.2.10	Quociente da Magnitude entre Componentes Espectrais	<i>Nasal / Macio</i>	Deteção de instrumentos musicais
Energia RMS - Subseção 2.2.11	Raiz da média dos quadrados da energia	<i>Forte / Fraco</i>	Deteção de Intensidade Sonora
<i>Loudness</i> - Subseção 2.2.12	Sensação auditiva da variação de intensidade sonora	<i>Forte / Fraco</i>	Percepção de Intensidade Sonora
Taxa de Cruzamento por Zero - Subseção 2.2.13	Varição do Sinal no tempo	<i>Ruído</i>	Deteção de Ruído Sonoro
Decrescimento Espectral - Subseção 2.2.14	Decaimento da Energia Espectral	<i>Percussividade</i>	Deteção de Sons Percussivos
Centroide Temporal - Subseção 2.2.15	Baricentro Temporal	<i>Percussividade</i>	Deteção de Sons Percussivos
Croma Espectral - Subseção 2.2.16	Análise Espectral por classes de alturas musicais	Tonalidade	Identificação de Harmonia

Tabela 2.2: Tabela com o Resumo da apresentação dos descritores de áudio utilizados nos Capítulo 3 e 4.

2.3 Banco de Amostras Sonoras

Na Seção 2.1, discutimos as etapas de elaboração do planejamento orquestral do nosso trabalho de pesquisa. Uma das etapas do processo centrou-se na elaboração de misturas sonoras, às quais foram construídas a partir da sobreposição de um banco de dados sonoros de registros de áudio de diversos modos de ataque, articulações e técnicas estendidas instrumentais. Os registros que utilizamos para confeccionar o nosso banco de dados sonoros pertencem a outros dois bancos de dados compilados por Ballet *et. al* (Ballet et al. 1999) e Barbancho *et. al* (Barbancho et al. 2013). Em tais bancos de dados, os registros sonoros possuem amostras curtas, com duração média entre cinco e sete segundos armazenadas no formato *.aiff*. No trabalho de Ballet *et. al* (Ballet et al. 1999), denominado *Studio OnLine* ou *SOL*, o repositório de sonoridades instrumentais relaciona-se com “alguns aspectos da sonoridade da música instrumental contemporânea” (Ballet et al. 1999, pg. 124). No total, o banco de dados *SOL* possui 16 instrumentos musicais, tais como: acordeon, tuba, fagote, clarinete, trompete, contrabaixo, saxofone alto, flauta, violão, harpa, trompa, oboé, trombone, violino, viola e violoncelo. A sua coleção de registros sonoros abrange algumas técnicas estendidas instrumentais, tais como *jet whistle*, *key clicks*, *kiss sounds*, *subtones*, *aeolian sounds*, *whistle sounds* e multifônicos, dentre outras, nas madeiras; *arco overpressure*, harmônicos artificiais, *rubbing with the finger nail*, *knocking on the instrument’s body*, *on the frog*, *col legno tratto*, *on the tailpiece*, dentre outras, nas cordas; *brassy sounds*, *con sordinas*, *frullato*, *pedal tones*, *half valve glissando*, dentre outras, nos metais.

O banco de dados pertencente à pesquisa de Barbancho *et. al* (Barbancho et al. 2013), centra-se nas sonoridades do piano. A pesquisa abrange um extensivo estudo da sonoridade do piano executando uma nota a um acorde com até dez notas simultâneas. Em seu banco de dados, há diversos registros sonoros do piano em diferentes tessituras, intensidades, em *stacatto* e *ordinario*, com a presença ou ausência do pedal de sustentação. Em ambos bancos de dados, há três dinâmicas musicais diferentes: *pianissimo* ou *pp*, *mezzo-forte* ou *mf* e *fortissimo* ou *ff*. Na atual versão do nosso banco de dados, optamos por utilizar as amostras de áudio do piano tocando apenas uma nota.

Portanto, para realizar as nossas misturas sonoras, compilamos os dois bancos de dados sonoros, que integram 16 instrumentos musicais (madeiras, cordas e metais) e o piano. A Tabela 2.3 sintetiza a quantidade dos instrumentos musicais e as suas informações técnicas específicas de execução instrumental.

Instrumento	Técnica Instrumental
Acordeon	<i>backwards</i> , <i>difference-tones</i> , <i>bellowshake</i> , <i>key-click</i> , <i>breath</i> , <i>ordinario</i> , <i>combination-of-registers</i> , <i>sforzando</i> , <i>crescendo</i> , <i>staccato</i> , <i>crescendo-to-decrescendo</i> , <i>tap-on-body</i> , <i>decrescendo</i>
Tuba	<i>Bass-Tuba-sordina</i> , <i>kiss</i> , <i>bisbigliando</i> , <i>multiphonics</i> , <i>blow</i> , <i>ordinario</i> , <i>brassy</i> , <i>ordinario-high-register</i> , <i>breath</i> , <i>pedal-tone</i> , <i>buzz</i> , <i>percussion-embouchure</i> , <i>chromatic-scale</i> , <i>play-and-sing-M7-up</i> , <i>crescendo</i> , <i>play-and-sing-P5-up</i> , <i>crescendo-to-decrescendo</i> , <i>play-and-sing-aug4-up</i> , <i>decrescendo</i> , <i>play-and-sing-glissando</i> , <i>discolored-fingering</i> , <i>play-and-sing-m2-up</i> , <i>exploding-slap-pitched</i> , <i>play-and-sing-unison</i> , <i>exploding-slap-unpitched</i> , <i>sforzando</i> , <i>filtered-by-voice</i> , <i>single-tonguing</i> , <i>flatterzunge</i> , <i>slap-pitched</i> , <i>flatterzunge-and-voice-unison</i> , <i>slap-unpitched</i> , <i>flatterzunge-to-ordinario</i> , <i>peak-into-instrument</i> , <i>glissando</i> , <i>staccato</i> , <i>growl</i> , <i>trill-major-second-up</i> , <i>inhaled</i> , <i>trill-minor-second-up</i>

Fagote	<i>Bassoon-sordina, key-click, blow-without-reed, multiphonics, chromatic-scale, note-lasting, crescendo, ordinario, crescendo-to-decrescendo, sforzando, decrescendo, staccato, flatterzunge, trill-major-second-up, glissando-with-throat, trill-minor-second-up, harmonic-fingering, vibrato</i>
Clarinete e Clarone	<i>Bass-Clarinet-aeolian, key-click, Bass-Clarinet-flatterzunge, multiphonics, Bass-Clarinet-ordinario, note-lasting, aeolian-and-ordinario, ordinario, crescendo, ordinario-high-register, crescendo-to-decrescendo, sforzando, decrescendo, staccato, flatterzunge, trill-major-second-up, flatterzunge-high-register, trill-minor-second-up, glissando</i>
Trompete	<i>C-Trumpet-cup, increasing-intervals-legato, C-Trumpet-harmon, note-lasting, C-Trumpet-straight, ordinario, C-Trumpet-wawa, ordinario-to-brassy, brassy, ordinario-to-flatterzunge, crescendo, pedal-tone, crescendo-to-decrescendo, sforzando, decrescendo, slap-pitched, flatterzunge, staccato, flatterzunge-to-ordinario, trill-major-second-up, glissando-embouchure, trill-minor-second-up, half-valve-glissando, vocalize-on-harmonics, harmonics-glissando</i>
Contrabaixo	<i>artificial-harmonic, ordinario-to-tremolo, artificial-harmonic-tremolo, pizzicato-bartok, behind-the-bridge, pizzicato-l-vib, chromatic-scale, pizzicato-secco, col-legno-battuto, sforzato, col-legno-tratto, sordina-non-vibrato, crescendo, sordina-ordinario, crescendo-to-decrescendo, sordina-tremolo, crushed-to-ordinario, staccato, decrescendo, sul-ponticello, hit-on-body, sul-ponticello-to-ordinario, natural-harmonics-glissandi, sul-ponticello-to-sul-tasto, non-vibrato, sul-ponticello-tremolo, note-lasting, sul-tasto, on-the-bridge, sul-tasto-to-ordinario, on-the-tailpiece, sul-tasto-to-sul-ponticello, on-the-tuning-pegs, sul-tasto-tremolo, ordinario, tremolo, ordinario-to-crushed, tremolo-to-ordinario, ordinario-to-sul-ponticello, trill-major-second-up, ordinario-to-sul-tasto, trill-minor-second-up</i>
Saxofone Alto	<i>aeolian, kiss, backwards, move-bell-from-down-to-up, bisbigliando, move-bell-from-left-to-right, blow-without-reed, multiphonics, chromatic-scale, ordinario, crescendo, ordinario-high-register, crescendo-to-decrescendo, ordinario-to-flatterzunge, decrescendo, play-and-sing-glissando, discolored-fingering, play-and-sing-m2-up, double-tonguing, play-and-sing-unison, exploding-slap-pitched, sforzando, flatterzunge, slap-pitched, flatterzunge-to-ordinario, slap-unpitched, glissando, staccato, harmonic-fingering, trill-major-second-up, harmonics-glissando, trill-minor-second-up, key-click</i>
Flauta	<i>aeolian, note-lasting, aeolian-and-ordinario, ordinario, aeolian-to-ordinario, ordinario-to-aeolian, chromatic-scale, ordinario-to-flatterzunge, crescendo, pizzicato, crescendo-to-decrescendo, play-and-sing, decrescendo, play-and-sing-unison, discolored-fingering, sforzando, flatterzunge, staccato, flatterzunge-to-ordinario, tongue-ram, harmonic-fingering, trill-major-second-up, jet-whistle, trill-minor-second-up, key-click, whistle-tones, multiphonics, whistle-tones-sweeping</i>
Violão	<i>behind-the-frog, harmonic-fingering, slide, bell-effect, ordinario, sul-ponticello, bottleneck, ordinario-high-register, sul-tasto, chromatic-scale, pizzicato, tap-on-body, dedillo, pizzicato-bartok, tap-with-stick, drum-effect, rasgado, glissando, scratch-with-nail</i>
Harpa	<i>bisbigliando, harmonic-fingering, bisbigliando-with-stick, harmonic-in-wood, buzzing-pedal, near-the-board, cluster, near-the-board-with-nail, cluster-with-nail, near-the-pegs, damped, ordinario, double-glissando, pizzicato-bartok, glissando, scratch-with-nail, glissando-fluido-with-stick tap-on-body, glissando-near-the-board, tap-with-stick, glissando-with-nail, tremolo-with-fingertips, glissando-with-pedal, xylophonic, glissando-with-stick</i>
Trompa	<i>brassy, ordinario-to-brassy, brassy-to-ordinario, ordinario-to-flatterzunge, chromatic-scale, sforzando, crescendo, slap-pitched, crescendo-to-decrescendo, sordina-flatterzunge, decrescendo, sordina-ordinario, flatterzunge, staccato, flatterzunge-stopped, stopped, flatterzunge-to-ordinario, stopped-to-open, note-lasting, trill-major-second-up, open-to-stopped, trill-minor-second-up, ordinario</i>
Oboé	<i>blow-without-reed, kiss, chromatic-scale, lip-glissando, crescendo, multiphonics, crescendo-to-decrescendo, note-lasting, decrescendo, ordinario, discolored-fingering, sforzando, double-trill-major-second-up, sordina-ordinario, double-trill-minor-second-up, staccato, flatterzunge, trill-major-second-up, harmonic-fingering, trill-minor-second-up, key-click, vibrato</i>
Trombone	<i>brassy, ordinario-no-mouthpiece, brassy-to-ordinario, ordinario-to-brassy, chromatic-scale, ordinario-to-flatterzunge, crescendo, pedal-tone, crescendo-to-decrescendo sforzando, cup-flatterzunge, slap-pitched, cup-ordinario, staccato, decrescendo, straight-flatterzunge, flatterzunge, straight-ordinario, flatterzunge-no-mouthpiece, wawa-closed-to-open, flatterzunge-to-ordinario, wawa-flatterzunge-closed, glissando, wawa-flatterzunge-open, harmon-flatterzunge, wawa-open-to-closed, harmon-ordinario, wawa-ordinario-closed, note-lasting, wawa-ordinario-open, ordinario</i>
Piano	<i>I note</i>
Viola	<i>artificial-harmonic, pizzicato-bartok, artificial-harmonic-tremolo, pizzicato-l-vib, behind-the-bridge, pizzicato-secco, behind-the-fingerboard, sforzato, chromatic-scale, sordina-non-vibrato, col-legno-battuto, sordina-ordinario, col-legno-tratto, sordina-piombo-non-vibrato, crescendo, sordina-piombo-ordinario, crescendo-to-decrescendo, sordina-piombo-tremolo, crushed-to-ordinario, sordina-tremolo, decrescendo, staccato, hit-on-body, sul-ponticello, natural-harmonics-glissandi, sul-ponticello-to-ordinario, non-vibrato, sul-ponticello-to-sul-tasto, note-lasting, sul-ponticello-tremolo, on-the-bridge, sul-tasto, on-the-frog, sul-tasto-to-ordinario, on-the-tuning-pegs, sul-tasto-to-sul-ponticello, ordinario, sul-tasto-tremolo, ordinario-to-crushed, tremolo, ordinario-to-sul-ponticello, tremolo-to-ordinario, ordinario-to-sul-tasto, trill-major-second-up, ordinario-to-tremolo, trill-minor-second-up</i>
Violino	<i>artificial-harmonic, pizzicato-bartok, artificial-harmonic-tremolo, pizzicato-l-vib, behind-the-bridge, pizzicato-secco, behind-the-fingerboard, sforzato, chromatic-scale, sordina-non-vibrato, col-legno-battuto, sordina-ordinario, col-legno-tratto, sordina-piombo-non-vibrato, crescendo, sordina-piombo-ordinario, crescendo-to-decrescendo, sordina-piombo-tremolo, crushed-to-ordinario, sordina-tremolo, decrescendo, staccato, hit-on-body, sul-ponticello, natural-harmonics-glissandi, sul-ponticello-to-ordinario, non-vibrato, sul-ponticello-to-sul-tasto, note-lasting, sul-ponticello-tremolo, on-the-tailpiece, sul-tasto, sul-tasto-to-ordinario, on-the-tuning-pegs, sul-tasto-to-sul-ponticello, ordinario, ordinario-to-crushed, tremolo, ordinario-to-sul-ponticello, tremolo-to-ordinario, ordinario-to-sul-tasto, trill-major-second-up, ordinario-to-tremolo, trill-minor-second-up</i>
Violoncelo	<i>artificial-harmonic, pizzicato-bartok, artificial-harmonic-tremolo, pizzicato-l-vib, behind-the-bridge, pizzicato-secco, chromatic-scale, sforzato, col-legno-battuto, sordina-non-vibrato, col-legno-tratto, sordina-ordinario, crescendo, sordina-piombo-non-vibrato, crescendo-to-decrescendo, sordina-piombo-ordinario, crushed-to-ordinario, sordina-piombo-tremolo, decrescendo, sordina-tremolo, hit-on-body, staccato, natural-harmonics-glissandi, sul-ponticello, non-vibrato, sul-ponticello-to-ordinario, note-lasting, sul-ponticello-to-sul-tasto, on-the-bridge, sul-ponticello-tremolo, on-the-frog, sul-tasto, on-the-tailpiece, sul-tasto-to-ordinario, on-the-tuning-pegs, sul-tasto-to-sul-ponticello, ordinario, sul-tasto-tremolo, ordinario-to-crushed, tremolo, ordinario-to-sul-ponticello, tremolo-to-ordinario, ordinario-to-sul-tasto, trill-major-second-up, ordinario-to-tremolo, trill-minor-second-up</i>

Tabela 2.3: Tabela com a síntese dos instrumentos musicais pertencentes ao banco de dados sonoros utilizado para a realização das misturas sonoras instrumentais.

A atual versão do nosso banco de dados possui um tamanho aproximado de 30 GB².

²Devido seu tamanho, não conseguimos anexar o banco de dados sonoros. Sugere-se o contato com o

Como destacado na Seção 2.1, utilizamos o nosso banco de dados sonoros para sobrepor os registros de áudio e realizar as simulações computacionais. Essas simulações foram analisadas a partir dos descritores de áudio destacados na Seção 2.2. Todo o processo computacional de análise e orquestração foi realizado em Pure Data. A Seção 2.4 descreve as principais etapas que estabeleceram a construção do ambiente de análise e orquestração, denominado como *Sound Shizuku Composition*.

2.4 Ambiente de Análise (Pure Data) - *Sound Shizuku Composition - SSC*

A arquitetura do nosso sistema computacional de análise sonora, denominado *Sound Shizuku Composition* ou *SSC*³, foi construída em módulos com o objetivo de fornecer sugestões orquestrais a partir do banco de dados sonoros, descrito na Seção 2.2 anterior. O nosso sistema foi desenvolvido em ambiente Pure Data (PD) utilizando a biblioteca de análise sonora, desenvolvida por Monteiro (Monteiro 2012). Utilizamos os descritores de áudio apresentados na Tabela 2.1. Nas próximas Subseções, discutimos o desenvolvimento de cada módulo que constitui a arquitetura do nosso sistema *Sound Shizuku Composition*.

2.4.1 Módulo 1 - Definição do Instrumentos Musicais e de suas Técnicas de Execução Instrumental

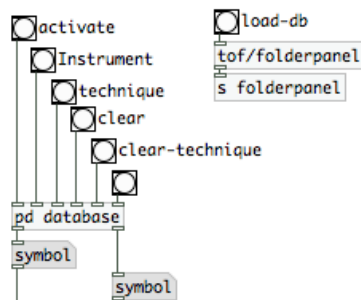
A primeira etapa do nosso sistema de orquestração relaciona com a interação do usuário/compositor para definir o efetivo instrumental desejado. No estágio atual do nosso sistema, há um número total de 16 instrumentos musicais, descritos na Tabela 2.3. Após a etapa de seleção do instrumento musical, o usuário deve definir as técnicas instrumentais específicas do instrumento. As técnicas instrumentais disponíveis no nosso sistema foi descrito também na Tabela 2.3. Caso o usuário necessite escolher outro instrumento musical, deve-se realizar o mesmo procedimento anterior: escolha do instrumento e o seu respectivo conjunto de técnicas instrumentais. Na sua atual versão, o sistema *SSC* não seleciona dobras instrumentais, ou seja, o sistema habilita apenas uma flauta, um clarinete, um trompete, uma trompa, uma tuba, etc. A Figura 2.23 ilustra o ambiente de interação do módulo 1 do *SSC*.

2.4.2 Módulo 2 - Definição da Quantidade de Misturas Sonoras

Após definir os instrumentos musicais e os seus conjuntos de técnicas, a próxima etapa relaciona-se com a definição da quantidade de sugestões orquestrais, que definirão as Misturas Sonoras. O usuário/compositor pode restringir a quantidade de MS para otimizar o

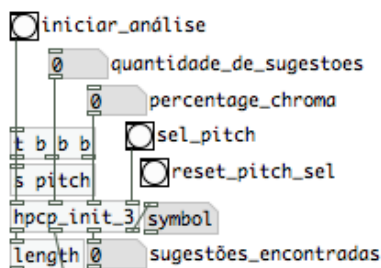
autor para obter a versão atual do banco de dados sonoros. email: ieysimurra@gmail.com

³O termo *Shizuku* pode ser traduzido, do japonês, por “gota d’água” (N.A.)



Ex. 2.23: Ilustração do Módulo 1 do sistema *SSC*. Para a interação com os registros sonoros é necessário carregar o banco de dados com a utilização do ícone *load-db*, no canto superior direito.

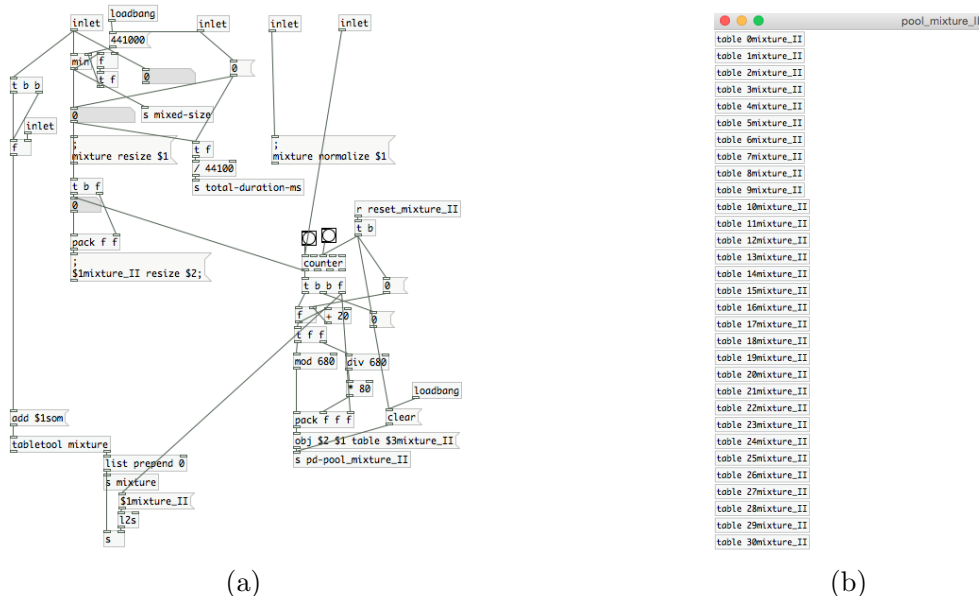
processamento computacional de busca e análise sonora. Um exemplo: definindo apenas três sugestões orquestrais, o algoritmo de busca e pesquisa retornará apenas três misturas sonoras. Paralelamente à etapa de definição da quantidade de MS, implementamos um algoritmo de restrição para a busca de soluções orquestrais baseadas na presença de alturas musicais. Com tal procedimento, garantimos que as possíveis misturas sonoras estejam restritas à uma determinada altura musical ou, ao menos, à presença de uma altura musical específica. Para realizar o cálculo de restrição, utilizamos o descritor de áudio croma, o qual apresentamos na Subseção 2.2.16. Definida a classe altura musical específica para realizar as buscas das sugestões orquestrais é possível estabelecer a porcentagem da presença da altura musical. O algoritmo calcula as classes de alturas normalizadas no intervalo $[0, \dots, 1]$. Ao selecionar uma altura específica, com 100% de presença, o algoritmo de busca calculará as sugestões orquestrais com a maior presença da altura musical escolhida. Caso o usuário/compositor escolha por não utilizar a restrição de presença de uma altura musical, o algoritmo de busca realizará a seleção das MS aleatoriamente. Esta tarefa foi realizada com a utilização da função *urn*, do Pure Data. A seguir, a Figura 2.24 ilustra o ambiente de interação do módulo 2, no qual definimos a quantidade de sugestões sonoras, a altura musical específica e a sua porcentagem de presença.



Ex. 2.24: Ilustração do Módulo 2 do sistema *SSC*.

2.4.3 Módulo 3 - O Algoritmo de Orquestração das Sonoridades

A próxima etapa do nosso sistema de orquestração relaciona-se com a processamento dos dados coletados do banco de dados sonoros e da pertinência da altura musical. O algoritmo que desenvolvemos realiza uma sobreposição de arquivos de áudio. Essa etapa é realizada com o uso do objeto *tabletool*, da biblioteca *TimbreID*, desenvolvida por William Brent⁴. Cada arquivo de áudio é editado para que a sobreposição possua a mesma duração de tempo. Isso garante que os arquivos de áudio sejam analisados com o mesmo tamanho de dados. Para isso, utilizamos o objeto *min*, do Pure Data, que identifica a menor janela de dados coletados. As sobreposições são renderizadas e armazenadas em tabelas que serão analisadas pelos descritores de áudio. A Figura 2.25a apresenta o algoritmo de sobreposição dos registros de áudio, definidos pelo Módulo 1. Na Figura 2.25b, representamos o *corpus* das sobreposições de registros de áudio.



Ex. 2.25: Representação do algoritmo de sobreposição dos registros sonoros. Na Figura 2.25a, o processo é realizado pelo objeto *tabletool*, da biblioteca *TimbreID*. Na Figura 2.25b, as sobreposições são armazenadas no *corpus* denominado *mixture_II*. Esse *corpus* será analisado pelos descritores de áudio, no Módulo 4.

⁴Para mais informações sobre a biblioteca de análise *TimbreID*, ver: <http://williambrent.conflations.com/pages/research.html>. Data de acesso: 08/12/2015

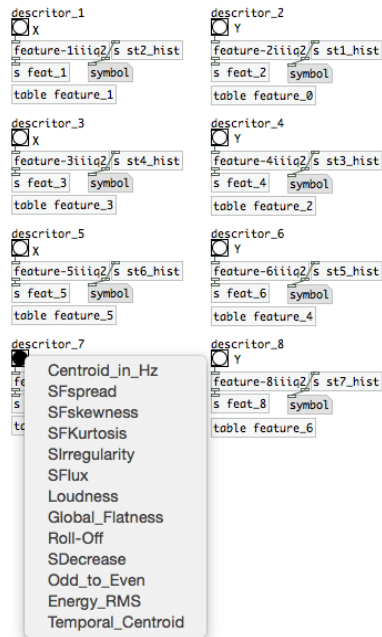
2.4.4 Módulo 4 - Seleção dos Descritores de Áudio

Após estabelecer o *corpus* de misturas sonoras, selecionamos os descritores de áudio para realizar as análises sonoras. No total, utilizamos um conjunto de quatro pares de descritores, que serão dispostos em um espaço bidimensional. Como discutido na Seção 2.2, os descritores de áudio reduzem informação extraída do espectro sonoro a uma função unidimensional de análise. Contudo, como discutimos na Introdução Geral, o timbre é uma característica sonora da qual possui diversas dimensões paramétricas. Para ampliar o ambiente de análise e expandir as características sonoras analisadas, definimos um conjunto de oito descritores de áudio. Tal ferramenta possibilitou um refinado detalhamento de diversas características sonoras. Na Seção 2.2 apresentamos os descritores de áudio disponíveis no estágio atual do nosso sistema. A Tabela 2.4 ilustra os descritores de áudio disponíveis no ambiente *SSC*:

Descritor de Áudio	Seção
Centroide Espectral	Subseção 2.2.1
Desvio Padrão Espectral	Subseção 2.2.2
Obliquidade Espectral	Subseção 2.2.3
Curtose Espectral	Subseção 2.2.4
Fluxo Espectral	Subseção 2.2.5
Nivelamento Espectral	Subseção 2.2.6
Irregularidade Espectral	Subseção 2.2.8
Roll-Off Espectral	Subseção 2.2.9
Razão entre Componentes Ímpares e Pares	Subseção 2.2.10
Energia RMS	Subseção 2.2.11
<i>Loudness</i>	Subseção 2.2.12
Taxa de Cruzamento por Zero	Subseção 2.2.13
Decrescimento Espectral	Subseção 2.2.14
Centroide Temporal	Subseção 2.2.15
Croma	Subseção 2.2.16

Tabela 2.4: Tabela com a lista dos descritores de áudio disponíveis no sistema de orquestração assistida por computador - *SSC*.

Na versão atual do sistema *SSC* é possível selecionar um total de oito descritores de áudio. Como destacado no início da Subseção 2.4.4, selecionamos um conjunto de quatro pares de descritores que analisarão as misturas sonoras elaboradas no Módulo 3. A Figura 2.26 ilustra o ambiente de seleção do conjunto de quatro pares de descritores. As indicações “x” e “y”, abaixo de cada sinalização do descritor, representam a sua disposição na interface de exploração das Misturas Sonoras, realizadas pelo Módulo 3.



Ex. 2.26: Ilustração do Módulo 4 do sistema *SSC*, no qual é possível selecionar o conjunto de quatro pares de descritores de áudio, que analisarão as misturas sonoras.

2.4.5 Módulo 5 - Análise das Misturas Sonoras

No módulo 5, realizamos a análise das misturas sonoras via descritores de áudio. Para tanto, utilizamos descritores de áudio baseados em algoritmos adaptados da biblioteca *PDescriptors*, desenvolvida no NICS/UNICAMP (Monteiro 2012). Calculamos a média dos valores extraídos de cada descritor de áudio. Essas médias são acumuladas em uma lista de dados que serão dispostos no espaço de exploração e pesquisa. A Figura 2.27a representa um dos quatro pares de descritores de descritores escolhidos no módulo 4. Nesta *patch* os dados de análise são coletados. As médias dos dados são armazenadas no submódulo *pd acum-symbol*. Essas médias serão dispostas no espaço de exploração, que será descrito no Módulo 6.

2.4.6 Módulo 6 - Criação do Espaço de Exploração das Misturas Sonoras

Neste módulo, implementamos uma interface gráfica para que o compositor/usuário possa interagir, explorar e selecionar as misturas sonoras analisadas do ponto de vista dos descritores de áudio. Implementou-se os recursos da biblioteca de manipulação gráfica GEM (*Graphics Environment for Multimedia*). Com GEM é possível gerar e manipular gráficos 2D e 3D, animações, imagens e vídeos. A interface gráfica do *SSC* possibilita a visualização dos quatro pares de descritores de áudio. O módulo 6 possibilita ainda a escuta das mis-

2.4.7 Módulo 7 - Seleção das Misturas Sonoras e Formatos de Exportação dos Resultados

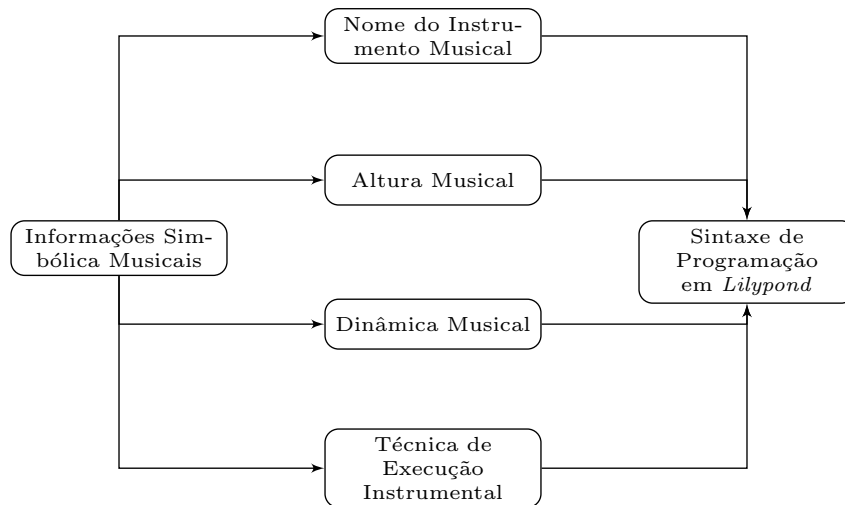
O módulo 7 relaciona-se com os formatos de saída do sistema *SSC*. Há dois formatos específicos para o armazenamento das misturas sonoras: a) arquivo de áudio renderizado e b) partitura gráfica com as informações musicais simbólicas. Do ponto de vista do arquivo de áudio, a mistura sonora selecionada é renderizada em formato *.aif*. A etapa de geração da partitura gráfica é realizada pelo objeto externo do PD, denominado *notes* e desenvolvido pelo *Waverly Labs*, da *New York University - NYU*⁵. De acordo com a descrição do *notes*, o objeto foi desenvolvido para não produzir partituras finais, fornecendo ao usuário uma ferramenta computacional de assistência à composição musical em Pure Data⁶. Este objeto interpreta os dados coletados do ambiente PD e os converte em linguagem de notação gráfica musical, em *Lilypond*⁷. Os dados simbólicos que serão convertidos em notação musical devem estar configurados na sintaxe particular do *Lilypond*. Para mais informações sobre a sintaxe adequada de comunicação entre o ambiente PD e o *notes*, consultar a ajuda do objeto. O módulo que interpreta os dados simbólicos para a transcrição musical denomina-se *score.ssc1.pd*. Nele, criamos o objeto *inst*, no qual inserimos os dados de “nome do instrumento musical”, “altura musical”, “dinâmica” e “técnica instrumental”. Cada instrumento musical do banco de dados sonoros possui seu próprio objeto *inst*. Portanto, há 17 objetos *inst*. Em geral, o algoritmo recebe uma mensagem com as informações simbólicas musicais da sobreposição dos registros sonoros. O objeto *inst* direciona cada informação para cada um dos seus submódulo. O submódulo interpreta o dado específico e o converte na sintaxe de programação do *Lilypond*. A próxima etapa cria uma mensagem única com todas as informações que serão interpretadas pelo *notes*. O diagrama da Figura 2.29 resume as etapas de conversão das informações musicais em sintaxe *Lilypond*.

Na versão atual do ambiente *SSC*, desconsideramos as informações temporais das sonoridades orquestrais. Cada interação produzirá apenas uma configuração orquestral com duração previamente estabelecida. A Figura 2.30a ilustra a *patch* à qual possibilita a armazenar a mistura sonora selecionada em formato de áudio ou em formato de partitura, em *lilypond*. Na Figura 2.30b, representamos um exemplo da partitura da mistura sonora selecionada.

⁵Para mais informações, acessar: <http://nyu-waverlylabs.org/notes/>. Data de acesso: 27/11/2015.

⁶*The notes external for Pure Data was conceived as an aid for computer assisted composition (CAC), generative music, and other places where traditional music notation might come useful. It is not designed to produce final scores although this is conceivable. I often go to lilypond and edit, copy, combine and modify scores in various ways.* Tradução nossa

⁷<http://www.lilypond.org>



Ex. 2.29: Diagrama das etapas de conversão das informações musicais, dos registros sonoros, para a sintaxe da programação em *Lilypond*.

(a)

(b)

Ex. 2.30: Ilustração do Módulo 7 do sistema *SSC*, ao qual seleciona a mistura sonora e armazena-a em formato de áudio, *.aif* e em formato de notação musical, em formato *lilypond*. A Figura 2.30a representa a *patch* de interação com o módulo 7. A Figura 2.30b ilustra a partitura de uma mistura sonora selecionada.

2.4.8 Esquema Geral da Arquitetura do Sistema de Orquestração Assistida por Computador - *Sound Shizuku Compostion - SSC*

A Seção 2.4 descreve os passos de interação do ambiente de orquestração musical assistida por computador. Essa interação abrange tanto a tomada de decisões ponderada pelas próprias preferências e experiências do usuário/compositor quanto o processamento algorítmico e o fluxo de dados computacionais. Este procedimento, como definido na Seção 1.2.1

do Capítulo 1, relaciona-se com ambientes computacionais de assistência à composição e orquestração musical, dos quais devem amplificar e expandir as capacidades do compositor e não substituí-la. Os ambientes de assistência à composição devem estabelecer espaços de interação entre os seus paradigmas e as particularidades com a formalização das estruturas e os processos relacionados com a escritura musical. Todavia, o levantamento bibliográfico dos ambientes computacionais de assistência à orquestração compartilham de um objetivo comum, independente de seus procedimentos metodológicos: a busca por melhores soluções orquestrais a partir de uma sonoridade de referência ou “timbre-alvo” (Carpentier 2008, pg. xvii). Dada uma sonoridade de referência, como um arquivo de áudio ou um som sintetizado, os ambientes computacionais calculam sugestões orquestrais que “imitam” a sonoridade de referência pela mistura de instrumentos tradicionais (Harvey et al. 2009, pg. 279). No *Orchidée*, apresentado na Seção 1.2.2 do Capítulo 1, a análise sonora é realizada com alguns descritores⁸ para sugerir sonoridades orquestrais cujas características podem ser comparadas com as características do próprio “timbre-alvo”. Portanto, os ambientes computacionais de assistência à orquestração, que utilizam o conceito de “timbre-alvo”, restringem as possibilidades de abstração das configurações orquestrais. No *Orchidée*, por exemplo, todas as sonoridades ficam restritas à uma sonoridade previamente definida ou conceitualmente estabelecida.

No ambiente *SSC*, as possibilidades orquestrais resultam da interação das análises dos descritores de áudio com a própria percepção de seus potenciais correlatos semânticos. Como apresentado neste Capítulo 2, o timbre sonoro possui diversas características perceptivas que podem estar intrinsecamente associadas ou ortogonalmente diferentes. As ferramentas de análise sonora descrevem determinados aspectos que podem ressaltar uma ou mais características específicas, correlatas com os atributos subjetivos de percepção timbrística. O sistema *SSC* possui um algoritmo de análise que abrange um conjunto total de quatro pares de descritores de áudio. Essa particularidade do sistema amplia e refina a complexa tarefa de analisar as diversas características perceptivas das sonoridades orquestrais. A seguir, em perspectiva, listamos os principais passos que se relacionam com os módulos do ambiente *SSC*, descritos nas seções anteriores:

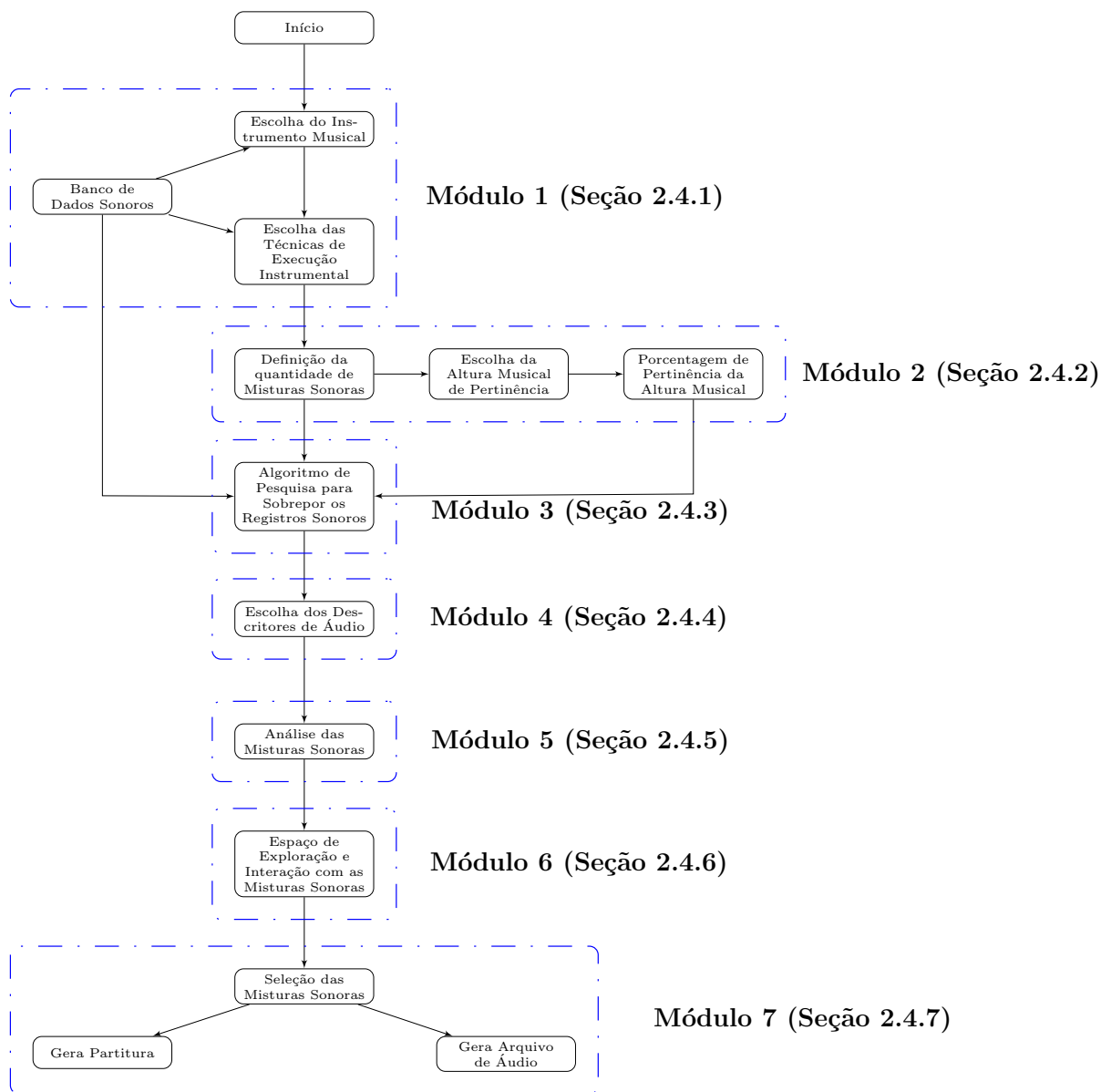
- Módulo 1 - Seleção dos instrumentos musicais e as técnicas instrumentais desejadas
- Módulo 2 - Definição da quantidade de sugestões orquestrais para ser analisadas pelos descritores de áudio. Neste módulo é possível selecionar altura musical de maior pertinência para a elaboração das misturas orquestrais. Caso o usuário escolha por não enfatizar uma altura musical específica, o algoritmo realiza misturas aleatoriamente

⁸Os descritores de áudio utilizados no *Orchidée* relacionam atributos musicais, como “variáveis simbólicas”, tais como instrumentos, dinâmicas, dentre outros; e “características perceptivas”, tais como *brightness*, *roughness*, etc.

- Módulo 3 - Cálculo do algoritmo de orquestração das sonoridades
- Módulo 4 - Seleção dos descritores de áudio
- Módulo 5 - Análise das sonoridades via descritores de áudio
- Módulo 6 - Interação e escolha das misturas sonoras dispostas na interface gráfica
- Módulo 7 - Seleção dos formatos de saída das misturas sonoras em formato de áudio e em partitura musical

A Figura 2.31 representa o esquema geral da arquitetura do nosso sistema de orquestração assistida por computador.

O Capítulo 2 apresentou uma nova estratégia sobre composição e a orquestração do vasto universo sonoro das técnicas de execução musical. O trabalho de pesquisa possibilitou o diálogo da análise formal e estatística do fenômeno sonoro com as definições conceituais, estéticas e subjetivas com as quais o compositor pode se utilizar para o seu processo de composição e escritura musical. Na Seção 2.1 apresentamos a arquitetura da nossa proposta de metodologia de análise sonora e orquestração musical. Nesta arquitetura, apresentamos as cinco etapas do nosso processo criativo. Na Seção 2.2 discutimos os descritores de áudio utilizados no nosso ambiente de análise e orquestração. No total utilizamos dezesseis descritores de áudio. O estudo dos descritores forneceu subsídios técnicos para realizar as análises das obras do repertório dos compositores apresentados no Capítulo 1. Apresentamos tais análises, a seguir, no Capítulo 3. Na Seção 2.3 apresentamos o banco de dados contendo as registros sonoros de diversos instrumentos musicais com diversas técnicas de execução instrumental. Por fim, na Seção 2.4, discutimos o nosso ambiente computacional de análise e orquestração musical com a utilização de descritores de áudio. O nosso sistema de orquestração *Sound Shizuku Composition - SSC* foi utilizado em diversos experimentos composicionais, dos quais três, em particular, serão discutidos no Capítulo 4.



Ex. 2.31: Esquema geral da arquitetura do sistema de orquestração assistida por computador - *Sound Shizuku Composition - SSC*.

Capítulo 3

Diálogos Analíticos com Descritores de Áudio

O começo de todas as ciências é
o espanto de as coisas serem o
que são

Aristóteles

O parágrafo final da Seção 1.1 destacou a importância do trabalho de análise musical, realizado diretamente pela partitura, e dos ambientes computacionais de análise musical por intermédio das possibilidades técnicas implementadas pela comunidade MIR. O conhecimento científico estreita as relações com o pensamento artístico e, por consequência, com o musical. Frente a possibilidade de utilizar-se o próprio som como um modelo para composição ou uma sonoridade como um elemento potente da obra, a composição musical que se sustenta nesse substrato pode se beneficiar de ferramentas de análise computacional denominadas de descritores de áudio. No Capítulo 3, apresentamos três recortes de análise dos procedimentos composicionais implementados nas obras de três compositores distintos: o primeiro movimento das *Quattro Pezzi per Orchestra*, do compositor italiano Giacinto Scelsi; *Pression, Guero, Dal Niente (Intérieur III)*, do compositor alemão Helmut Lachenmann e; *Reflexões*, do compositor brasileiro Jônatas Manzolli. O desenvolvimento de pesquisa de análise, relacionado com os procedimentos composicionais, serviu como “referências” e, a partir delas, desenvolvemos estudos composicionais, dos quais apresentamos no Capítulo 4.

3.1 Giacinto Scelsi

O compositor italiano Giacinto Scelsi (1905 – 1988) possui características composicionais distintas às quais, no período da concepção das *Quattro Pezzi per Orchestra*, apresentam-se mais acentuadamente. Essas podem ser descritas como: o alargamento do tempo; a simplificação da linha melódica até a projeção da dimensão das alturas sobre uma nota só e;

a introdução gradual de inflexões microtonais (Zuben 2005, pp. 119). Como destacado na Seção 1.1, do Capítulo 1, o compositor desenvolveu seu projeto composicional com o objetivo de extrapolar as particularidades da notação simbólica, de uma partitura, face a complexidade timbrística de uma única nota musical. Há ainda, por parte do trabalho composicional de Scelsi, a sensibilização das microvariações dos elementos timbrísticos, explorando os movimentos internos do som por meio de procedimentos que atuam sobre densidades, articulações, ataques, dinâmicas, ritmos, microflutuações de altura, glissandos, entre outros. Scelsi compõe diretamente sobre os elementos que constituem e “deformam” o espectro sonoro (Elezovic 2007, pp. 03).

A motivação principal da análise do primeiro movimento das *Quattro Pezzi per Orchestra* é realizar um trabalho colaborativo entre a partitura e o suporte computacional, para identificar dois aspectos significativos da obra de Scelsi: *a)* percepção de brilho, ponderados pela presença de determinados instrumentos ou mesmo pela mudança timbrística a partir de técnicas de execução instrumental. Para a variação de brilho, utilizamos os descritores de centroide espectral e *loudness*; *b)* a variação de pertinência junto à percepção da nota musical predominante no objeto de análise. No caso particular do primeiro movimento, a nota musical predominante é *Fá*. Para realizar a etapa de análise estabelecida em *b)*, utilizamos o descritor croma espectral. Na Seção 3.1.1, introduzimos as principais características composicionais da obra de Scelsi.

3.1.1 O Primeiro Movimento das *Quattro Pezzi per Orchestra*

A obra *Quattro Pezzi per Orchestra* (1959) possui quatro movimentos distintos, os quais compartilham o mesmo objetivo composicional: transformações timbrísticas, predominantemente a partir de uma única nota musical¹. Essas ocorrem pela mudança em instrumentação, ritmos e métrica ou, ainda, por técnicas de execução, modos de ataque e articulação específicos de cada instrumento. Vale ressaltar que Scelsi utiliza-se também de microtonalidade como forma de enriquecer o espectro. Em *Quattro Pezzi per Orchestra*, Scelsi demonstra que uma “única nota” não é insípida ou simples mas complexa e dinâmica.

Scelsi explora as mudanças de instrumento ou mesmo os diversos modos de ataque e técnicas de execução instrumental de forma a ressaltar os diferentes aspectos do comportamento do espectro de frequência de uma única nota musical. De certa forma, em *Quattro Pezzi per Orchestra*, Scelsi utiliza-se de um modelo de modulação no sentido de tomar uma nota (não altura, pois a nota pode ser tocada em diferentes oitavas – consequentemente diferentes alturas), a qual pode ser interpretada como o sinal portador com a qual modula-se

¹É importante ressaltar que, apesar do projeto composicional de Scelsi desenvolver-se sob a ótica de uma “nota apenas”, há momentos dos quais o compositor utiliza-se de inflexões intervalares, tais como segundas e terças menores, ascendentes e descendentes. Contudo, o universo sonoro estabelecido pelo compositor é, de fato, norteado pela nota *Fá*

por intermédio de um sinal timbrístico e variante no tempo. Pode-se afirmar em uma “onda timbrística”: o sinal modulando a nota portadora constantemente.

Do ponto de vista macroestrutural, a presença dos instrumentos de metais define a forma da obra de Scelsi. A quantidade de instrumentos de metais e a intensidade sonora à qual os instrumentos estão sendo executados, estabelece os pilares estruturais da forma musical do primeiro movimento das *Quattro Pezzi per Orchestra*. Os instrumentos de metais modificam substancialmente a percepção de *loudness* na peça, especialmente, pela natureza das curvas de envelope espectral dos seus formantes. Como discutido na Seção 2.2.9 do Capítulo 2, da curva de magnitude dos componentes espectrais de instrumentos de metais, quando tocados em dinâmica *ff*, apresentam declividade de *rolloff* e de *cutoff* semelhantes, fator este que resulta na percepção de brilho e penetração sonora. Em sua análise dos envelopes espectrais de diversos instrumentos musicais, Manzolli destaca as diferenças perceptivas de sonoridades em dinâmicas *pp* e em *ff* (Manzolli 1988, pg. 47).

Para enfatizar a estrutura formal, estabelecida pelo *loudness*, Scelsi altera a percepção do timbre desses pilares ao empregar técnicas instrumentais específicas de cada instrumento, como *tremolo* nas cordas ou com a utilização de *sordinas*, nos metais. Tal procedimento amplia as possibilidades timbrísticas dentro de um âmbito espectral restrito e previamente estabelecido. Na próxima Seção 3.1.2, apresentamos a nossa proposta de análise da obra.

3.1.2 Procedimento de Análise

A primeira etapa do processo de análise centrou-se em segmentar a gravação sonora do primeiro movimento das *Quattro Pezzi per Orchestra* em curtos e distintos arquivos de áudio. A gravação utilizada foi a comercialmente disponibilizada pela gravadora ACCORD, sob a regência de Jürg Wyttenbach² e possui os seguintes parâmetros: 16 Bits, 44.110 Hz com duração de 02 minutos e 51 segundos. Para realizar a segmentação sonora, utilizou-se o software *Audacity*³. Tal procedimento permitiu extrair informações mais consistentes da estrutura global da obra a partir de cada segmento sonoro. Como suporte para a segmentação do áudio, utilizou-se a partitura original da obra (Scelsi 1983). Tal procedimento permitiu-nos parear os elementos simbólicos encontrados na partitura com os segmentos de áudio. Uma análise inicial da partitura demonstra que há distintos agrupamentos de alturas, articulações e inflexões microtonais. A demarcação desses pontos guiou a segmentação sonora, como por exemplo: o ataque ou a entrada de um instrumento musical específico, o comportamento dinâmico das intensidades musicais e os diversos modos de articulação e técnicas instrumentais. Cada segmento sonoro do áudio foi relacionado aos parâmetros e as alterações supracitadas. A Figura 3.1 ilustra três momentos distintos os quais representam alguns dos pontos de transformação musical, onde *a*) entrada de instrumentos; *b*) comporta-

²Para mais informações, ver <http://goo.gl/fhPJct>. Data de Acesso: 15/07/2015

³Disponível em: <http://audacity.sourceforge.net/>. Data de Acesso: 15/07/2015

mento dinâmico de intensidades musicais e, *c*) modos de articulação instrumental. No total, definiu-se 36 segmentos apresentados na Tabela 3.1.



Ex. 3.1: Três comportamentos musicais distintos, que estabeleceram os critérios de segmentação. Figura *a*) entrada de instrumentos; *b*) comportamento dinâmico de intensidades musicais e; *c*) modos de articulação instrumental. Os números, inseridos nos quadrados, representam o número do compasso na partitura.

Segmento	na partitura	Segmento	na partitura
1	cps.: 01 - 02	19	cps.: 19 - 19
2	cps.:05 - 05	20	cps.: 19 - 19i
3	cps.:05 - 07	21	cps.: 20 - 20
4	cps.: 07 - 08	22	cps.: 20 - 20i
5	cps.: 08 - 10	23	cps.: 21 - 21
6	cps.: 10 - 11	24	cps.: 21 - 22
7	cps.: 11 - 12	25	cps.: 22 - 25
8	cps.: 12 - 12	26	cps.: 25 - 27
9	cps.: 12 - 12i	27	cps.: 27 - 28
10	cps.: 12i - 12ii	28	cps.: 28 - 30
11	cps.: 12ii - 13	29	cps.: 30 - 31
12	cps.: 13 - 13	30	cps.: 31 - 31
13	cps.: 13 - 13i	31	cps.: 31 - 32
14	cps.: 13i - 13ii	32	cps.: 32 - 33
15	cps.: 13ii - 14	33	cps.: 34 - 35
16	cps.: 14 - 17	34	cps.: 36 - 37
17	cps.: 17 - 18	35	cps.: 38 - 39
18	cps.: 18 - 19	36	cps.: 01 - 02

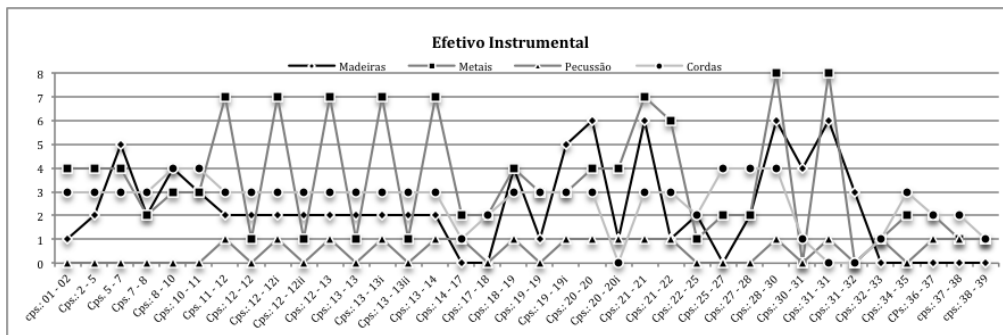
Tabela 3.1: Tabela com os trinta e seis segmentos sonoros do Primeiro Movimento das *Quattro Pezzi per Orchestra*.

Estabelecida a segmentação, realizamos duas etapas de análise musical, na qual a primeira considerou-se a partitura, concentrando-se no efetivo instrumental e nas dinâmicas musicais

simbólicas, em cada segmento sonoro. A etapa conseguinte concentrou-se em extrair as informações estatísticas adquiridas por intermédio dos descritores de áudio. O procedimento de extrair informações musicais, por intermédio dos aspectos determinados pelos descritores de áudio, forneceu dados significativos para desenvolvermos a análise musical com suporte de distribuições estatísticas vinculada e medida por descritores de áudio, como demonstrado na Seção 3.1.3.

3.1.3 Resultados e Análise dos Dados

Como discutido anteriormente, na Seção 3.1.2, a primeira etapa de trabalho, à qual considerou a análise a partir da partitura, centrou-se no efetivo instrumental em cada segmento sonoro. A Figura 3.2 apresenta a quantidade de instrumentos, eixo “y”, de cada naipe orquestral, aos quais estão representados pelas seguintes marcações: “losango” para madeiras; “quadrado” para metais; “triângulo” para a percussão e; “círculo” para as cordas:



Ex. 3.2: Gráfico com a quantidade de instrumentos musicais de cada segmento sonoro.

A variação de intensidades sonoras de instrumentos tocando em uníssono ou com diferença em microtons se relaciona com um fator importante na análise do *loudness*, na qual não se percebe a variação dessas intensidades de forma linear mas proporcional à raiz cúbica do número de instrumentos de mesmo naipe (Manzoli 1988, pg. 21). Esse conceito foi discutido por Manzoli ao relacionar a variação de intensidade sonora de instrumentos orquestrais com a Equação de Stevens (Manzoli 1988, pg. 22). Portanto, dado um conjunto orquestral com N naves de instrumentos, cada um com n_i elementos e constantes $C_i (i = 1, \dots, N)$, define-se *Loudness de Naves Superpostos*, denotado por L_n , como:

$$L_n = \sum_{i=1}^N C_i \sqrt[3]{n_i} \quad (3.1)$$

onde, $L = Loudness$, $C = constante$ que depende do instrumento e $n = número$ de instrumentos do naipe (Manzoli 1988, pg. 23).

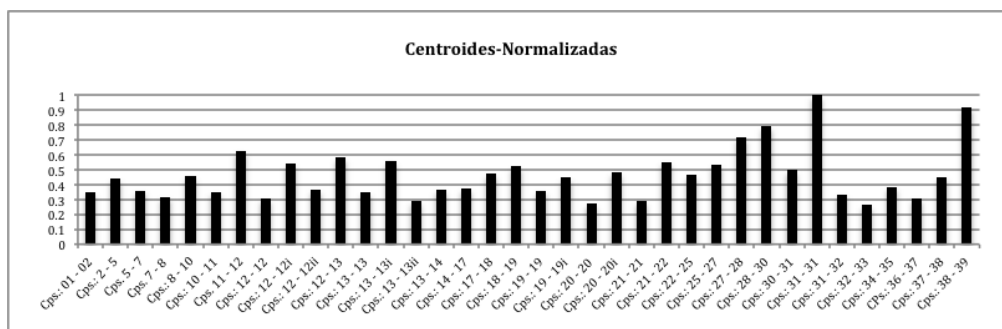
Identificamos e categorizamos as dinâmicas musicais, de cada segmento sonoro. Este procedimento, de extração da informação simbólica de intensidade sonora, relaciona-se com o *loudness*, cujos dados foram extraídos a partir da gravação sonora. A Tabela 3.2 ilustra o comportamento das intensidades sonoras de cada instrumento, em cada segmento sonoro:

	01 - 02	2 - 5.	5 - 7.	7 - 8.	8 - 10.	10 - 11	11 - 12	12 - 12.	12 - 12i	12 - 12ii	12 - 13.	13 - 13.	13 - 13i	13 - 13ii	13 - 14.	14 - 17.	17 - 18.	18 - 19.
Flauta em Sol			mp	mp			f	pp	ff	pp	ff	mp	ff	mp	mf			
Oboe			f															mp
Corne Inglês																		mp
Clarinete I	mf	pp			mp	mf												mf
Clarinete II		mf	mf		mp	mf												
Clarone			mp	mp	mp	mf												mf
Trompa I			mp	p			mp	mp	mp	mp	mp	mp	mp	mp	mp	mp		mf
Trompa II			mp	p			f		ff		ff		ff		f			
Trompa III	mf	pp	f		mp	mp	f		ff		ff		ff		f	pp	p	
Trompa IV	mf	mf	f		mp	mp	f		ff		ff		ff		f			
Sax			f		p		f	p	ff	p	ff	mp	ff	mp	f			
Trompete I	mf	pp					f		f		ff		f		mf		mp	mf
Trompete II	mf	mf																mf
Trombone I					mp	mp	f		f		f		f		mf			
Trombone II							f		f		f		f		mf			
Tuba																		mf
Percussao																	p	mp
Tímpano							f		f		f		f		mp			
Viola I	mf	p	f	mp	mp	mf	f	mp	ff	mp	ff	mp	ff	mp	f		mp	mp
Viola II	mf	mf	f	mp	mp	mf	f	mp	ff	mp	ff	mp	ff	mp	f		mp	mp
Violoncelo	mp	mp	f	mp	mp	mf	f	p	ff	p	ff	mp	ff	mp	f	p		
Contrabaixo					mp	mf												f
	19 - 19.	19 - 19i	20 - 20.	20 - 20i	21 - 21.	21 - 22.	22 - 25.	25 - 27.	27 - 28.	28 - 30.	30 - 31.	31 - 31.	31 - 32.	32 - 33.	34 - 35.	36 - 37.	37 - 38.	38 - 39.
Flauta em Sol				ff	f													
Oboe		f	f		f					ff		fff						
Corne Inglês		f	f		f					ff		fff						
Clarinete I		f	f				f			ff	f	f	f					
Clarinete II		f	f		f					ff	f	f	f					
Clarone	mf	f	f		f				p	ff	f	f	f					
Trompa I				f	f	f				fff		fff			p	mp		
Trompa II				f	f	f				fff		fff						
Trompa III				f	f	f				fff		fff					p	p
Trompa IV				f	f	f				fff		fff					p	
Sax			f		f	f			pp	ff	ff	fff						
Trompete I	mf	mf	mf			f	mp			ff		fff						
Trompete II	mf		mf		f			pp	pp	ff		fff						
Trombone I		mp	mf		f	f		pp	pp			fff						
Trombone II										f		fff						
Tuba	mf	f	f		ff					ff				mp	pp			
Percussao		mp	mp	mf	mf	mf				f		f						
Tímpano														mp		mp	mp	p
Viola I	ff	ff	ff		ff	ff	mp	p	p	f					p			mp
Viola II	ff	ff	ff		ff	ff	mp	p	p	f					p			
Violoncelo								p	p	ff					p	mp	mp	
Contrabaixo	f	f	ff		f	mp		p	p	ff	f			mp		mp	mf	

Tabela 3.2: Três comportamentos musicais distintos. Os números, inseridos nos quadrados, representam o número do compasso na partitura.

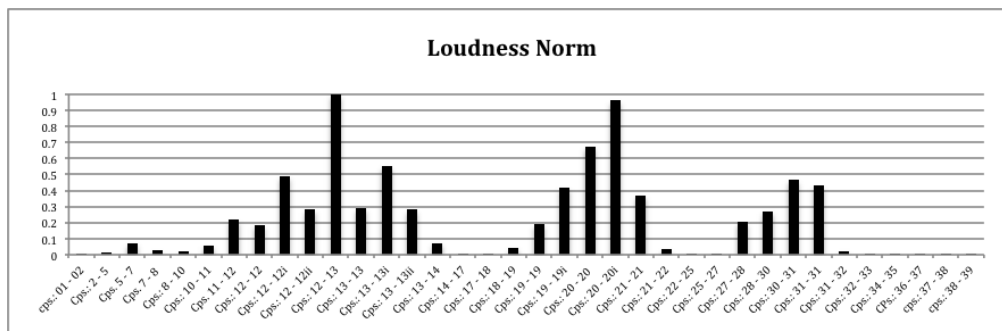
Os próximos resultados foram coletados a partir da extração de dados via descritores de

áudio. Utilizamos os descritores de áudio denominado como centróide espectral e *loudness*. A Figura 3.3 apresenta os dados, normalizados, de centroide espectral da segmentação sonora, onde o valor “1” representa o índice de centroide espectral mais alto:



Ex. 3.3: Histograma do comportamento da centroide espectral de cada segmento sonoro

A seguir, na Figura 3.4, apresentamos os valores, normalizados, em *loudness*, de cada segmento sonoro. Pelas características deste descritor, o valor mais alto indica a percepção da maior intensidade sonora:



Ex. 3.4: Histograma de *loudness* da segmentação sonora das *Quattro Pezzi per Orchestra*.

Pelos resultados obtidos, percebemos uma proeminente relação dos dados extraídos a partir da gravação sonora, i.e., *loudness* e centroide espectral, com algumas características simbólicas, a partir da análise da partitura, como o efetivo instrumental e as intensidades musicais. Não obstante, é possível definir três agrupamentos distintos de segmentos sonoros, ilustrados na Tabela 3.3.

Pelos dados da Figura 3.4, os três agrupamentos são aqueles os quais possuem altos valores com relação ao *loudness*:

A Figura 3.3, à qual apresenta o histograma com as informações relacionadas com o centroide, denota como os três agrupamentos possuem os valores mais altos de toda segmentação. Em particular, os segmentos sonoros ilustrados pela Figura 3.5 são aqueles os quais

	Grupo I	Grupo II	Grupo III
Segmentos Sonoros (compassos)	de 07 a 15 (Cps.: 11 – 12 até Cps.: 13 – 14)	de 18 a 24 (Cps.: 18 – 19 até Cps.: 21 – 22)	de 27 a 30 (Cps.: 27 – 28 até Cps.: 21 – 31)

Tabela 3.3: Tabela com o agrupamento dos principais segmentos sonoros do ponto de vista da estrutura formal do Primeiro Movimento das *Quattro Pezzi per Orchestra*.

	Grupo I	Grupo II	Grupo III
valor de <i>loudness</i> normalizado (Segmentos Sonoros)	1 (11º segmento)	0,96 (22º segmento)	0,47 (29º segmento)

Tabela 3.4: Tabela com os segmentos sonoros com maior valor em *loudness*.

apresentam os maiores valores, normalizados, em centroide espectral⁴.

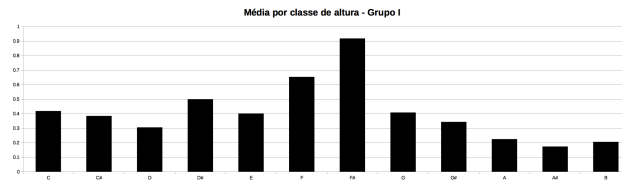
	Grupo I	Grupo II	Grupo III
Valor de centroide espectral dos segmentos sonoros	0.63; 0.54; 0.58; 0.56 e 0.38	0.29	0.79 e 1

Tabela 3.5: Índice de centroide espectral de cada segmento sonoro

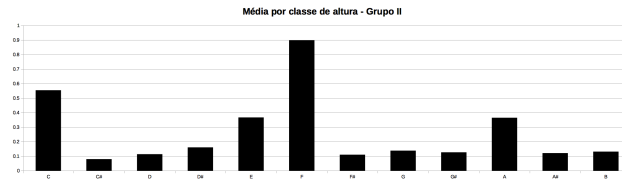
Considerando, ainda, os três agrupamentos destacados, analisamos a distribuição da energia do espectro sonoro com relação às classes de alturas musicais. Como estabelecido na motivação inicial do trabalho e, exposto na Seção 3.1, tal análise busca identificar a variação de pertinência junto à percepção da nota *Fá*, predominante em todo o percurso da obra. Para tanto, utilizamos o descritor croma, o qual relaciona-se diretamente com o objetivo do procedimento. Para avaliar os três agrupamentos, do ponto de vista do croma, calculamos os valores médios de cada uma das 12 classes de altura da escala cromática, para cada segmento sonoro. A Figura 3.5 apresenta o histograma dos três agrupamentos sonoros analisados.

A variação da média das alturas musicais nos três agrupamentos, indicada pela Figura 3.5, relaciona-se diretamente com a presença dos instrumentos de metais. Analisamos tal relação a partir do exposto na Figura 3.2. A presença destes instrumentos amplia a gama espectral do resultando timbrístico, não centrando-se somente nos primeiros componentes

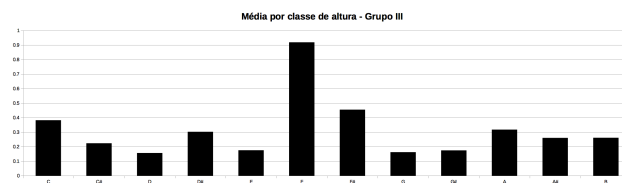
⁴Há uma particularidade com relação à 36ª segmentação, o último segmento sonoro, o qual possui um alto valor de centroide espectral, igual a 0.92. Relacionando-se com o final do primeiro Movimento das *Quattro Pezzi per Orchestra*, o excerto tende ao “silêncio”. Por este motivo, o último segmento sonoro retorna o alto valor de centroide espectral. Como consequência, esse segmento não foi considerado para o âmbito desta análise.



(a) Grupo I - Cps.: 11 – 12 até Cps.: 13 – 14



(b) Grupo II - Cps.: 18 – 19 até Cps.: 21 – 22

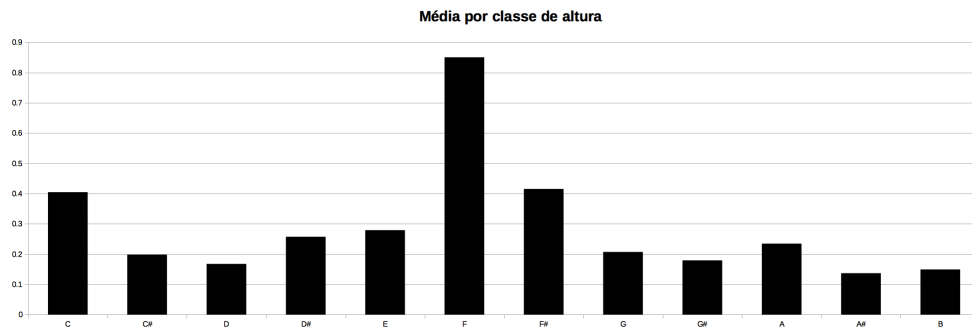


(c) Grupo III - Cps.: 27 – 28 até Cps.: 31

Ex. 3.5: Histogramas com a análise dos três agrupamentos, a partir do descritor cromático.

espectrais de *Fá*. Destaca-se o dado de maior energia em *Fá#*, no Grupo I, como apontado pela Figura 3.5a. Ressaltamos que a configuração da análise do cromático foi definida para identificar as 12 notas da escala cromática. No excerto do Grupo I, todos os instrumentos da orquestra tocam a nota *Fá* um quarto de tom acima e com *molto vibrato*. Tal aspecto contribuiu para a detecção da nota *Fá#* como a altura musical de maior energia no excerto. Por fim, realizamos a análise macroestrutural de toda a segmentação sonora. A Figura 3.6 apresenta o histograma da média dos valores de cada nota musical, durante todo o primeiro movimento da obra de Scelsi. A ênfase, como esperado, ressalta a nota musical de referência, trabalhada por Scelsi, i.e., *Fá*. A análise sonora, demonstra a relação dos picos das médias das classes de alturas com os componentes espectrais de *Fá*, tais como seu o terceiro componente *Dó*, o quinto componente *Lá*, o sexto componente *Si* e o sétimo componente *Ré#* ou *Mib*.

As etapas do processo de análise forneceram dados significativos para discutir aspectos do planejamento composicional de Scelsi, a partir dos objetivos estipulados no início da Seção 3.1. Conseguimos elaborar algumas conclusões acerca dos objetivos propostos com os resultados obtidos. Na Seção 3.1.4, apresentamos as nossas conclusões relacionadas com o trabalho de análise desenvolvido.



Ex. 3.6: Histograma da pertinência de cada nota musical a partir da análise, via croma, dos segmentos sonoros do primeiro Movimento das *Quattro Pezzi per Orchestra*.

3.1.4 Discussão e Conclusão

O principal aspecto analisado no Primeiro Movimento das *Quattro Pezzi per Orchestra* centrou-se na variação timbrística de uma nota musical. Uma versão do trabalho foi publicada no *14º Simpósio Brasileiro de Computação Musical*, em (Simurra et al. 2013). Tomando por base toda trajetória do trabalho de análise, podemos comprovar duas características marcantes acerca da análise da percepção de brilho do som: *a)* a presença de instrumentos de metais e *b)* a percepção de intensidade sonora alta. Nas *Quattro Pezzi per Orchestra*, percebe-se momentos de alto índice de brilho mesmo com o âmbito restrito à uma nota musical. No primeiro movimento, o limite na região aguda não ultrapassa a nota $F\acute{a}_4$, cuja frequência sonora aproxima-se a 349 Hz. Do ponto de vista do comportamento espectral, essa característica sinaliza, independente da fundamental executada pelo instrumento de metal, um aumento na magnitude dos seus componentes espectrais mais agudos. A presença dos instrumentos de metais, como visto na análise via descritor croma, sinaliza a ampliação desses componentes, dos quais extrapolam o âmbito de $F\acute{a}$. Outro fator determinante na percepção do brilho é a presença de componentes ímpares na ressonância dos instrumentos de metais. Essa característica foi detectada na análise do croma, ilustrada pela Figura 3.6, destacando os componentes espectrais 3, 5, 6, 7 da nota $F\acute{a}$. No que tange à discussão sobre as intensidades sonoras como características estruturais da forma musical da obra, destacam-se três agrupamentos distintos cujo comportamentos assemelham-se a três curvas gaussianas amortecidas, Figura 3.4. Este é um resultado significativo na análise do primeiro movimento, pois há um *amortecimento* nas curvas dos grupos de segmentos sonoros. O primeiro grupo possui uma largura de banda maior e um pico, que representa um eixo central de simetria, com o maior valor entre os três grupos. No último agrupamento, por sua vez, a curva é a menor dentre todos, com a largura de banda mais estreita além de um pico de menor valor.

O projeto composicional de Scelsi ressalta aspectos dos quais não estão evidenciados somente no âmbito da partitura. Dada toda complexidade do universo sonoro do compositor,

desenvolvemos um estudo composicional tendo como referência o trabalho apresentado em toda Seção 3.1. Na obra, em questão, denominada *Lana Tai - no dia em que nasceu uma aquarela*, apoiamo-nos nas possibilidades de variação timbrística a partir de uma altura musical. Arbitrariamente, escolhemos utilizar a nota musical $R\acute{e}\#$, a qual pode-se relacionar com o sétimo componente espectral do $F\acute{a}$, do primeiro movimento da obra de Scelsi. A Seção 4.1, apresenta os principais aspectos do planejamento composicional de *Lana Tai - no dia em que nasceu uma aquarela*.

Do ponto de vista de projeto composicional, podemos afirmar que Scelsi ateu-se às variações timbrísticas de uma sonoridade tonal, tendo como referência uma altura musical. A seguir, em perspectiva, listamos os principais recursos técnicos utilizados pelo compositor:

- Mudança de registro da altura musical. A tessitura utilizada pelo compositor abrange a escala de $F\acute{a}_2$ a $F\acute{a}_4$;
- Possibilidades de orquestração, a partir do efetivo instrumental da obra. Há diversas possibilidades de combinação instrumental, dentro do âmbito de uma orquestra de câmara. O compositor utiliza uma variedade combinatória para alterar a percepção sonora resultante;
- Flutuações microtonais. Scelsi indicou a utilização de quartos de tom, tanto abaixo quanto acima, como recurso técnico de para alterar a percepção da altura musical utilizada.
- Mudança em articulação e técnicas instrumentais. No contexto das técnicas instrumentais, o compositor definiu um âmbito restrito de possibilidades. Scelsi solicitou apenas alguma das mais tradicionais técnicas instrumentais e articulações: *sul tasto*, *sul ponticello* e *flautando*, por exemplo.

Além da ampla gama dos recursos listados acima, uma alternativa à variação timbrística centra-se na utilização de técnicas instrumentais expandidas. As técnicas não convencionais de execução instrumental não ressaltam apenas aspectos relacionados com as mudanças de timbre ou a “cor” de um som. Tais procedimentos oferecem alternativas para a própria variação do ruído sonoro enquanto material de manipulação sonora e composicional. Neste sentido, o compositor alemão Helmut Lachenmann, contemporâneo a Scelsi, desenvolveu seu projeto composicional exatamente com a utilização de diversas técnicas expandidas instrumentais. A Seção 3.2 apresenta um recorte de análise do trabalho particular do compositor alemão.

3.2 Helmut Lachenmann

Os paradigmas recentes relacionados com a história da música ocidental moderna podem delinear uma trajetória da presença do ruído sonoro em composições de música instrumental ou acústica. Tal trajetória pode ser definida principalmente a partir do compositor italiano Luigi Russolo, o franco-italiano Edgard Varèse, o americano John Cage e, em especial, pelo projeto composicional do alemão Helmut Lachenmann. O compositor é justamente relacionado com o conceito de “música concreta instrumental”, à qual define-se como um paradigma e um conjunto de técnicas que não se consideram uma ferramenta composicional abstrata, tal como no estilo clássico-romântico. O ponto de partida da tipologia sonora proposta por Lachenmann, discutida brevemente na Seção 1.1 do Capítulo 1, inicia-se com a percepção acústica de sons individuais determinada pela própria fisicalidade dos instrumentos musicais, resultando em “sons estruturantes” ou “estrutura sonora”⁵ (Lachenmann 1995b, pg. 97). Durante a década de 1960, Lachenmann define sua metodologia composicional como *corpus* de materiais musicais de âmbito micro e macro-composicionais. Tais materiais se relacionam com a interação regulamentada por parâmetros determinados por considerações puramente acústicas e históricas resultando em complexidade sonora (Lachenmann 1995b, pg.93).

O projeto composicional de Lachenmann centra-se na própria “liberação sonora”, a partir da própria configuração física e acústica do instrumento musical⁶.

O termo “música concreta instrumental”, como apresentado no parágrafo acima, refere-se diretamente com a aceção sobre a “música concreta”, proposta por Pierre Schaeffer (Schaeffer 1957). Contudo, o projeto composicional de Lachenmann extrapola a pesquisa de Schaeffer por considerar os sons instrumentais como a própria informação sonora. Todo o universo sonoro, no qual Lachenmann está inserido, deriva das próprias interações instrumentais. O conceito de “música concreta instrumental” pode ser relacionado como a “experiência da energia sonora”, a “manifestação da energia do som” ou o mesmo a “expressividade da energia sonora” (Ryan 1999, pg. 21). No recente trabalho de análise realizado por Pierre-Yves Macé, discute-se as relacionadas com o conceito da “música concreta instrumental”, ao estabelecer que o compositor centra-se no processo de produção da própria energia sonora, um pouco além da dimensão de notas musicais simbólicas. Para isso, o compositor elaborou todo um vocabulário de técnicas instrumentais expandidas cujo desafio era expor o ruído sonoro instrumental (Macé 2015). Tal aspecto pode ser verificado em peças como *Pression*, para violoncelo solo (Lachenmann 1969) e *Guero*, para piano solo (Lachenmann 1970). Em tais peças, as técnicas instrumentais solicitadas, tais como “tocar no corpo do instrumento” e não indicar a execução de sons “tonais” convencionais podem ser visto, tal como o musicólogo

⁵ *structural sound* ou *sound structure*. Tradução nossa.

⁶ O conceito de “liberação do som” é rigorosamente relacionado com os desenvolvimentos da música de Helmut Lachenman. No entanto, tais questão extrapolam a questão principal deste trabalho de análise. Para mais informações relacionadas sobre o termo “liberação do som”, consulte Deleuze e Guatarri (Deleuze et al. 2004), Lyotard (Lyotard 2004), Varèse (Varèse & Wen-Chung 1966) e Russolo (Russolo 1986).

e pianista Ian Pace observou, “completamente física e teatral” (Pace 1998, pg. 12). Os diversos tipos de sons ou morfologias sonoras resultam das interações técnico-instrumentais não convencionais. Tais interações podem ser entendidas como a renúncia das técnicas convencionais de performance instrumental. As pesquisas de Lachenmann centram-se em estabelecer uma experiência sonora, da qual possa atrair a atenção do público para a percepção de sons não conscientes dos quais convive-se no “dia a dia”. Tal postura composicional e política pode ser traçada a partir das peças solo *Pression*, *Guero* e *Dal Niente (Intérieur III)* (Lachenmann 1995a). Tais peças serão discutidos em mais detalhe na Seção 3.2.1. A análise das três peças solo de Lachenmann foi publicada no trabalho de Simurra e Tavares, em (Simurra & Tavares 2014). Trata-se de um trabalho inicial e em andamento do qual há diversas questões que serão desenvolvidas no futuro. A música do compositor alemão utiliza técnicas instrumentais expandidas e, por se relacionar com as mudanças de timbre e da própria sonoridade instrumental, a análise de tais sonoridades, por intermédio dos descritores de áudio, pode ser uma abordagem significativa e útil para compreender os aspectos composicionais discutidos anteriormente. As próximas Seções apresentam uma análise inicial que utiliza uma *inspeção dos gráficos* dos descritores de áudio para descrever alguns aspectos relacionados com a inserção de ruído sonoro instrumental nas obras de Lachenmann.

3.2.1 As Três Peças Solo de Helmut Lachenmann

A maturidade das ideias composicionais e estéticas de Lachenmann pode ser estabelecida pelo período ao qual engloba a elaboração das obras para instrumentos solo *Pression* (1969) para violoncelo, *Dal Niente (Intérieur III)* (1970) para clarinete e *Guero* (1970, com uma versão revisada de 1988) para piano. Tais peças denotam o interesse do compositor em estabelecer as estruturas formais de suas composições a partir das características físicas e acústicas dos próprios instrumentos. Em cada uma das obras, Lachenmann utiliza-se de um particular banco de dados ou *corpus* de técnicas instrumentais não convencionais, i.e., as técnicas instrumentais expandidas.

O estudo de caso mais proeminente, dentre as três composições, centra-se em *Pression*. A obra possui um caráter expressionista, com uma ampla variedade timbrística e de ruído sonoro. Tal abordagem assemelha-se com o trabalho de Russolo e os futuristas (Russolo 1986). Ocasionalmente, Lachenmann projeta notas musicais de altura definida para interromper ou acompanhar os “longos contínuos sonoros, em *glissando* de sonoridades delicadas” (Pace 1996, pp.52). Além disso, o projeto composicional de *Pression* baseia-se tanto no caráter sonoro quanto no visual. No Prefácio da obra, o compositor observa que a notação simbólica não indica apenas os sons mas as “ações do intérprete” (Lachenmann 1969, pp. 01). A Figura 3.7 ilustra um exemplo da partitura de *Pression* no qual há indicações de altura musical aproximada e *tremolo* de mão.

Dentre as três peças solo, *Dal Niente (Intérieur III)* para clarinete é mais econômica

The image contains three musical staves with technical annotations in German. The top staff shows a melodic line with dynamics like 'ff' and 'pizz'. The middle staff includes a 'Mitteltaster' diagram and notes about 'Hörbarkeit Druck' and 'Schlag (Schlagstock)'. The bottom staff shows a 'Corpuswand' diagram and notes about 'Bogen unter den Saiten'.

Ex. 3.7: Excerto da partitura de *Pression* no qual há indicações de técnicas não convencionais de execução instrumental.

e restrita ao que relaciona-se em explorar as possibilidades sonoras fornecidas pelas técnicas instrumentais expandidas. A concepção poética da obra refere-se à prática de *ouvir o efeito de fade-in na tentativa de estabilizar a transmissão de uma estação radiofônica* (Lachenmann 1995a, pp. 1). A sonoridade resultante da obra é, de fato, um produto da variação timbrística entre os sons de altura definida e a técnica de “sons eólicos”⁷ (Pace 1998, pp.12). No entanto, no decorrer de toda a obra, Lachenmann explora gradualmente algumas técnicas instrumentais idiomáticas do clarinete, como *slap tongue*⁸ e *teeth on reed*⁹. No exemplo da Figura 3.8, o compositor indica a execução da técnica de *sons de chaves com altura definida*, em dinâmica *pp*.

Finalmente, no exemplo idiossincrático de *Guero*, para piano solo, a única indicação simbólica de altura musical definida, localiza-se no final da peça. Na oportunidade, Lachenmann sugere ao intérprete “pinçar”, como em *pizzicato* as cordas do piano. Tal como em *Dal Niente (Intérieur III)*, *Guero* possui um contexto poético, por considerar o piano como o instrumento de percussão “reco-reco”. Utilizando as propriedades acústicas e físicas do instrumento, Lachenmann projeta a sua obra em direção ao “centro do instrumento”. No início, o compositor sugere friccionar as pontas dos dedos ou com as próprias unhas nas superfícies

⁷Os “sons eólicos” caracterizam-se pela técnica, de instrumentos de sopro, para tornar perceptível os sons soprados. Além disso, pode-se obter diversas qualidades sonoras, em sons eólicos, tais como apenas com o ruído dos assopros ou uma mistura entre sons eólicos e altura musical definida (Bok 2010, pg. 84).

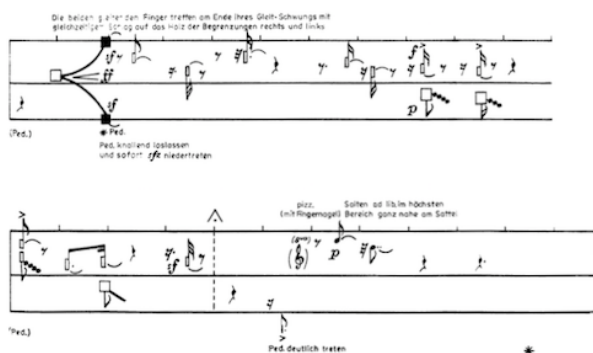
⁸*Slap Tongue* é um antigo efeito *jazzístico*, executado pela colocação de uma considerável parte da língua na ponta da palheta e, muitas vezes acompanhada por uma leve pressão da mandíbula, em simultâneo com o início do fluxo de ar. Literalmente, “esbofetar” o bocal do instrumento (Rehfeldt 1994, pg. 65).

⁹A técnica de *teeth on reed* indica colocar os dentes levemente sobre a palheta, produzindo uma sonoridade delicada, em frequência sonoras mais agudas, semelhante a um “assovio”.(Rehfeldt 1994, pg. 64)



Ex. 3.8: Excerto da partitura de *Dal Niente* no qual há indicações de técnicas não convencionais de execução instrumental.

frontais em direção à superfície superior das teclas brancas. O compositor desenvolve o seu “movimento” em direção às teclas pretas. No final, Lachenmann solicita ao intérprete que utilize as cravelhas e as cordas do instrumento (Pace 1998, pp.12). A Figura 3.9 ilustra os últimos compassos da obra, nos quais o compositor indica a utilização das cravelhas e dos *pizzicatos* nas cordas do piano.



Ex. 3.9: Excerto final da partitura de *Guero* no qual há indicações da execução de *pizzicato* nas cordas do piano, o único momento com altura musical definida na obra.

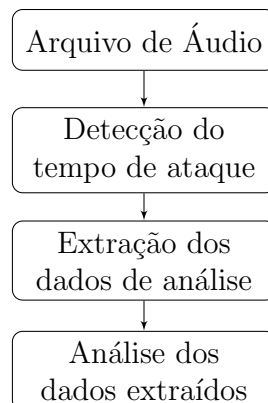
Para a concepção de suas obras, o compositor escolhe por não utilizar recursos de análise ou de composição assistidas por computador. Entretanto, acreditamos que tais recursos fornecem dados objetivos de análise do planejamento composicional de Lachenmann. Nas próximas Seções 3.2.2 e 3.2.3, apresentamos as etapas do processo de análise da qual aproximou o projeto composicional, particular de Lachenmann, com as técnicas de análise sonora utilizando os recursos da tecnologia musical, via descritores de áudio.

3.2.2 Procedimento de Análise

O procedimento de análise centrou-se em extrair os dados objetivos, a partir da gravação sonora cujos parâmetros são: 32 Bits, 48.000 Hz (Recherche 1996). *Pression* foi gravada pelo violoncelista Lucas Fels, *Dal Niente* pelo clarinetista Uwe Möckel e *Guero* pelo próprio compositor.

A primeira etapa do processo, utilizou as informações relacionadas à variação dos picos de amplitude do sinal analisado ou a energia do ataque, i.e., os tempos de *onset*. Ao estimar o tempo de *onsets*, as articulações sonoras evidenciaram a organização temporal do discurso musical do compositor. Para detectar os *onsets* de cada arquivo de áudio, segmentamos o sinal de entrada em intervalos constantes de 12 milissegundos. Aplicamos o descritor de áudio fluxo espectral, apresentado na Seção 2.2.5 do Capítulo 2, para caracterizar quão rápidas são as mudanças no espectro do sinal ao longo das janelas de análise (Dixon 2006). Tal procedimento permitiu estimar, nas janelas analisadas, quais os momentos de maior variação espectral e, conseqüentemente, de *onset* do sinal. Também denominado como “Variação temporal de Espectro”, o fluxo representa a quantidade de variação do espectro no decorrer do tempo. Se próximo a zero, os espectros sucessivos são similares. Perto de um, os espectros sucessivos são dissimilares (Peeters 2004, pg. 15). Após determinar os *onsets*, a partir da análise sonora via fluxo espectral, aplicamos outros descritores de áudio, apresentados no Capítulo 2, para analisar as características das três peças solo: nivelamento espectral - Seção 2.2.6, centroide espectral - Seção 2.2.1 e intervalo entre os *onset* ou *IOIs* - Seção 2.2.7.

A Figura 3.10 apresenta o procedimento de análise, considerando a extração dos *onsets* dos arquivos de áudio da performance das três peças solo de Lachnemann.



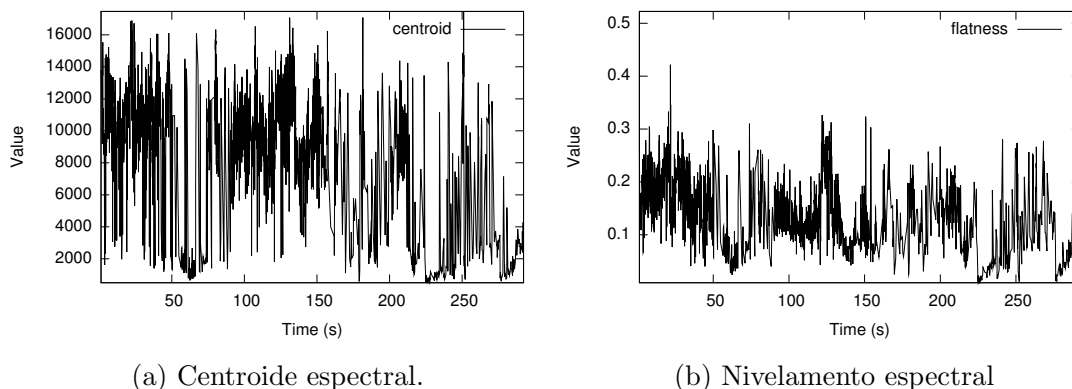
Ex. 3.10: Diagrama de bloco da proposta de análise das três peças solo, de Lachenmann, via descritores de áudio.

O objetivo de utilizar o descritor de nivelamento espectral centrou-se na análise de sonoridades harmônicas e ruídasas. Com tal descritor, sons harmônicos resultam em índices baixos de nivelamento. Em conseqüência, sonoridades ruídasas resultam em índices altos de nivelamento. O centroide espectral foi utilizado para correlacionar-se, mas não ser equivalente, à percepção de brilho do sinal analisado. Por fim, utilizamos o descritor de *IOIs* para estimar a densidade de ataques por janela de análise. Portanto, excertos com grande quantidade de *onset* tende a resultar em baixos índices de *IOIs*. Pouca quantidade de *onset*, ou seja, maior intervalo entre os tempos de ataque, indica altos índices de *IOIs*. Estabelecidos

os objetivos da análise, a partir da escolha dos descritores de áudio utilizados, extraímos os dados a partir das gravações de áudio das três peças solo. Para analisar os resultados obtidos por tal procedimento, utilizamos apenas os gráficos das curvas dos dados extraídos pelos descritores de áudio. Diferentemente do trabalho de análise do Primeiro Movimento das *Quattro Pezzi per Orchestra*, de Scelsi na Seção 3.1.1, a análise das peças solo de Lachenmann foi realizada do ponto de vista da inspeção dos gráficos obtidos pelos descritores de áudio. Posteriormente em trabalhos futuros, aprofundaremos a análise das obras utilizando outras ferramentas estatísticas. A Seção 3.2.3 apresenta os resultados adquiridos pelo procedimento descrito anteriormente.

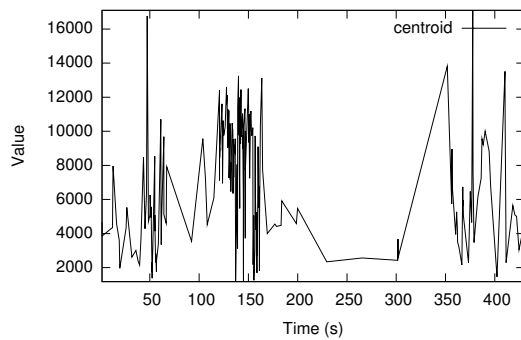
3.2.3 Resultados e Análise dos Dados

O procedimento de análise objetiva das três peças solo, tal como descrita na Seção 3.2.2, centrou-se em encontrar correlações entre todas as peças analisadas e encontrar características sonoras pertinentes no processo composicional de Lachenmann. Para realizar a análise, utilizamos apenas os gráficos com as curvas dos dados obtidos. Tal procedimento aproxima a análise objetiva com o projeto conceitual e poético do compositor. Uma importante correlação pode ser verificada entre as curvas dos dados de análise de centroide e nivelamento espectral. As Figuras 3.11, 3.12 e 3.13 apresentam o gráfico com o comportamento dos dois descritores utilizados:

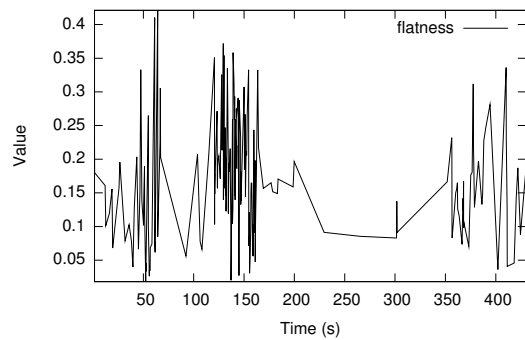


Ex. 3.11: Gráficos com o comportamento dinâmico de centroide e nivelamento espectral, em *Guero*.

Um fator interessante a ser destacado é a análise das três peças do ponto de vista dos *IOIs*. Em todos os casos, há regiões que descrevem maior densidade de ataques e, conseqüentemente, com baixo índice no intervalo de *IOI*. Alternadamente, há regiões com menor densidade de ‘ataque’, cujo resultado refere-se a alto índice no intervalo de *IOI*. A Figura 3.14 ilustra os gráficos do comportamento das densidades, por *onset*, em cada uma das três peças solo.

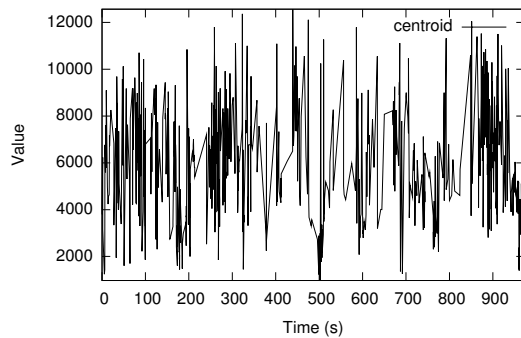


(a) Centroide espectral

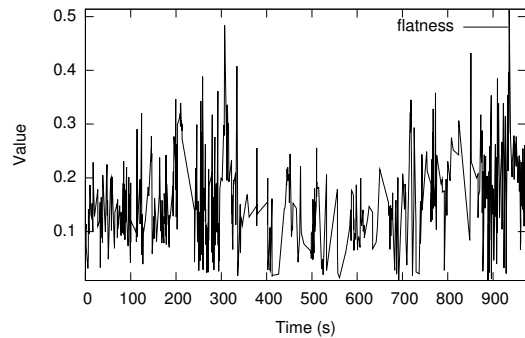


(b) Nivelamento espectral

Ex. 3.12: Gráficos com o comportamento dinâmico de centroide e nivelamento espectral, em *Pression*.



(a) Centroide Espectral.



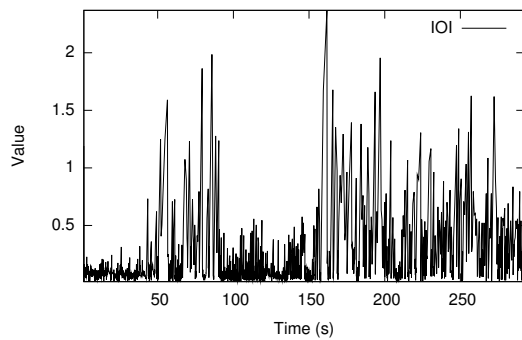
(b) Nivelamento espectral

Ex. 3.13: Gráficos com o comportamento dinâmico de centroide e nivelamento espectral, em *Dal Niente (Intérieur III)*.

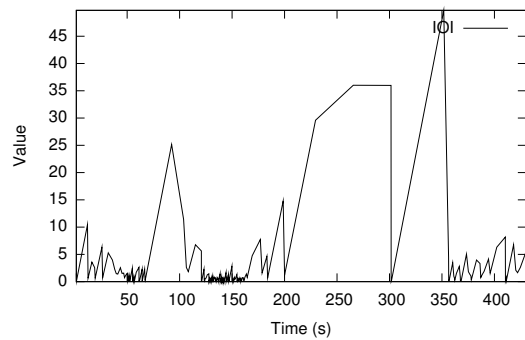
A extração das características sonoras, utilizando os descritores de áudio, forneceu subsídios para elaborarmos as considerações, a partir do objetivo de análise, apresentando na Seção 3.2.2, à qual refere-se à análise no âmbito de sonoridades ruidosas ou tonais, privilegiando as técnicas instrumentais expandidas em detrimento às ferramentas tradicionais de composição. A Próxima Seção 3.2.4 discute os resultados obtidos e elabora a conclusão da análise das três peças solo.

3.2.4 Discussão e Conclusão

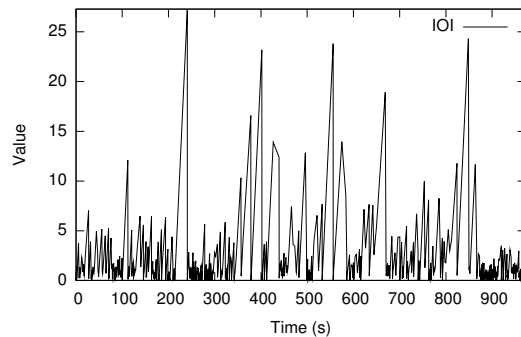
As etapas do processo de análise evidenciaram que as três peças solo são partes integrantes de um mesmo projeto composicional. Os elementos básicos das estruturas musicais são construídos pela variação da ruidosidade dos *onsets* dos sinais analisados. Portanto, encontramos variações deliberadas do controle qualitativo do ruído sonoro com a variação do *IOIs*.



(a) Gráfico, com o comportamento o intervalo de tempo de 'ataque', em *Guero*.



(b) Gráfico, com o comportamento o intervalo de tempo de 'ataque', em *Pression*.



(c) Gráfico, com o o intervalo de tempo de 'ataque', em *Dal Niente (Intérieur III)*.

Ex. 3.14: Gráficos com as curvas do intervalo de *onsets*, via análise de *IOIs*, para cada uma das três peças solo

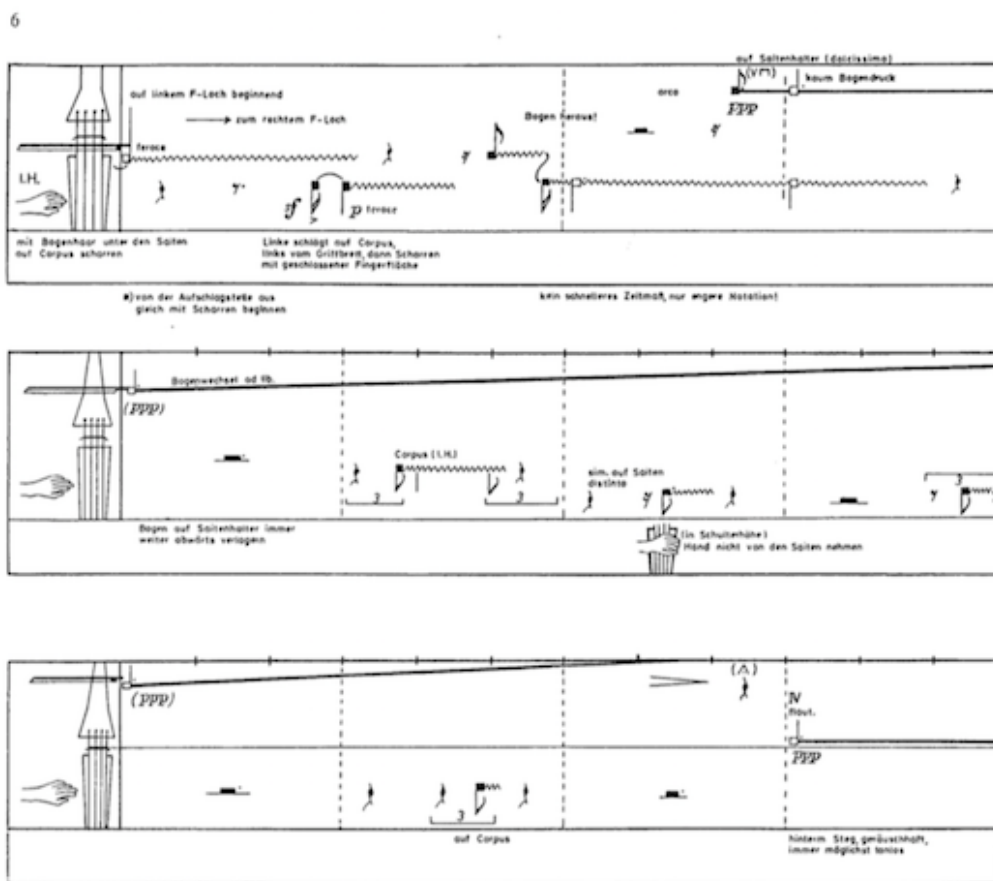
A Tabela 3.6 sintetiza as conclusões elaboradas durante o trabalho de análise.

Descritor	Análise
Centroide e Nivelamento Espectral	Em cada uma das peças solos, os descritores estão correlacionados. O <i>ruído</i> e o <i>silêncio sonoro</i> são partes estruturantes do discurso musical.
<i>IOIs</i>	Do ponto de vista das densidades de eventos articulados, são projetados intencionalmente para resultar em unidade e consistência no projeto macroestrutural das três peças solo.

Tabela 3.6: Tabela com a síntese das conclusões elaboradas da análise das três peças solo de Lachenmann.

O exemplo sintomático do processo de análise utilizado localiza-se, principalmente, em

Pression. As Figuras 3.12a, 3.12b e 3.14b indicam curvas semelhantes com os procedimentos implementados por Lachenmann, na partitura. No intervalo temporal, ao qual compreende os momentos de 2 minutos e 53 segundos a 3 minutos e 20 segundos, os descritores indicaram sonoridades mais “estáticas” e constantes, via centroide e nivelamento, com baixo índice de densidade de *onsets*, via *IOIs*. A “sonoridade constante” é realizada pelo arco tocando no *estandarte* do instrumento. O decrescendo, no final do excerto, ressalta o ruído presente no ambiente de concerto/gravação. Como exposto na análise de Scelsi, em 3.1.3, o silêncio tende a elevar o índice de centroide e de nivelamento espectral. Já os ataques são realizados por *tremolos*, com a mão esquerda, alternadamente sobre o tampo e as cordas do instrumento. A executar os *tremolos*, em *piano*, a técnica não potencializa o ataque do movimento, aumentando o índice do intervalo entre os *onsets*. A Figura 3.15 ilustra, na partitura, o momento ao qual relacionamos os três descritores de áudio.



Ex. 3.15: Excerto da partitura de *Pression*, no qual há correlação entre os três descritores de áudio utilizados na análise: centroide, nivelamento e *IOIs*.

O processo de análise dos dados foi realizado a partir da interação da “sinalização visual”

fornecida pelos gráficos, na Seção 3.2.3, com os critérios adquiridos pelo *background* cultural, a partir da Revisão da Literatura apresentada na Seção 1.1.

A relação dos dados objetivos das três peças solo e as características sonoras pretendidas por Lachenmann é evidente. A análise dos dados ressaltaram uma estrutura formal nas peças, especialmente em *Guero* e *Pression*. As relações entre o centroide e o nivelamento espectral realçam a ideia de uma morfologia aplicada para cada uma das duas peças solo, da qual podemos listar em:

- “modular” a linguagem idiomática de instrumentos de percussão, para instrumentos como piano e violoncelo e;
- obter maior controle sobre a variação do ruído sonoro como estrutura elementar para o seu discurso musical.

No caso particular de *Dal Niente (Intérieur III)*, a partir das técnicas idiomáticas e convencionais do clarinete, o controle das sonoridades ruidosas e tonais, resultou em um modelo mais complexo de planejamento composicional. O trabalho de análise, apresentado durante toda a Seção 3.2, cuja versão ampliada encontra-se em (Simurra & Tavares 2015), centra-se nas três peças solo de Lachenmann: *Guero*, *Pression* e *Dal Niente (Intérieur III)*. Para destacar estruturas musicais das obras analisadas, propusemos um método no qual utilizou-se dados objetivos das características sonoras, a partir da utilização dos descritores de áudio, a saber: centroide espectral, o nivelamento espectral e *IOI*. Tais estruturas seriam mais difíceis de explicar usando apenas ferramentas simbólicas ou musicais. A análise das três peças solo ressalta o planejamento composicional particular de Lachenmann, relacionado com sonoridades ruidosas como parte elementar e fundamental do seu próprio discurso musical. A abordagem relacionada com a obtenção de sonoridades ruidosas é implementada pelas técnicas instrumentais expandidas e particulares de cada instrumento. Para o compositor alemão, as três peças solo fazem parte do seu planejamento composicional, não apenas três resultados particulares de produção de materiais composicionais (Williams 2011b, pg. 25). O clímax desses estudos instrumentais culmina em obras para conjuntos maiores, como *Kontrakadenz* para orquestra completa (Lachenmann 1971b) e *Gran Torso* para quarteto de cordas (1971/78/88) (Lachenmann 1971a).

A partir de toda complexidade do universo sonoro do compositor, desenvolvemos um estudo composicional tendo como referência o trabalho apresentado em toda Seção 3.2. Na obra, denominada *Labori Ruinae*, para flauta; clarinete e violoncelo, centramo-nos nas possibilidades de variação timbrística a partir dos resultados de análise dos descritores de *loudness* e irregularidade espectral. A Seção 4.2, apresenta os principais aspectos do planejamento composicional de *Labori Ruinae*.

Importante destacar que Lachenmann não se utiliza de análise objetiva como uma ferramenta para a composição. Os resultados obtidos são consequência do planejamento composicional por intermédio do ruído sonoro como parte do seu discurso musical. Os descritores

de áudio forneceram dados dos quais extrapolam a análise exclusiva da partitura. Em contrapartida, há compositores dos quais utilizaram-se de recursos computacionais de análise para os auxiliarem em seus processos composicionais. Dentre os inúmeros exemplos, podemos citar o compositor brasileiro Jônatas Manzolli, cuja pesquisa atrela-se diretamente com o desenvolvimento de ferramentas de análise e composição via descritores de áudio. A Seção 3.3 apresenta um recorte de análise da sua obra *Reflexões*.

3.3 Jônatas Manzolli

De acordo com Jônatas Manzolli, a área de pesquisa musical encontra-se “diante da possibilidade de utilizar diversos níveis de representação computacional como suporte para análise, composição e performance musical” (Manzolli 2013, pg. 48). Inserido neste contexto, tais procedimentos proporcionam novas formas de escritura musical. Como destacado na Seção 1.1, o compositor e pesquisador Jônatas Manzolli insere-se no panorama da produção de música contemporânea brasileira, cujas pesquisas relacionam-se com a interação entre arte e tecnologia em criação musical, computação musical e ciências cognitivas. Manzolli utiliza os recursos computacionais de análise e criação centrados nos métodos de recuperação da informação musical e, em especial, em descritores de áudio. Na Seção 1.3 apresentamos a revisão da literatura da pesquisa relacionada com os descritores de áudio.

No contexto particular da nossa pesquisa relacionada com orquestração, Jônatas Manzolli identifica que o som de uma orquestra sinfônica chama a atenção pela sua complexidade, equilíbrio e pelo efeito estético percebido pelos nossos sentidos. Manzolli relaciona a interação dos instrumentos sinfônicos com a percepção, envolvendo fatores de três naturezas diferentes: estética, sensorial e física (Manzolli 1988, pg. iii). A problemática da orquestração, para Manzolli, centra-se na criação de blocos timbrísticos que, ao serem contrapostos, caracterizam de maneira única sua linguagem sinfônica. A obra orquestral ou orquestrada, consitui-se de trechos dos quais descrevem características do seu compositor (Manzolli 1988, pg. iv). De forma análoga, Manzolli elucida o procedimento de orquestração por intermédio de um exemplo emprestado das artes plásticas e, em especial, por intermédio do ofício do pintor de uma aquarela. Tal contexto poético subsidiou o nosso primeiro estudo de caso composicional, denominado *Lana Tai - no dia em que nasceu uma aquarela*. No Capítulo 4 - Seção 4.1, apresentamos o contexto, o ponto de vista, a criação de possibilidades orquestrais, as transcrições e as análises do procedimento composicional da obra.

Como apresentado nos parágrafos anteriores, uma grande parte das obras composicionais de Jônatas Manzolli centra-se na interação entre tecnologia e escritura instrumental. A produção do compositor envolve obras tanto para instrumentos solo (*Sufragio*, 2014, para piano e audiovisual; *Escriba*, 2014, para texto, piano e audiovisual interativo); música de câmara (*Transeuntes*, 2013, para Soprano, Grupo de Câmara e Video; *Curto Circuito II*, 2011, para

Cordas, Percussão e imagens); orquestras de câmara e sinfônica (*Reação em Cadeia*, 2014, para orquestra de violoncelos; *Reflexões*, 2011, para orquestra sinfônica, *tape* e imagens). Para o nosso trabalho particular de análise musical, utilizamos *Reflexões* por tratar-se de uma obra cujo discurso sonoro relaciona-se com variações de sonoridades, intensidades e timbres orquestrais. As texturas sonoras, estabelecidas em *Reflexões*, relacionam-se com as “torrentes de ideias que germinam e povoam os processos de descoberta e transformação¹⁰”. A Seção 3.3.1 apresenta um recorte de análise da obra, na qual utilizamos o suporte dos descritores de áudio.

3.3.1 Contexto e Ponto de Vista, em *Reflexões*

A obra *Reflexões* (2011, para orquestra, *tape* e imagens) descreve um planejamento composicional cujo objetivo centra-se na construção de sonoridades a partir da relação das sonoridades instrumentais e orquestrais com os sons eletrônicos. A obra concatena momentos de variação em densidade sonora criados com princípios de síntese sonora aplicada à escritura sinfônica e à geração de sons com suporte computacional. A estreia da obra foi realizada pela Orquestra Sinfônica Municipal de Campinas, no dia 30 de outubro de 2011, sob a regência de Christian Karlsen. O projeto poético da obra dialoga com a sua data da estreia, 30 de outubro, pois, justamente se aproxima da data da celebração do dia 31 de outubro de 1917, a qual atribui-se o momento no qual as 95 teses foram afixadas em Wittenberg. A parte da eletrônica e a concepção estrutural da obra contou com a colaboração do Prof. Adolfo Maia cuja difusão realizada pelo Prof. José Augusto Mannis¹¹. Os sons eletrônicos foram processados a partir de registros de sinos e de murmúrios, ressonantes no interior de uma catedral, os quais foram ‘pulverizados’ pelos naipes da orquestra. A gravação sonora que utilizamos para realizar a nossa análise foi obtida pela gravação ao vivo do concerto, cujo parâmetros são os seguintes: estéreo, 32 Bits e 44100Hz.

A obra estruturou-se em seis movimentos breves: *Prólogo*, *Fragmentos*, *Corais*, *Ressonâncias*, *Ícones* e *Epílogo*. O compositor organizou as diferentes sonoridades a partir de 95 ‘entradas’ do tímpano, cada qual estabelecendo uma construção sonora distinta. A quantidade de “entradas” do tímpano faz alusão às ‘95 teses afixadas na porta da Igreja do Castelo de Wittenberg¹²’. Dentre todos os movimentos, presentes em *Reflexões*, *Prólogo* é o único do qual não consta a presença do tímpano. A Tabela 3.7 ilustra a quantidade de entradas do instrumento, das quais apresentam sonoridades distintas entre si

¹⁰Retirado da Nota de Programa do Concerto de Estreia da Obra. Disponível em <http://www.osmc.com.br/novo/noticias/400/autores-e-obras.aspx>. Data de acesso: 14/08/2015.

¹¹Retirado da Nota de Programa do Concerto de Estreia da Obra. Disponível em <http://www.osmc.com.br/novo/noticias/400/autores-e-obras.aspx>. Data de acesso: 14/08/2015.

¹²Extraímos as informações relacionadas com o contexto poético da obra, a partir de entrevistas realizadas com o próprio compositor. No que refere-se às informações relacionadas com as “95 Teses de Lutero”, ver <https://pt.wikipedia.org/wiki/95#Teses>. Data de acesso: 14/08/2015

Movimento (duração)	Quantidade de tímpanos
Prólogo (01' 40")	0 Tímpano
Fragmentos (02'47")	19 Tímpanos
Corais (02'26")	20 Tímpanos
Ressonâncias (01'49")	18 Tímpanos
Ícones (02'06")	19 Tímpanos
Epílogo (01'58")	19 Tímpanos

Tabela 3.7: Tabela com a quantidade de ‘entradas’ do tímpano em cada movimento, em *Reflexões*.

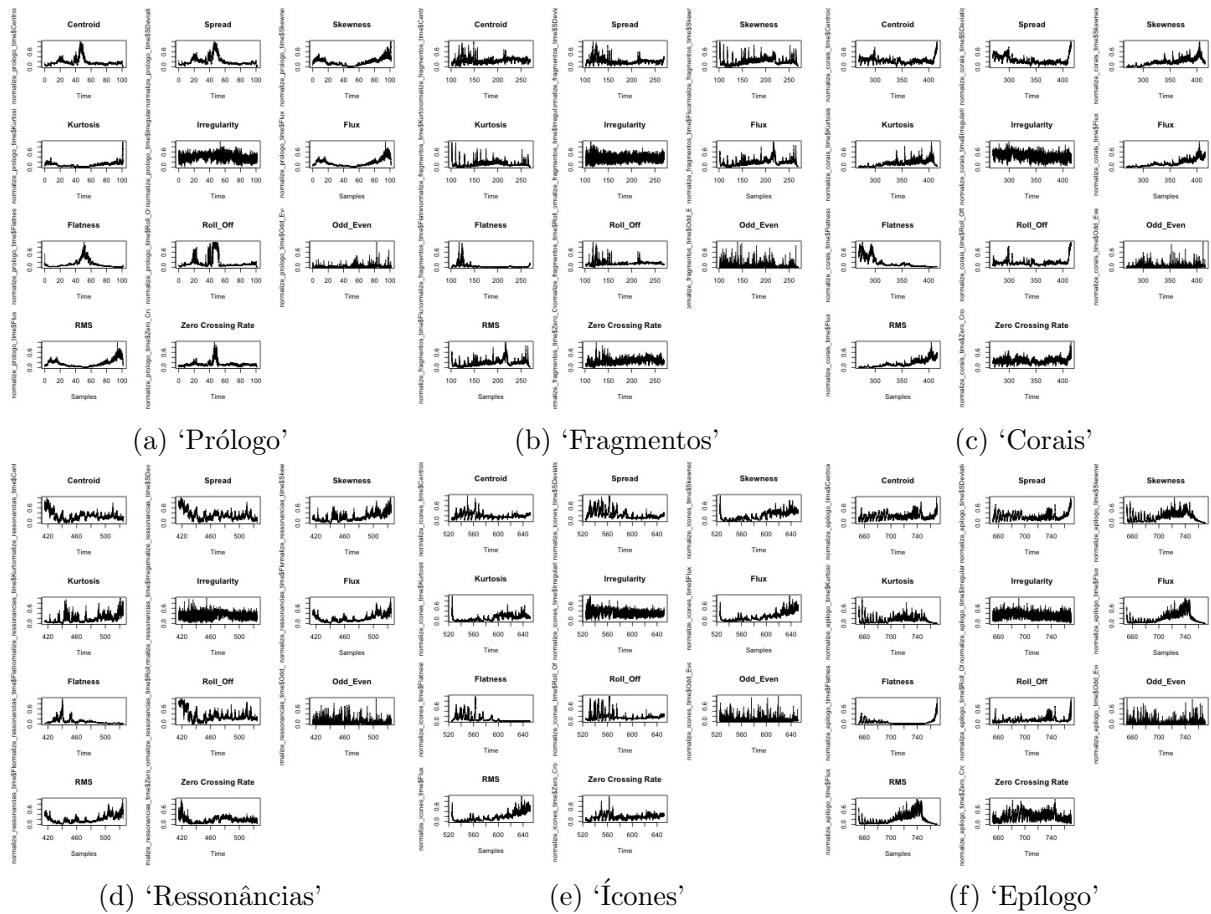
A motivação principal do trabalho de análise da obra *Reflexões*, com o suporte de descritores de áudio, centrou-se em identificar as principais características espectrais das sonoridades estabelecidas entre as 95 entradas do tímpano. Por não utilizar tal instrumento, a nossa proposta de análise não levará em consideração o primeiro movimento, *Prólogo*. A Seção 3.3.2 apresenta as etapas do processo de análise relacionadas com a motivação estabelecida anteriormente.

3.3.2 Procedimento de Análise

A primeira etapa do procedimento de análise centrou-se em extrair os dados objetivos, a partir da gravação sonora da obra. Para tanto, utilizamos um vetor de características, constituído por um conjunto de 11 descritores de áudio: centroide espectral, *skewness*, desvio padrão; curtose, irregularidade, *flatness*, fluxo, roll-off, *odd-to-even*, *RMS* e *zero crossing rate*. Todos os dados coletados foram normalizados dentro do intervalo $[0, \dots, 1]$. Para realizar a extração de características, utilizamos o ambiente Pure Data, com a biblioteca de funções *PDescriptors*. A Figura 3.16 ilustra as curvas dos dados de análise, extraídos a partir dos descritores de áudio. O eixo “x” representa o domínio do tempo, em cada movimento da obra.

A escolha dos descritores de áudio centrou-se nas características espectrais das sonoridades correlacionadas, mas não necessariamente equivalentes, com atributos perceptivos, tais como “brilho”, “volume”, “opacidade”, “rugosidade”, “ruidosidade”, “maciez” e “intensidade”. Apresentamos o descritores no Capítulo 2 - Seção 2.2.

Depois da coleta de dados, realizada com o suporte dos descritores de áudio, segmentamos a obra por intermédio de procedimento semelhante utilizado na análise do primeiro movimento das *Quattro Pezzi per Orchestra*, Seção 3.1.2: *a)* consideramos a partitura musical, centrado-se nas “entradas” do tímpano e; *b)* desenvolvemos a análise estatística da obra. Na Seção 3.3.3, detalharemos as análises realizadas e os resultados obtidos pelas etapas do método descrito anteriormente.



Ex. 3.16: Extração das características, via descritores de áudio, dos seis movimentos de *Reflexões*.

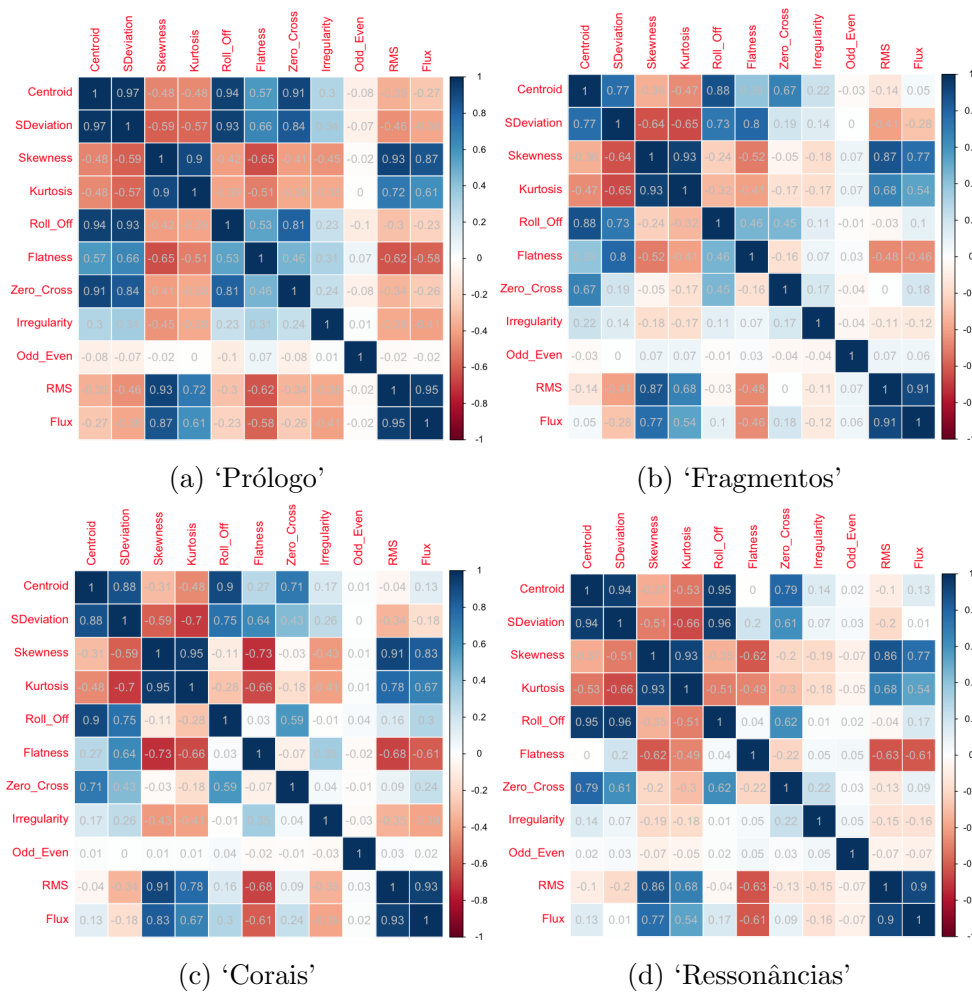
3.3.3 Resultados e Análise dos Dados

Tomando por base a trajetória estabelecida pelas Seções 3.3.1 e 3.3.2, a análise apresentada nos próximos parágrafos baseia-se em dois pontos principais: *a)* discutir como a interação dos dados coletados, pelos descritores de áudio relaciona-se com a complexidade planejada; *b)* analisar o comportamento das sonoridades de cada entrada do tímpano, do ponto de vista dos descritores de áudio.

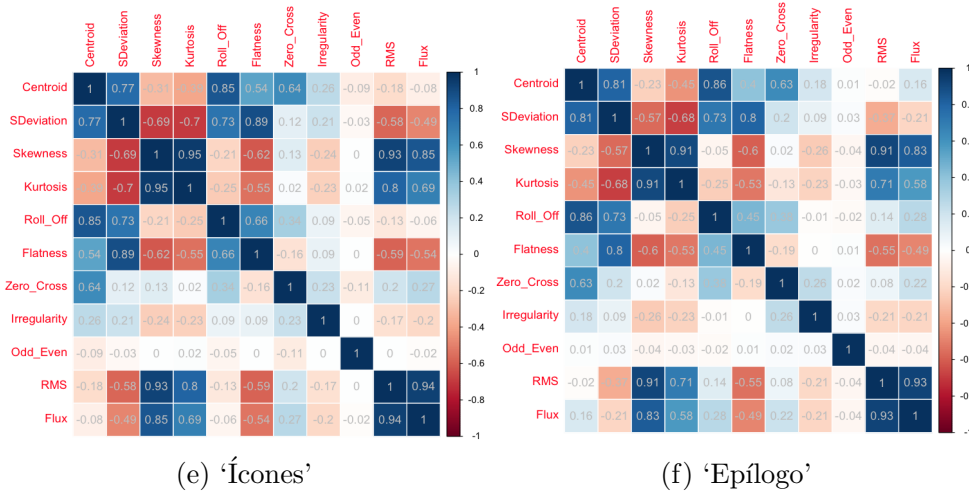
Calculamos a correlação dos descritores de áudio utilizados, em cada movimento da obra¹³. A análise da correlação dos dados obtidos pelos descritores de áudio objetiva discutir a correspondência, a força e a direção do relacionamento linear entre as medidas utilizadas. Tal procedimento forneceu resultados para a compreensão global das características sono-

¹³Para mais informações sobre os conceitos e as definições de “correlação”, ver: <https://pt.wikipedia.org/wiki/correlação>. Data de acesso: 17/08/2015.

ras, de cada movimento em entre os movimentos de *Reflexões*. Naturalmente, reduzimos os detalhes e as nuances dos procedimentos composicionais e sonoros, estabelecidos pelo compositor. Contudo, ao elaborarmos tal etapa, iniciamos as primeiras conclusões do trabalho composicional, em *Reflexões*. A Figura 3.17 apresenta a matriz de correlação de cada movimento da obra. Pela convenção da gradação de cores, utilizada para representar o índice de correlação, quanto mais próximo à cor vermelha, maior o índice de correlação negativa. De modo análogo, quanto mais próximo à cor azul, maior o índice de correlação positiva. O índice de correlação nula é representado pela cor branca.



Os dados dispostos na Figura 3.17 apontam que o descritor de áudio *Odd to Even*, ao qual relaciona-se com a identificação de sonoridades anasaladas e aveludadas é a única medida de análise da qual não possui correlação com nenhum outro descritor. Tal resultado indica que a variação da qualidade timbrística, explorada por tal descritor, não relaciona-se com as outras características sonoras, exploradas pelo compositor. Em todos os movimentos da obra, o



Ex. 3.17: Matriz de correlação dos descritores de áudio utilizados em cada movimento de *Reflexões*.

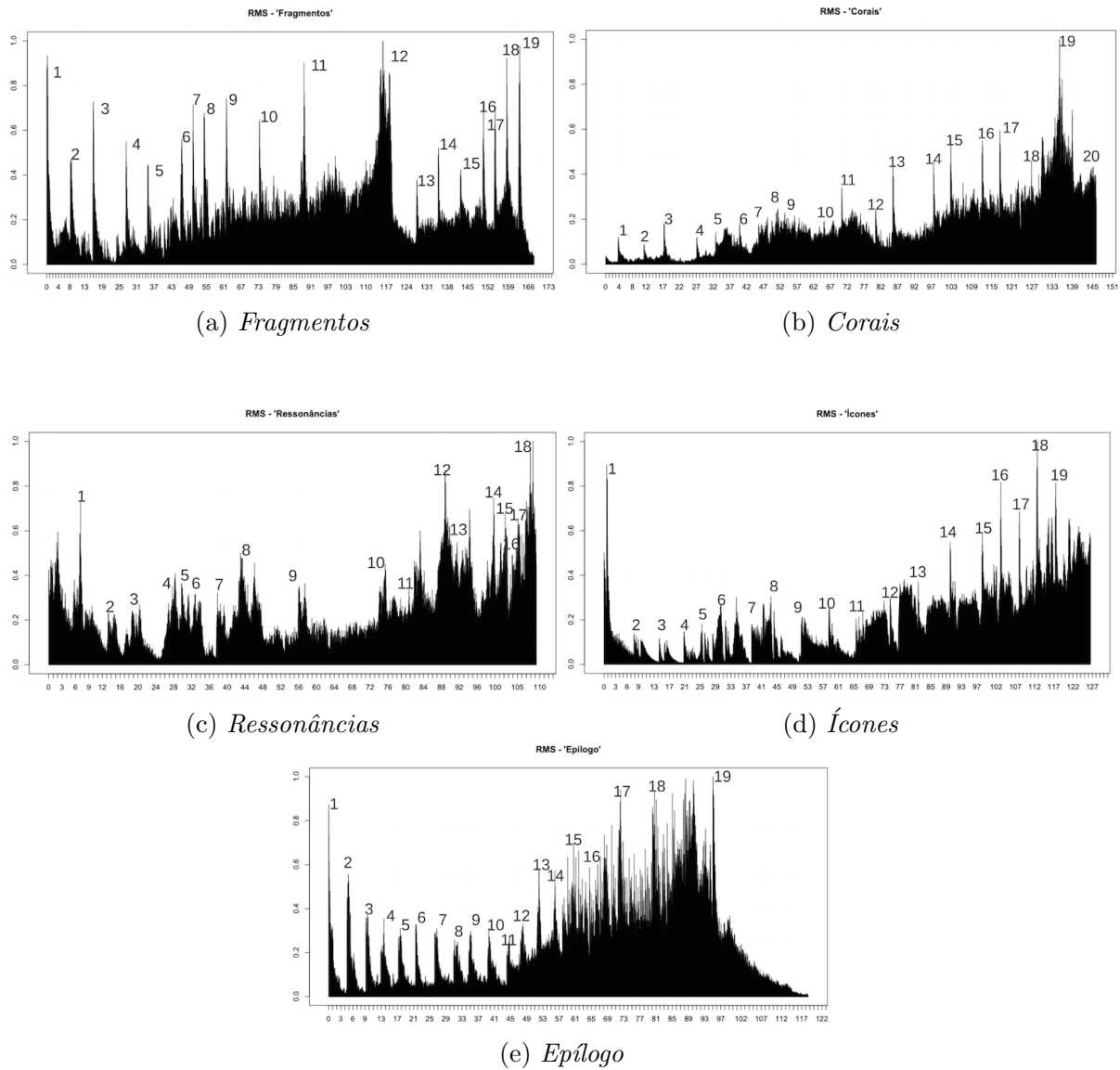
índice de correlação do descritor *Odd to Even* manteve-se dentro da escala entre 0.25 e -0.25 . O intervalo abrange a correlação nula das medidas analisadas. Em contrapartida, o único movimento do qual não possui a participação do tímpano, *Prólogo*, possui a menor ocorrência de descritores não correlacionados. Tal resultado indica que as sonoridades elaboradas, em cada entrada do tímpano, são determinantes na correlação dos descritores de áudio. A Tabela 3.8 ilustra o índice da média de ocorrências entre os descritores analisados. A correlação positiva alta representa uma escala maior que 0.75; a correlação positiva média abrange a escala menor que 0.75 e maior que 0.25; A correlação positiva e/ou negativa muito baixa e não correlação abrange a escala maior que -0.25 e menor que 0.25; a correlação negativa média abrange a escala maior que -0.75 e menor que -0.25 e; a correlação negativa alta abrange a escala menor que -0.75 .

Frequência de Correlação	Prólogo	Fragmentos	Corais	Ressonâncias	Ícones	Epílogo
Positiva Alta	0.26	0.21	0.21	0.22	0.22	0.21
Positiva Média	0.15	0.12	0.17	0.07	0.13	0.15
Nula	0.21	0.5	0.4	0.53	0.46	0.5
Negativa Média	0.38	0.18	0.23	0.18	0.18	0.15
Negativa Alta	0	0	0	0	0	0

Tabela 3.8: Índice da média dos índices de correlação de todos os descritores de áudio utilizados, em cada movimento de *Reflexões*.

A próxima etapa de análise centrou-se em segmentar os movimentos, a partir das entradas do tímpano. Para tanto, utilizamos o trabalho colaborativo entre a partitura musical e as curvas de análises via descritores de áudio. Relacionamos a Figura 3.16, à qual ilustra

as curvas dos dados de análise, com a Tabela 3.7, à qual discrimina o número de entradas. Identificamos o descritor de áudio RMS como aquele com o qual melhor ressalta tais entradas. A Figura 3.18 ilustra os picos dos índices de RMS com a presença do tímpano.

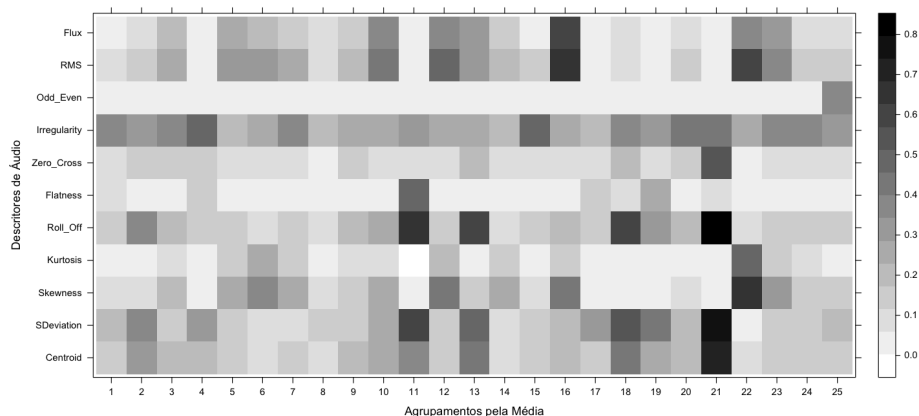


Ex. 3.18: Relação dos picos de amplitude, extraídos pelo descritor RMS, com as entradas do tímpano, em cada movimento de *Reflexões*.

Para representar as sonoridades distintas entre os movimentos da obra, distinguimos 25 agrupamentos com um vetor de 11 valores médios para cada descritor de áudio utilizado. Utilizamos o método denominado como *K-means*, para agrupar as médias das variáveis

de análise¹⁴. Como discutido na Introdução Geral, a propriedade multidimensional das diversas características que são atribuídas ao timbre musical, sejam perceptivas ou espectrais, torna a análise sonora complexa e muito abrangente. Os agrupamentos elaborados a partir das médias dos descritores dialogam com a complexa característica multidimensional das sonoridades analisadas.

O algoritmo *K-means*, implementado em ambiente de análise estatística *R*¹⁵, calculou automaticamente os 25 agrupamentos. O resultado correspondeu a aproximadamente 85% de efetividade para distinguir as sonoridades. A Figura 3.19 ilustra os 25 agrupamentos, a partir da média, normalizada no intervalo 0 – 1, de cada descritor de áudio. A escala de gradações de cinza, representam os valores da média de cada descritor de áudio. Tal procedimento permitiu encontrar relações entre todas as sonoridades estabelecidas por cada entrada do tímpano.

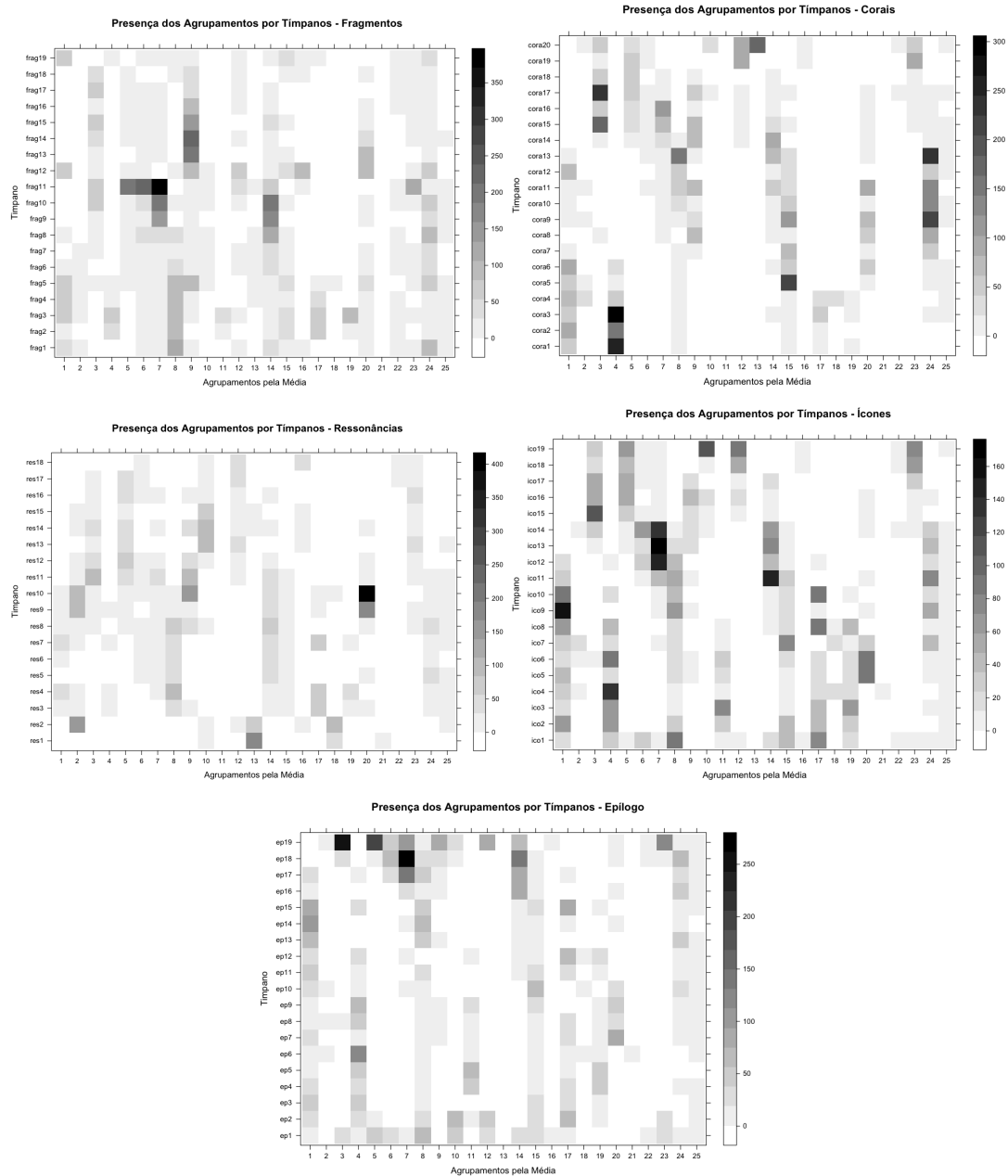


Ex. 3.19: Figura que representa a configuração dos 25 agrupamentos elaborados pela análise de *K-means*. As gradações de cinza representam os valores, normalizados, das médias de cada descritor de áudio. As colunas ilustram os agrupamentos e as linhas representam os descritores de áudio utilizados.

A próxima etapa de análise relacionou os agrupamentos *K-means* com cada entrada do tímpano, em cada movimento. A Figura 3.20 ilustra os 25 agrupamentos *K-means* relacionados com a identificação da entrada dos tímpanos, tal como apresentados pela Figura 3.18. Representamos cada sonoridade a partir de sua localização, em cada um dos movimentos da obra: *frag*, para as entradas do tímpano, em *Fragmentos*; *cora* para *Corais*; *res* para *Ressonâncias*; *ico* para *Ícones* e; *ep* para *Epílogo*.

¹⁴De uma maneira generalizada, o conceito de *K-means* relaciona-se com um método de agrupamento no qual objetiva-se particionar n observações dentre k grupos onde cada observação pertence ao grupo mais próximo da média. Para mais informações, ver: [https://en.wikipedia.org/wiki/K-means\\$clustering](https://en.wikipedia.org/wiki/K-means%$clustering). Data de acesso: 17/08/2015

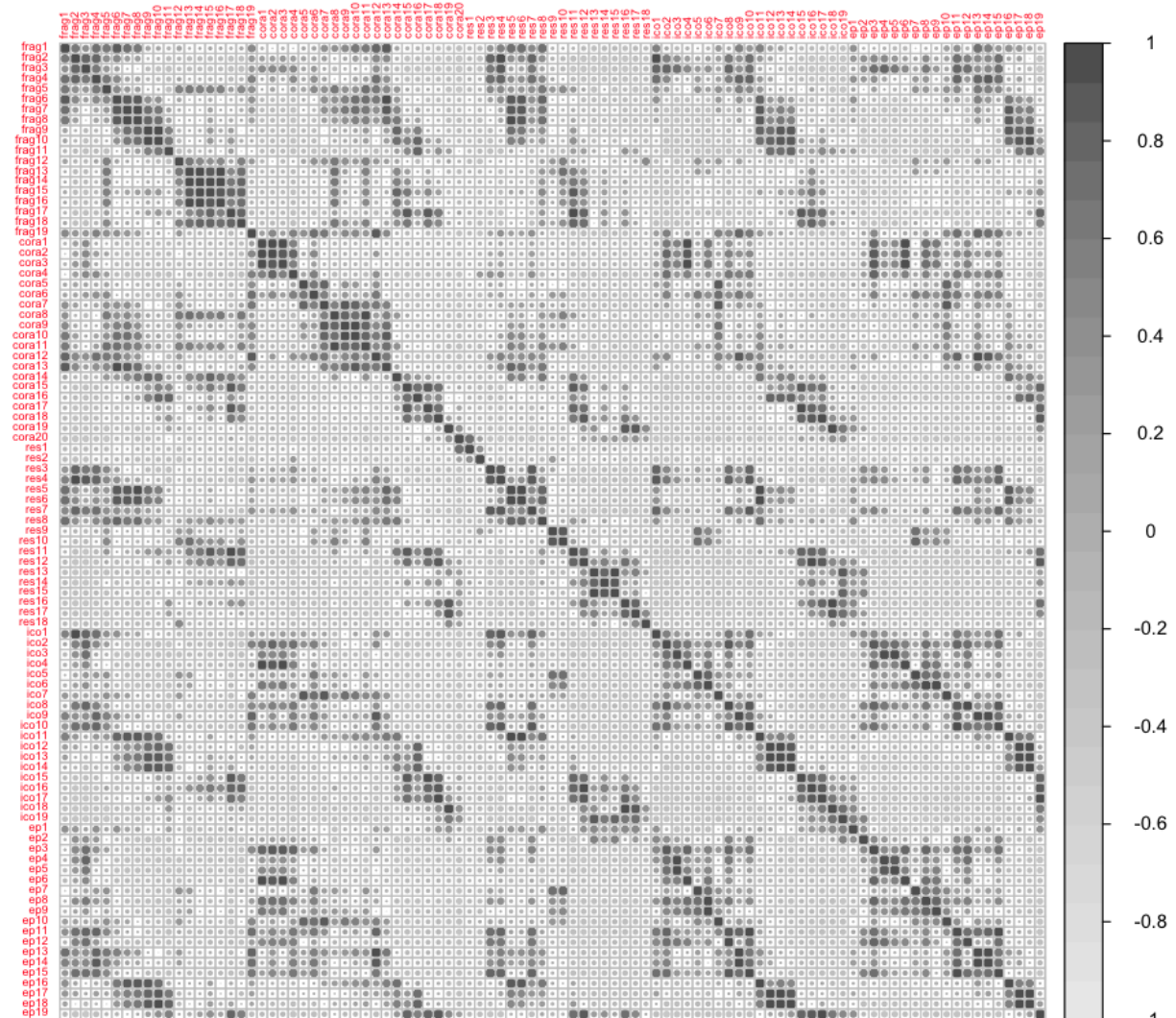
¹⁵Para mais informações obre o ambiente *R*, ver: <https://www.r-project.org>. Data de acesso: 27/08/2015



Ex. 3.20: Relação da frequência dos agrupamentos *K-means* com as entradas do tímpano, em cada movimento de *Reflexões*.

O mapeamento da quantidade de agrupamentos, tal como ilustrado pela Figura 3.20, permitiu correlacionar as 95 entradas do tímpano. O procedimento permitiu encontrar similaridades entre as sonoridades estabelecidas pelo compositor. A Figura 3.21 ilustra a matriz de correlação entre todas as entradas do tímpano, do ponto de vista da média dos descritores

utilizados¹⁶.

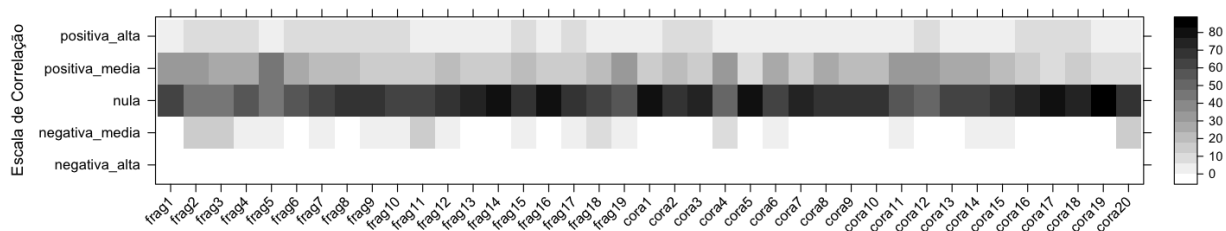


Ex. 3.21: Matriz de correlação dentre todas as 95 entradas do tímpano. Por convenção, os quadrados totalmente preenchidos representam a mais alta correlação positiva.

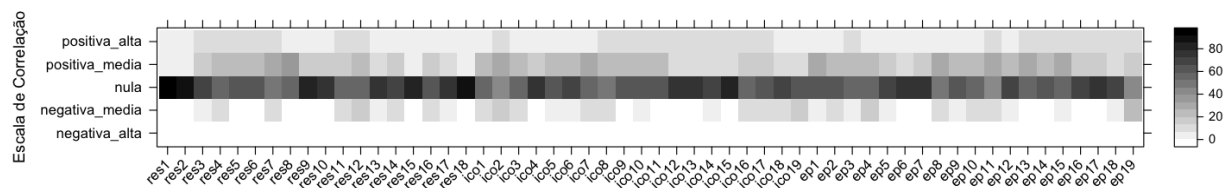
A Figura 3.22 ilustra o diagrama com a frequência dos índices de correlação, entre as sonoridades analisadas. Pela escala, as sonoridades das quais apresentaram frequências iguais a *zero*, são representadas pela cor branca. Inversamente, as sonoridades das quais apresentaram frequências iguais a 95, são representadas pela cor preta.

Do ponto de vista global, cada sonoridade possui, em média, 65.31 sonoridades entre a escala de correlações baixas ou nulas. Ressalta-se a não presença de índices de correlação

¹⁶Ressaltamos a presença da correlação das sonoridades entre si. Portanto, cada uma das sonoridades possui, pelo menos, uma correlação positiva alta.



(a)



(b)

Ex. 3.22: Tabela com a frequência de correlação de cada uma das 95 sonoridades, estabelecidas pelas entradas do tímpano, em *Reflexões*.

negativa alta. Contudo, identificamos algumas sonoridades das quais possuem índices de correlação positiva alta. Do ponto de vista dos descritores utilizados, o resultado indica que há similaridades entre algumas das sonoridades analisadas. Em média, para cada sonoridade analisada, há 5.82 sonoridades com índices de correlação positiva alta. Discriminamos, a seguir em perspectiva, as sonoridades das quais possuem maior frequência de correlação positiva alta.

- “ep11”, com total de 12 correlações positivas altas;
- “res4”, “ep3” e “ep19”, com total de 11 correlações positivas altas;
- “frag4”, “frag9”, “frag19”, “res11” e “ico16”, com total de 10 correlações positivas altas.

Identificamos as sonoridades das quais apresentam os maiores índices de correlação positiva alta, com a sonoridade “ep11”:

- “frag3”, “frag4”, “cora12”, “res4”, “ico2”, “ico8”, “ico9”, “ico10”, “ep11”, “ep13”, “ep14” e “ep15”.

A sonoridade “ep11” possui características simbólicas das quais relacionam-se com as principais construções musicais, desenvolvidas pelo compositor, dentre elas: escalas ascendentes, acordes estáticos e as articulações rítmicas. A Figura 3.23 ilustra a sonoridade “ep11”, na partitura, da qual possui a maior frequência de correlação positiva alta. Subdividimos o excerto para destacar as construções musicais.

(a) (b)

Ex. 3.23: Excerto da partitura da sonoridade “ep11”, compasso 228, da qual possui a maior frequência de correlação positiva alta. Em *a)*, destacamos os instrumentos: *flautas, oboés, clarinetes, fagotes, trombones, tímpano e vibrafone*. Já em *b)*, destacamos os instrumentos, a partir do mesmo compasso 228: *piano e cordas*.

Destacamos a análise das principais sonoridades, estabelecidas em *Reflexões*, por intermédio das 95 entradas do tímpano, dispostos nos cinco movimentos da obra. A Próxima Seção 3.3.4 discute toda a trajetória de análise realizada na obra. Por tratar-se de um trabalho ainda em andamento, apresentamos a nossa projeção de desenvolvimento de pesquisa, a ser realizada posteriormente. Comentamos, ainda, a relação do trabalho de análise com o nosso projeto composicional, do qual comentaremos no Capítulo 4.

3.3.4 Discussão e Conclusão

A obra *Reflexões*, do compositor Jônatas Manzolli, possui características sonoras das quais podem destacar-se por intermédio da análise via descritores de áudio. O procedimento de análise da obra utilizou-se do mesmo sistema nas análises das obras de Scelsi, 3.1, e Lachenmann, na Seção 3.2: o trabalho colaborativo entre a partitura musical e a gravação sonora. Para o particular estudo de caso da obra de Manzolli, utilizamos um vetor de características, constituído por 11 descritores de áudio resultando em uma gama muito maior de dados coletados. A considerável quantidade de descritores utilizados ampliou as possibilidades de análise, do ponto de vista das características sonoras, extraídas pelas medidas.

Contudo, dois descritores de áudio destacaram-se. Ao utilizar o *Odd to Even*, o compositor ressaltou as características com as quais podemos relacionar com sonoridades anasaladas e aveludadas. Do ponto de vista do desenvolvimento do projeto composicional, em *Reflexões*, as sonoridades aveludadas e anasaladas não representam sonoridades específicas, na obra. Contudo, tais características fazem parte da sua macroestrutura.

O descritor de áudio *RMS* destacou as 95 entradas do tímpano, dispostas ao longo dos cinco últimos movimentos, da obra. Dentre todos os descritores utilizados, a variação dos picos de amplitude, extraída pelo *RMS*, permitiu relacionar o trabalho de segmentação das entradas com as informações simbólicas, fornecidas pela partitura musical. Após a segmentação, analisamos as características sonoras de cada uma das sonoridades. Utilizamos um algoritmo de agrupamento, no qual estabeleceu 25 vetores com os valores médios das medidas. O procedimento permitiu calcular as correlações entre as sonoridades destacadas. Dentre as sonoridades analisadas, “ep11” possui a maior frequência de correlação positiva alta. No total, “ep11” correlacionou-se positivamente alta com 12 sonoridades distintas.

Toda a trajetória de análise estabeleceu um interessante procedimento para identificar as características sonoras de construções sonoras distintas. Utilizar o ambiente computacional de análise, via descritores de áudio, permitiu segmentar a obra e relacioná-la com a partitura musical. No caso particular de *Reflexões, Prólogo* é o único movimento do qual não possui a presença do tímpano. Por tal característica, não realizamos a etapa de segmentar o primeiro movimento, a partir do procedimento implementado na Seção 3.3.3. A projeção de trabalhos futuros de análise, à qual extrapola o escopo deste recorte de pesquisa, centra-se em identificar similaridades e correlações entre as 95 sonoridades com o primeiro movimento da obra. Todavia, ressaltamos que o uso das técnicas e ferramentas de análise musical é uma das contribuições originais da nossa Tese.

A obra de Jônatas Manzolli contrasta com os projetos composicionais de Scelsi e Lachenmann, do ponto de vista de suas estruturas musicais. Contudo, os compositores compartilham o mesmo objetivo: a variação de sonoridades como elemento estrutural de suas obras. O compositor brasileiro, diferentemente de Scelsi e Lachenmann, concatena suas sonoridades por intermédio de agrupamentos distintos de materiais composicionais. Manzolli condiciona as suas sonoridades pelas 95 entradas do tímpano. Diferentemente de Scelsi, o qual resalta aspectos que não estão evidenciados somente no âmbito da partitura, Manzolli integra as informações simbólicas com as suas construções sonoras. Para Manzolli, a partitura não representa somente uma interface de comunicação entre o compositor, o intérprete e o resultado sonoro. Para o compositor, a partitura também é um ambiente de assitência à composição musical. Perante toda complexidade do universo sonoro do compositor, desenvolvemos um estudo composicional, tendo como referência o trabalho apresentado em toda Seção 3.3. Na obra em questão, denominada *Labori Ruinae*, para conjunto de câmara, pesquisamos as possibilidades de variação sonora de diferentes configurações orquestrais. A Seção 4.3, apresenta os principais aspectos do planejamento composicional de *Labori Ruinae*.

Neste Capítulo 3, apresentamos três recortes de análise, nos quais utilizou-se os descritores de áudio para examinar as características sonoras de três obras distintas do repertório da música produzida nos séculos XX e XXI. As etapas de pesquisa, os resultados e as conclusões de todo trabalho, apresentado neste Capítulo, ampliou os recursos de análise de repertório e, principalmente, as possibilidades de elaborar estudos composicionais, nos quais detalharemos no Capítulo 4.

Giacinto Scelsi, Helmut Lachenmann e Jônatas Manzolli pertencem a projetos composicionais distintos mas não excludentes. Contudo, a análise de obras dos três compositores evidenciou um objetivo em comum: as possibilidades de variação timbrística. No caso particular de Scelsi, o compositor projeta suas sonoridades por intermédio da referência de uma nota musical. O compositor adota construções tonais para desenvolver seu projeto, tendo o timbre como o seu principal elemento de variação composicional. Já o compositor alemão Lachenmann, utiliza-se de sonoridades ruidosas como parte elementar e fundamental do seu próprio discurso musical. Para alcançar tal resultado, Lachenmann explora as possibilidades sonoras fornecidas pelas técnicas instrumentais expandidas e particulares de cada instrumento solo. Por fim, Jônatas Manzolli explora as diferentes possibilidades sonoras, a partir de construções musicais, claramente destacadas pela partitura. Diferentemente, de Scelsi, Manzolli não utiliza-se de uma referência tonal para estabelecer seu projeto coposicional. Contudo, o compositor brasileiro explora técnicas composicionais relacionadas com as escalas musicais, as articulações rítmicas e as construções harmônicas.

Do ponto de vista dos estudos composicionais, o trabalho de análise desenvolvido pelo Capítulo 3 permitiu extrair e identificar materiais simbólicos e dados objetivos, dos quais utilizamos no nosso próprio processo de composição. No Capítulo 4, destacamos três obras composicionais que se relacionam com toda a trajetória de pesquisa de doutorado: *Lana Tai - no dia em que nasceu uma aquarela*, *O azeite a Lua e o Rio* e *Labori Ruinae*.

Apresentação do Portfólio Composicional

I do not write experimental
music. My experimenting is
done before I make the music.
Afterwards, it is the listener
who must experiment

Edgard Varèse

Na atualidade, o compositor dispõe de vários recursos sonoros e tecnológicos para criar a sua obra, seja para instrumento solo ou para orquestra sinfônica. Dentro desse escopo, o Capítulo 4 apresenta o portfólio da produção composicional do qual é resultado das pesquisas relatadas nos Capítulos anteriores. Nossa pesquisa foca a composição musical relacionada às transformações do timbre musical que alteram sensivelmente as características espectrais de cada nota ouvida. De maneira intuitiva, pode-se dizer que a orquestração com a qual trabalhamos nesse Capítulo 4 compreende uma mistura dos mais variados timbres e técnicas de execução instrumental. Esses procedimentos de transformação sonora podem ser comparados à pintura de uma aquarela (Manzoli 1988, pg.iii). O compositor e pesquisador, Jônatas Manzoli destaca que os aspectos de natureza estética podem ser elucidados através de um exemplo emprestado às artes plásticas: um pintor, ao criar uma determinada coloração em suas telas, tem em mente, para conseguir seu objetivo, a quantidade de tinta necessária e a intensidade de cada uma das cores. Estabelecemos, por intermédio de tal metodologia, uma mescla mais refinada do material composicional enquanto fenômeno timbrístico. O termo *mescla*, insere-se no âmbito de misturas instrumentais, ou seja, a interação da orquestração com as diversas técnicas de execução. Há inúmeras relações entre o material sonoro, os materiais simbólico-musicais e as construções timbrísticas e orquestrais. O objetivo deste trabalho centrou-se em ajustar tais relações com as possibilidades de execução instrumental derivadas de técnicas estendidas. No Capítulo 4, apresentamos um conjunto de três composições

das quais relacionam-se com o escopo do trabalho de pesquisa. A seguir, em perspectiva, apresentamos as obras descritas no Capítulo 4:

- *Lana Tai - no dia em que nasceu uma aquarela* (2012, para orquestra de cordas)
- *O Azeite, a lua e o rio - numa ilha rodeada de ouro, com água até o joelho* (2013, para flauta; clarinete/clarone e violoncelo)
- *Labori Ruinae* (2014, para conjunto de câmara)

4.1 *Lana Tai - no dia em que nasceu uma aquarela*

4.1.1 Contexto e Ponto de Vista

A Subseção 4.1 trata do relato de um processo criativo no qual utilizou-se estratégias composicionais vinculadas a análises de conteúdo espectral com descritores de áudio. Destacamos que os principais aspectos do planejamento e da estratégia composicional, descritos nos próximos parágrafos, foram publicados no trabalho *Lana Tai - no dia em que nasceu uma aquarela: diário de bordo de uma composição a partir de descritores de áudio* (Simurra & Manzolli 2015). Já a partitura da obra foi publicada em 2014 (Simurra 2014). No trabalho aqui reportado, utilizamos dois descritores de áudio, o croma e o centroide. Para aplicar o croma, utilizou-se como referência a classe de altura Ré#. O centroide foi utilizado para apontar configurações brilhantes e opacas. Tal procedimento foi o suporte para a elaboração da obra *Lana Tai - no dia em que nasceu uma aquarela*, para orquestra de cordas. O concerto do qual a obra participou foi realizado pela Orquestra Sinfônica da Unicamp, em outubro de 2012, sob a regência do maestro Akira Miyashiro¹. Em 2012, *Lana Tai* foi submetida e aprovada no Exame de Composição, exigência obrigatória junto à Área de Processos Criativos, do Programa de Pós-Graduação do Instituto de Artes da UNICAMP.

Tal como apresentado no Capítulo 2, o processo criativo aqui reportado partiu de dois universos: *a)* as ferramentas computacionais para analisar e descrever estatisticamente as características do comportamento do espectro de frequências sonoras com *b)* os modos específicos de execução instrumental estendida e em orquestração. Assim, desenvolvemos um método para auxiliar o compositor a relacionar: *a)* as descrições de alto nível ou simbólicas, aqui denominadas de “sonoridade” com *b)* os modos específicos de execução instrumental estendida. No caso de *Lana Tai - no dia em que nasceu uma aquarela*, foram exploradas duas ideias contrastantes: *a)* Sonoridades Opacas e *b)* Sonoridades Brilhantes, iniciadas no Ré# e espalhadas por outras alturas musicais.

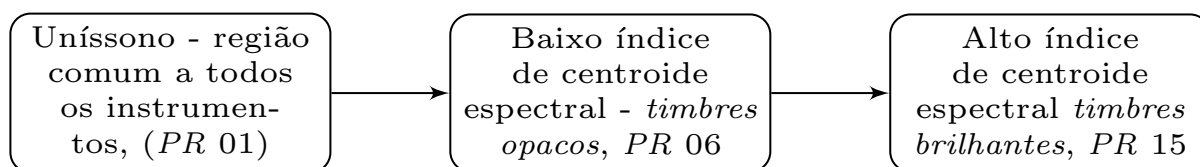
A escolha do efetivo instrumental de *Lana Tai* deu-se por três fatores: 1) “Foco Timbrístico”: optou-se por uma redução na complexidade sonora de uma orquestra sinfônica

¹Para mais informações: <http://tinyurl.com/lana-concerto>, acesso: 22/09/2015

completa. Contudo, a utilização de todos os membros da família das cordas propiciou vários parâmetros de controle da paleta espectral desses instrumentos, ou seja, as possibilidades de misturas desde os contrabaixos até os violinos; 2) “Maior dimensão das texturas sonoras resultantes”: ao utilizar um número maior de instrumentos (maior que o de um quarteto de cordas, por exemplo), a obra explorou resultados timbrísticos mais complexos, com maior controle de nuances sonoras e; 3) “Instrumentação e técnicas estendidas instrumentais particulares do naipe das cordas”: explorou-se as particularidades dos modos de execução dos instrumentos de cordas e, mais ainda, as peculiaridades de cada instrumento participante desse efetivo.

4.1.2 Criação de Possibilidades a partir de Misturas Sonoras

A elaboração dos Pontos de Referência, cuja descrição foi apresentada na Seção 2, apoiou-se em três etapas distintas, na qual a Etapa 1 inicia a trajetória composicional executando uma nota musical em uníssono, a nota Ré#4. Na Etapa 2, desenvolveu-se gradativamente as configurações orquestrais com baixo valor do Centróide para caracterizar sonoridades opacas. Na Etapa 3, finalizamos a trajetória com configurações orquestrais com alto valor de centroide para caracterizar sonoridades brilhantes. No planejamento inicial, determinou-se que a obra tivesse 15 Pontos de Referência, *PR*, os quais se relacionam com as três etapas apresentadas acima. O *PR 06* apresentou o menor valor para o Centróide e o *PR 15* o seu maior valor. As transições entre os *PR*'s agregaram gradualmente diferentes técnicas estendidas, ampliando gradativamente o número de notas e a tessitura de cada naipe. A Figura 4.1 representa a trajetória das transformações timbrísticas que descrevem a sonoridade global de *Lana Tai*:



Ex. 4.1: Diagrama geral do percurso timbrístico em *Lana Tai*.

As Misturas Sonoras, *MS*, foram gerados com a ajuda de suporte computacional e com amostras do banco sonoro digital, descrito na Seção 2.2. As *MS* foram geradas misturando-se as amostras com o software Logic Pro e depois de criá-los, foi possível calcular os valores do croma e centroide espectral para cada um deles.

O processo composicional concentrou-se em estabelecer relações de proximidade e distanciamento entre os Pontos de Referência e as Misturas Sonoras. Os *PR* estabeleceram o ideal sonoro planejado pelo compositor no momento da concepção da obra. Já as *MS* reproduziram a construção possível com o material timbrístico construído com as simulações computacionais. Todas as etapas da geração das *MS* foram realizadas empiricamente, em sua

essência e todas as 15 MS foram analisadas com a biblioteca PDescriptors (Monteiro 2012). O critério final para a escolha das amostras sonoras foi ponderado pela experiência do próprio compositor.

4.1.3 Transcrições

Cada uma das MS está relacionada com as mudanças de registro, alturas de referência e os modos de execução e de instrumentos. Esse procedimento foi utilizado para ampliar, via técnicas instrumentais estendidas, as possibilidades timbrísticas dentro de um âmbito espectral previamente estabelecido. Produziu-se resultantes espectrais relacionadas com características inerentes ao comportamento acústico de cada instrumento. Para a transcrição final da obra, foram escolhidos as MS com os maiores valores no histograma do croma e as classes de altura, a eles associadas, foram utilizadas na transcrição da partitura final (*vide Figura 13*). A Tabela 4.1 apresenta todas as Misturas Sonoras que foram selecionadas para transcrição na obra. A tabela descreve suas respectivas orquestrações, instrumentações e modos de execução. Em suma, a tabela apresentada na Tabela 4.1 foi a referência utilizada para o processo de transcrição dos parâmetros de execução, técnicas estendidas e alturas para a partitura da obra.

Misturas Sonoras	Informações Simbólicas
1	strings-vn(sp); vn(asp); vc(sp); cb(sp)-mf-Ré#
2	vn(ast-Ré#5); vn(ast-Ré#4); va(ast-Ré#3); vc(ast-Ré#4); cb(asp-Ré#4)
3	vn(arthm-tr-Ré7); vn(bb-Si3); va(trem-Ré#5f); vc(cr-Sol#3-Ré#3); cb(ast-Si1)
4	vn(harm-ast-Ré#7); vn(ast-Lá5-Dó5); va(ast-Fá5-Ré6); vc(trem-Fá5-Fá#4-ast); cb(ast-Lá#2)
5	vn(artharm-Fá7); vn(artharm-Fá7); vn(asp-trem-Dó6); vn(ord-Lá#4); va(szf-Sol#+3); vc(artharm-Dó7); vc(tratto-Lá#4); cb(nonvib-Fá#3)
6	vc(sord-nonvib-Lá#2); vc(sord-nonvib-Fá2); cb(sord-nonvib-Dó+2); cb(sord-nonvib-Fá#1)
7	vn(artharm-trem-Lá#7); vn(sord-ast-Fá+5); vn(sord-ast-Ré4); va(sord-ord-Lá#3); vc(ast-Fá2); cb(ast-Si2)
8	vn(ast-Si5); vn(ast-Si+5); va(ast-Fá+3); vc(ast-Si+2); cb(pizz-lv-Fá+2)
9	vn(ast-Sol#5); vn(ast-Sol5); va(ast-Sol4); vc(nonvib-Si3); cb(ast-Si2)
10	vn(asp-Ré6); vn(ast-Lá#5); vn(ast-Sol4); va(ast-Fá#3); va(asp-Ré#3); vc(asp-Si2); cb(ord-Si2)
11	vn(artharm-Ré#7); vn(artharm-Lá6); vn(ast-Sol#5); vn(ord-Ré#5); va(asp-Dó5); va(asp-Ré#4); vc(ast-Fá#4); vc(ast-Sol4); cb(ord-Dó#4)
12	vn(artharm-Ré#7); vn(artharm-Lá#6); vn(artharm-Sol6); vn(ord-Ré#5); va(ast-Fá5); va(asp-Ré#4); vc(asp-Dó5); vc(ast-Mi5); cb(ord-Dó4)
13	vn(artharm-Sol7); vn(artharm-Ré7); vn(artharm-Fá6); vn(ast-Ré#6); va(artharm-Ré#7); va(artharm-Fá6); vc(artharm-Mi6)
14	vn(artharm-Ré#8); vn(artharm-Lá#7); vn(ord-Fá7)
15	vn(artharm-Lá#7); vn(artharm-Ré#7); vn(artharm-Fá7)

Tabela 4.1: As abreviações indicam o instrumento (vn = violino; va = viola; vc = violoncelo e cb = contrabaixo) e os modos de execução (ord = ordinario; ast = alto sul tasto; asp = alto sul ponticello; bb = behind the bridge; arthm = artificial harmonic; trem = tremolo; cr = crushed; szf = sforzando; tratto = col legno tratto; nonvib = non vibrato; sord = sordina; pizzliv = pizzicato laisser vibrer).

Na Figura 4.2, apresentamos 03 excertos de *Lana Tai* que estão relacionados com: *a*) a utilização das Misturas Sonoras, em uníssono, no começo da obra, 4.2a; *b*) em regiões graves próximo do meio da obra 4.2b e; *c*) em regiões mais agudas no fim da obra 4.2c. Na transcrição para a partitura, utilizou-se cada uma das MS de forma a relacionar os instrumentos

participantes e as técnicas estendidas, 4.1, com um processo específico de escrita do compositor, alternando e variando as durações, as figurações rítmicas e o tempo de permanência, dado em número de compassos.

The image displays three musical excerpts labeled (a), (b), and (c).
 (a) Features Violin I and II, Viola, Violoncello, and Contrabasso. The tempo is marked $\text{♩} = 53$. Violin I and II play a melodic line with dynamics mf and mp . The strings play a sustained accompaniment with dynamics mf .
 (b) Features Violoncello and Contrabasso. The tempo is $\text{♩} = 53$. Both instruments play a melodic line with dynamics pp .
 (c) Features Violin I, Violin II, and Violoncello. The tempo is $\text{♩} = 53$. Violin I and II play a melodic line with dynamics mf and ff . The Violoncello plays a sustained accompaniment with dynamics f and ff .

Ex. 4.2: Excertos das três etapas estruturais da sonoridade global de *Lana Tai*.

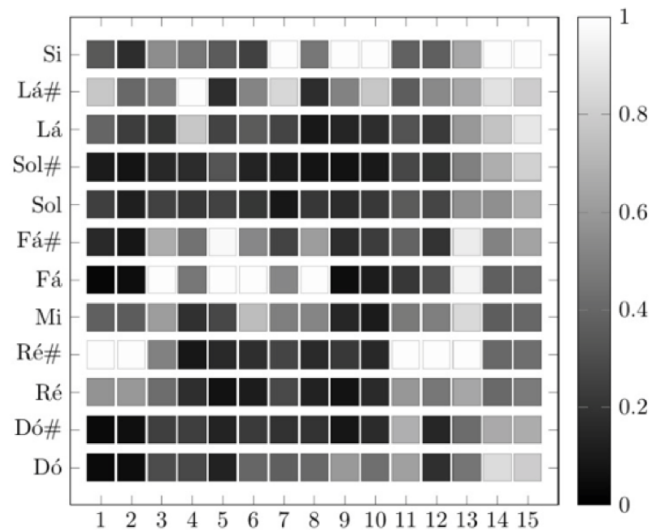
A obra *Lana Tai* começa em uníssono com apenas um instrumento de cada naipe executando a nota Ré#4 4.2a. Iniciou-se a obra com o mínimo de multiplicidade de timbre e, a partir daí, transformou-se a sonoridade da orquestra, de modo a torná-la mais complexa. Para esse desenvolvimento, foram utilizadas diversas técnicas estendidas de execução instrumental e aumentou-se gradativamente o número de alturas diferentes e a tessitura de cada naipe. Propiciou-se uma maior distribuição de notas da escala cromática pelos naipes da orquestra. Tal procedimento, como já mencionado anteriormente, foi tratado como uma trajetória e dividiu-se em 3 etapas, nas quais *a*) inicia-se numa frequência comum a todos os instrumentos, ou seja, o Ré#4 311 Hz; *b*) desloca-se para uma região grave, até a MS 6 executado por contrabaixos e violoncelos, Fá#1 46 Hz e, por fim; *c*) move-se para a região mais aguda, até a MS 15, com os violinos executando Ré#7 2489 Hz (essas três etapas estão relacionadas com o diagrama da Figura 4.1).

De modo sucinto, este experimento apresenta uma metodologia para orquestração assistida por computador na qual descrições de alto-nível foram relacionadas à execução instrumental para caracterizar, via descritores de áudio, duas tipologias de sonoridades. A discussão apresentada na Seção 4.1.4 tem objetivo de verificar os resultados desse método

utilizando o croma para discutir a interação entre as classes de altura e a complexidade tímbrica das MS. Verificamos, ainda, como os valores do centroide caracterizam as variações das duas sonoridades em cada MS relacionadas com a estrutura formal da obra.

4.1.4 Análise

A Tabela 4.1 está associada aos valores extraídos do croma para cada uma das 12 classes de alturas das 15 MS. A partir dessa tabela construímos o gráfico da Figura 4.3, que descreve mais detalhadamente essas 15 distribuições. As gradações associadas aos quadros brancos e pretos, indicam os valores da pertinência de cada classe de altura. Os valores foram normalizados no intervalo [0...1]. A variação de cinza está associada respectivamente ao valor mínimo zero para quadros pretos e o valor máximo um para quadros brancos. Verifica-se nesse gráfico que há uma polarização entre as notas *Ré#*, *Lá#*, *Fá* e *Si*.



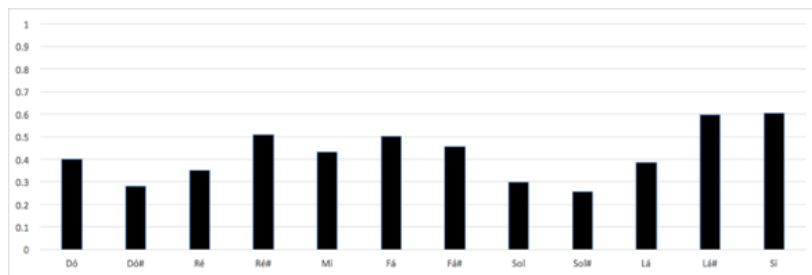
Ex. 4.3: Gráfico de Croma das 15 MS. As linhas são associadas às classes de altura e as colunas às MS.

A Figura 4.3 ilustra que as classes de alturas das quais não se relacionam aos primeiros componentes espectrais de *Ré#*, só obtiveram acúmulos de energia, a partir da MS 13. Ou seja, a medida que a trajetória dirigiu-se para o agudo utilizou-se componentes espectrais mais distantes da referência *Ré#*. Num segundo ponto de análise, podemos descrever a média de energia acumulada nas 12 classes de altura do croma. Com esse procedimento, teremos uma ideia global de como os componentes espectrais estão correlacionados na obra. Para realizar essa análise, calculamos o histograma que integra todos os valores P_i com $i=1...12$,

acumulados nas 15 Misturas Sonoras, utilizando Eq. 4.1 a seguir:

$$\mathbf{P}_i = \frac{1}{15} \sum_{j=1}^{15} D_i^j \quad (4.1)$$

com $i = 1..12$, $j=1..15$ e os valores foram retirados da tabela da Figura 4.3. Ou seja, uma média da energia acumulada em cada marco sonoro. O resultado dessa formulação é apresentado na Figura 4.4:

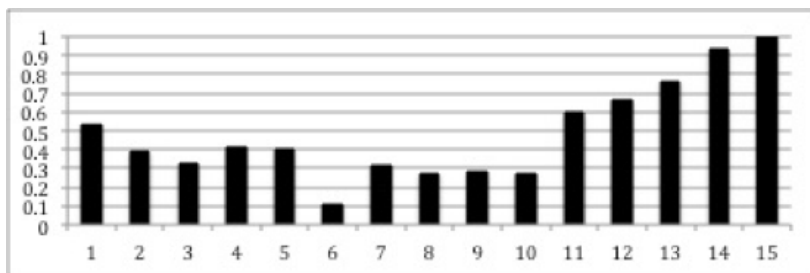


Ex. 4.4: Gráfico de Croma das 15 MS. As linhas são associadas às classes de altura e as colunas às MS.

Ao utilizar o descritor croma, no processo composicional, relacionamos as classes de altura com as técnicas estendidas. Criou-se uma dependência direta entre o conteúdo do espectro sonoro com as representações simbólicas utilizadas na transcrição da partitura. Esse processo ampliou, via técnicas instrumentais estendidas, as possibilidades timbrísticas contidas na referência espectral da nota *Ré#*, previamente estabelecida. Assim, a paleta sonora da orquestra de cordas foi ampliada com as técnicas de execução contrastantes, como nas regiões graves, agudas e nas diversas possibilidades de inserção de sons não idiomáticos. Do ponto de vista das características timbrísticas extraídas com o centroide, as três principais etapas estruturais do planejamento composicional de *Lana Tai*, foram ressaltadas nas MS 1, MS 6 e MS 15 como descrito no histograma da Figura 4.5. Vê-se claramente o perfil de variação do centroide que, entre as MS 01 e 10 tem a tendência de diminuir o seu valor e depois há um aumento gradual entre as MS 11 e 15.

A variação do histograma do centroide reflete o ideal arquitetado nos Pontos de Referência e construídos nas 15 Misturas Sonoras. A partir desse perfil foi possível descrever a estrutura formal da obra, à qual organiza-se em três grupos distintos, os quais iniciam-se nas MS 01, MS 06 e MS 11. Cada conjunto possui 05 Misturas Sonoras. Há uma ruptura na transição entre os três conjuntos. Pela Figura 4.4, há uma diferença de aproximadamente 20% entre a MS 05 e MS 06 e de 30% entre MS 10 e MS 11. A Tabela 4.2 descreve sucintamente a estrutura formal da obra tomando como referência os valores do centroide.

A título de exemplo de como a orquestração relacionou-se com o centroide, destacamos que os instrumentos mais graves, os violoncelos e os contrabaixos, foram executados com



Ex. 4.5: Histograma com os valores de centroide de cada MS

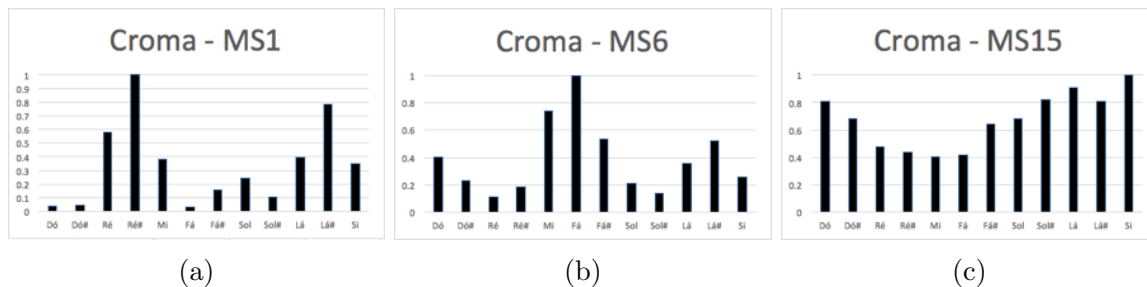
Estrutura Formal de <i>Lana Tai – no dia em que nasceu uma aquarela</i>				
Etapa 1: Uníssono	Ruptura	Etapa 2: Região mais grave	Ruptura	Etapa 3: Região mais aguda
MS 1 – MS 5		MS 6 – MS 10		MS 11 – MS 15

Tabela 4.2: Estrutura formal de *Lana Tai*, a partir dos conjuntos organizados pelos Pontos de Referência.

sordina, *molto sul tasto* e com dinâmicas musicais em *pianíssimos* ou *pianissimos*, em trechos nos quais há baixos índices de centroide. Isso ocorreu para que as implementações técnicas não enfatizassem componentes espectrais de alta frequência. Tanto a *sordina* quanto a técnica de execução em *molto sul tasto*, inibem a presença desses componentes espectrais de alta frequência.

Finalmente, podemos integrar na nossa discussão a relação entre a polarização relacionada ao croma e o contraste de sonoridade do centroide. No início da obra, em uníssono, os primeiros componentes espectrais da classe de altura *Ré#* enfatizam o acorde *Ré-Sol-Lá#*. Na Tabela 4.1, verifica-se que, quando o violino executa a nota *Si* atrás do cavalete e o contrabaixo executa a nota *Si* em alto sul tasto, há uma diminuição do valor do centroide (MS3). Na MS 6, ao qual possui o menor índice de centroide, há ênfase no acorde *Fá-Dó-Lá#*. Já na MS 15, no qual explora-se a região mais aguda da obra, não há polarização de uma nota, resultando numa maior dispersão da energia nas classes de alturas musicais. Na Figura 4.6, há três histogramas da distribuição do croma que descrevem o resultado sonoro nas MS 1, 6 e 15. À esquerda, o histograma descreve a forte polarização entre *Ré#* e *Lá#* da MS 1. No centro, há a distribuição da MS 6 na qual obteve, como resultado sonoro, a polarização do acorde *Fá-Dó-Lá#*. À direita, a MS 15, no qual utilizou-se o acorde *Ré#-Fá-Lá#*, resultou em maior dispersão no acúmulo de energia nas classes de alturas musicais.

Apresentamos o estudo piloto sobre a aplicação de descritores de áudio em orquestração assistida por computador visando a composição de uma obra para orquestra de cordas. A motivação para criar-se *Lana Tai–no dia em que nasceu uma aquarela* centrou-se no estudo de técnicas MIR como ferramenta para criação musical. A metodologia aqui apresentada versou sobre o planejamento de Pontos de Referência e a construção de Misturas Sonoras das quais foram ancoradas em dois descritores de áudio: croma e centroide. Assim, partindo



Ex. 4.6: Histogramas do Croma em três momentos estruturais de *Lana Tai*.

de dois universos: as técnicas de execução instrumental estendidas e os descritores de áudio, desenvolvemos um método para auxiliar o compositor a relacionar descrições de alto nível com modos específicos de execução instrumental estendida. Focou-se a caracterização do timbre sonoro/musical relacionado-o às técnicas de execução instrumental e as suas respectivas orquestrações com o objetivo de obter controles e manipulações mais refinadas. A partir do método aqui apresentado, ampliamos nossa pesquisa ao criar novos estudos composicionais nos quais pudemos explorar outras sonoridades. A Seção 4.2 apresenta as principais características e estratégias do planejamento composicional da obra *O Azeite, a lua e o rio - numa ilha rodeada de ouro, com água até o Joelho*.

4.2 *O Azeite, a lua e o rio - numa ilha rodeada de ouro, com água até o Joelho*

4.2.1 Contexto e Ponto de Vista

Esta Subseção 4.2, trata do segundo Diário de Bordo² relacionado a uma série de composições cujo objetivo centra-se na criação de sonoridades utilizando-se recursos de Análise e Orquestração Musical Assistida por Computador, a partir da análise de conteúdo espectral. Utilizamos tal procedimento para elaborar a obra *O azeite, a lua e o rio - numa ilha rodeada de ouro, com água até o Joelho*, para flauta; clarinete e violoncelo. A obra foi composta em 2013 e a sua estreia foi realizada durante a 14^o Conferência da *International Society for Music Information Retrieval - ISMIR*, em Curitiba, Paraná³. A obra parte do planejamento de sonoridades contrastantes, denominadas aveludadas e rugosas e da variação de suas intensidades em diferentes âmbitos de dinâmica. Iniciamos nosso projeto com a proposta de quatro variações: *a)* sonoridades aveludadas, com pouca intensidade; *b)* sonoridades rugosas,

²O Primeiro Diário de Bordo discutiu os principais aspectos do planejamento composicional da obra *Lana Tai - no dia em que nasceu uma aquarela*. Tais questões foram levantadas na Seção 4.1.

³Para mais informações, acessar: <http://ismir2013.ismir.net/accepted-music-works/>. Data de acesso: 29/09/2015.

com pouca intensidade; *c)* sonoridades rugosas, com acentuada intensidade e; *d)* sonoridades aveludadas, com acentuada intensidade. O segundo passo foi encontrar os descritores de áudio que se relacionassem com as mesmas. Utilizando as referências da literatura disposta na Seção 2.2, pudemos inferir que os descritores que melhor se inseriram ao nosso planejamento seriam: irregularidade espectral, *loudness* e croma. Nos próximos parágrafos, descrevemos os conceitos-chave do processo criativo de *O azeite, a lua e o rio*, o qual foi constituído pelas etapas apresentadas no Capítulo 2: *a)* definição das características timbrísticas a partir dos descritores; *b)* Pontos de Referência; *c)* Misturas Sonoras e *d)* transcrição das combinações simuladas nas Misturas Sonoras na partitura.

4.2.2 Criação de Possibilidades a partir de Misturas Sonoras

De acordo com o exposto anteriormente, partimos de quatro Pontos de Referência os quais definiram a trajetória inicial da obra por intermédio da manipulação da irregularidade espectral e do *loudness*. Os quatro pontos são os seguintes:

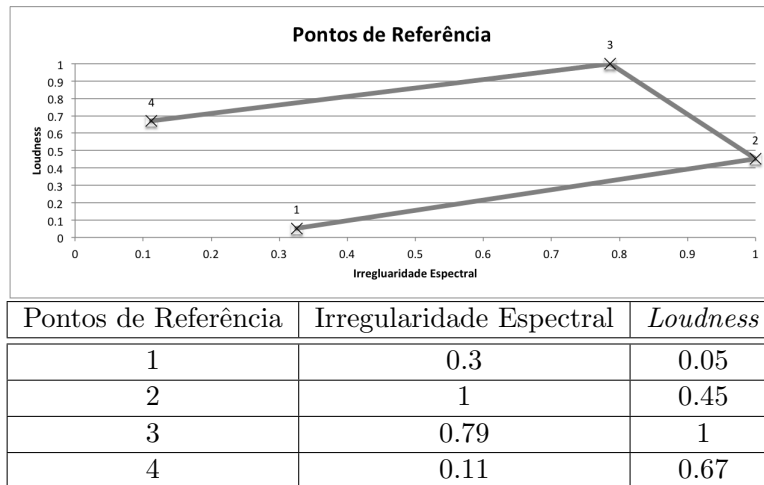
- Ponto de Referência 1: baixa intensidade sonora e baixa irregularidade, resultando em sonoridades aveludadas;
- Ponto de Referência 2: baixa intensidade sonora e alta irregularidade, resultando em sonoridades rugosas;
- Ponto de Referência 3: alta intensidade sonora e alta irregularidade, resultando em sonoridades rugosas;
- Ponto de Referência 4: alta intensidade sonora e baixa irregularidade, resultando em sonoridades aveludadas.

Os Pontos de Referência configuraram-se como os pontos de balizamento da trajetória timbrística da obra. A Figura 4.7 ilustra o planejamento estabelecido:

Os quatro Pontos de Referência foram realizados empiricamente, em sua essência, a partir do banco de amostras sonoras digitais, descrito na Seção 2.3, do Capítulo 2. Nesses experimentos, utilizamos as técnicas instrumentais, alturas e dinâmicas musicais para relacioná-las com os Pontos de Referência. Essas são apresentadas na Tabela 4.3:

4.2.3 Transcrições

Estabelecidos os quatro Pontos de Referência, o próximo passo concentrou-se em realizar simulações computacionais, para ampliar as possibilidades de combinações instrumentais tomando como ponto de partida as técnicas instrumentais, alturas e dinâmicas musicais, estabelecidas anteriormente nos Pontos de Referência. Na Figura 4.8, apresentamos a transcrição dos 04 Pontos de Referência, implementados na escritura de *O azeite, a lua e o rio*:



Ex. 4.7: Gráfico com os Pontos de Referência, utilizando os descritores de áudio. Abaixo, a tabela com os índices de cada descritor de áudio para elaborar os Pontos de Referência

Pontos de Referência	Fl.	Cl./BCl	Vc.
1 - menor Loudness e menor irregularidade	Whistle Tone, F46, pp	Ordinario, L45, pp	Alto Sul Tasto, Si3, pp
2 - menor Loudness e maior irregularidade	Nota + Voz, F4#4, mf	Aeolian Sound, Si4, pp	Col Legno Tratto, Ré#2, mf
3 - maior Loudness e maior irregularidade	Aeolian Sound + Nota, L46, ff	Multifônico, Ré4, mf	Arco Overpressure, Ré#3, mf
4 - maior Loudness e menor irregularidade	Senza Vibrato, F4#4, mf	High Register, L46, ff	Alto Sul Ponticello, Ré2, mf

Tabela 4.3: Tabela com indicações de técnicas de execução, alturas e dinâmicas musicais para os quatro ‘Pontos de Referência’ de ‘O azeite, a lua e o rio’.

(a) PR 1

(b) PR 2

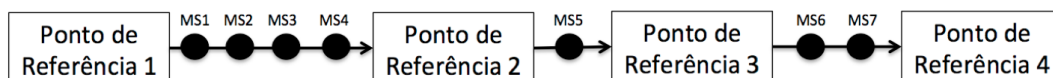
(c) PR 3

(d) PR 4

Ex. 4.8: Transcrição dos 04 PR's, implementados em *O azeite, a lua e o rio*.

Assim como nos PR's, as Misturas Sonoras (MS) foram geradas com registros sonoros digitais de diversos modos de ataque, articulações e técnicas estendidas instrumentais. No total, realizamos 07 simulações com as Misturas Sonoras. As alterações em técnicas estendidas,

dinâmicas e alturas musicais foram ponderadas pelos critérios estéticos e pela experiência do próprio compositor. Desta forma, foi possível encontrar outras possibilidades e desenvolver um mecanismo de interpolação entre os Pontos de Referência (PR). Entre os PRs 1 e 2 inserimos mais 04 MS. Entre os PRs 2 e 3, inserimos uma 01 MS. Por fim, entre os PRs 3 e 4 inserimos mais 02 MS. O diagrama da Figura 4.9 sintetiza as o processo de interpolação relacionando os PR (1, 2, 3, 4) com as MS (1,2,3,4,5,6,7).



Ex. 4.9: Diagrama de Bloco das etapas do planejamento composicional de *O azeite, a lua e o rio*.

A Tabela 4.4, a seguir, apresenta a técnica instrumental, dinâmica e instrumento relacionados com cada Mistura Sonora:

Misturas Sonoras	Flauta	Clarinete/Clarone	Violoncelo
Misturas Sonoras I	Whistle Tone, F \sharp 6, pp	Ordinario, L \acute{a} 4, p	Alto Sul Tasto, R \acute{e} \#3, p
Misturas Sonoras II	Nota + Som eólico, F \acute{a} 5, pp	Frullato, L \acute{a} 6, mf	Alto Sul Tasto Tremolo, Si2, mf
Misturas Sonoras III	Multifônicos, D \acute{o} 5, mf	Frullato, R \acute{e} 3, mf	Arco Overpressure, R \acute{e} 3, mf
Misturas Sonoras IV	Nota + Voz, D \acute{o} 5 + Si5, ff	Multifônico, Sib3, f	Arco Overpressure, F \acute{a} \#3, mf
Misturas Sonoras V	Multifônico, F \acute{a} \#5, mf	Ordinario, L \acute{a} 2, f	Alto Sul Ponticello, D \acute{o} \#5, mf
Misturas Sonoras VI	Bisbigliando, Mi5, mf	Frullato, F \acute{a} 3, ff	Alto Sul Ponticello, R \acute{e} \#5, ff
Misturas Sonoras VII	Ordinario, F \acute{a} 4, ff	Ordinario, Si2, mf	Harmônico Artificial, L \acute{a} \#6, mf

Tabela 4.4: Tabela com indicações de técnicas de execução, alturas e dinâmicas musicais para as sete Misturas Sonoras de *O azeite, a lua e o rio*.

Na Figura 4.10, a seguir, apresentamos a transcrição das Misturas Sonoras, implementados na escritura de *O azeite, a lua e o rio*.

Definidas todas as sonoridades da composição, aplicamos um método de transcrição musical relacionado as possibilidades obtidas com as Misturas Sonoras. Para tanto, analisamos as sonoridades dos 04 Pontos de Referência e das 07 Misturas Sonoras como o croma. Partimos do princípio que as diversas técnicas estendidas e as misturas instrumentais ressaltam ou inibem a presença de determinadas alturas em função de sua configuração timbrística. Utilizando o histograma com as 12 alturas do croma, obtivemos o valor relativo de cada classe de altura. O procedimento é exemplificado a seguir em dois exemplos nos quais utilizamos o croma para transcrição melódica e motivica da obra. No primeiro exemplo apresentamos o croma da Mistura Sonora I. A Figura 4.11 apresenta o histograma das 12 classes de alturas, no qual ressaltam-se as notas F \acute{a} , Si, L \acute{a} , R \acute{e} , Sol e D \acute{o} :

O excerto, apresentado pelo Figura 4.12, a seguir, demonstra a aplicação dos dados extraídos pelo Croma no desenvolvimento composicional da obra. Observa-se que as notas

(a) MS 1: whistle tone, pp, S.V., n, p

(b) MS 2: aeolian sound + note, pp, high register, mf, AST

(c) MS 3: mp, mf

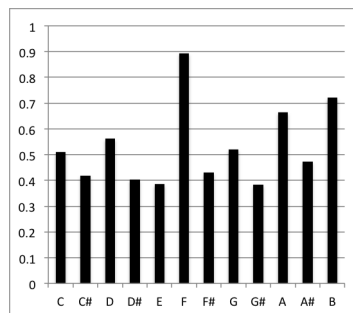
(d) MS 4: with voice, ff, mp, f, mf

(e) MS 5: mf, poco Vibr., ASP, S.V., (mf)

(f) MS 6: key tr., mf, ff, ASP, ff

(g) MS 7: poco Vibr., mf, ff, poco Vibr., mf

Ex. 4.10: Excertos das 07 MS, transcritas na partitura de *O azeite, a lua e o rio*.



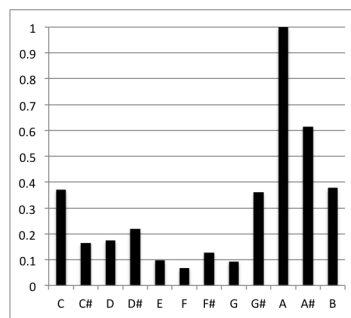
Ex. 4.11: Análise do cromatismo da Mistura Sonora I.

musicais mais proeminentes, tais como o tetracorde *Si, Ré, Fá, Lá* e *Dó*, assim como as notas com menor índice de energia, como *Sol#* e *Mi*, foram utilizadas em durações mais longas e menos articuladas ritmicamente:

Outro exemplo localiza-se na análise do Ponto de Referência 3. A Figura 4.13 apresenta os seguintes dados extraídos pelo cromatismo:

Semelhante ao método discutido na análise da Mistura Sonora I, no excerto apresentado

Ex. 4.12: Excerto da utilização dos dados no croma da Mistura Sonora I.



Ex. 4.13: Análise do croma do Ponto de Referência 3.

pela Figura 4.14, observa-se que as notas musicais mais proeminentes, tais como *Sol#*, *Lá*, *Lá#*, *Si* e *Dó*, assim como a nota *Fá*, com o menor índice de energia, foram utilizadas em durações mais longas e menos articuladas ritmicamente:

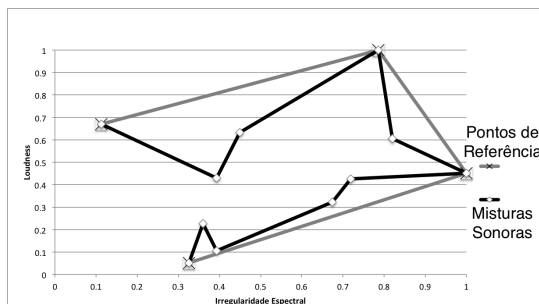
Ao determinar o material melódico, a partir do croma, estabelecemos a coesão do resultado composicional da obra com as sonoridades estipuladas pelos descritores de irregularidade espectral e *loudness*. Na Seção 4.2.4, discutimos a variedade de informações musicais, como as técnicas estendidas e as respectivas dinâmicas associadas aos dados descritores de áudio.

4.2.4 Análise

As Seções 4.2.2 e 4.2.3 apresentaram a planejamento e a transcrição do processo de orquestração assistida por computador, na qual descrições de alto nível foram relacionadas com a execução instrumental. Caracterizamos, via descritores de áudio, duas tipologias de sonoridades: sons lisos ou rugosos e diferentes intensidades sonoras, respectivamente

Ex. 4.14: Excerto da utilização dos dados do croma no Ponto de Referência I.

relacionados, aos descritores *loudness* e irregularidade espectral. Posteriormente, analisamos cada um dos 04 Pontos de Referência e das 07 Misturas Sonoras com o descritor Croma, com o qual elaboramos as estruturas melódicas da obra. Para a análise dessa Seção 4.2.4, todos os dados coletados foram normalizados no intervalo [0, ..., 1]. Tais sonoridades interpolaram os Pontos de Referência. A Figura 4.15, apresenta o gráfico com a trajetória dos PR's, representados pela linha cinza, e das MS's, representadas pela linha preta.



Sonoridades	Pontos de Referência		Misturas Sonoras	
	Irregularidade	Loudness	Irregularidade	Loudness
1 - Ponto de Referência 1	0.32	0.05	0.32	0.05
2 - Mistura Sonora I	0.36	0.07	0.36	0.22
3 - Mistura Sonora II	0.39	0.09	0.39	0.11
4 - Mistura Sonora III	0.67	0.26	0.67	0.32
5 - Mistura Sonora IV	0.72	0.29	0.72	0.42
6 - Ponto de Referência 2	1.00	0.45	1.00	0.45
7 - Mistura Sonora V	0.94	0.61	0.82	0.61
8 - Ponto de Referência 3	0.79	1.00	0.79	1.00
9 - Mistura Sonora VI	0.45	0.83	0.45	0.63
10 - Mistura Sonora VI I	0.39	0.80	0.39	0.43
11 - Ponto de Referência 4	0.11	0.67	0.11	0.67

Ex. 4.15: Gráfico com o momento no qual cada MS' relaciona-se com a trajetória dos PRs. A tabela, ao lado, apresenta os dados coletados a partir do gráfico.

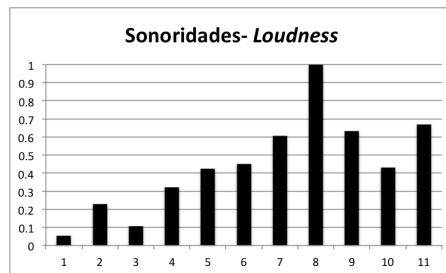
As Tabelas 4.5 e 4.4, demonstraram como as técnicas instrumentais, as alturas e as dinâmicas musicais relacionam-se com as características timbrísticas extraídas com os descritores de áudio. A Tabela 4.5, sintetiza as informações simbólicas de todas as sonoridades implementadas na obra:

Com relação ao *loudness*, a obra inicia-se com sonoridades de menor intensidade e termina em sonoridades de maior intensidade. O histograma da Figura 4.16, descreve a variação

Sonoridades	Flauta	Clarinete/Clarone	Violoncelo
Ponto de Referência 1	<i>Whistle Tone, Fá6, pp</i>	<i>Ordinario, Lá5, pp</i>	<i>Alto Sul Tasto, Si3, pp</i>
Mistura Sonora I	<i>Whistle Tone, Fá#6, pp</i>	<i>Ordinario, Lá4, p</i>	<i>Alto Sul Tasto, Ré#3, p</i>
Mistura Sonora II	<i>Nota + Som edólico, Fá5, pp</i>	<i>Frullato, Lá6, mf</i>	<i>Alto Sul Tasto Tremolo, Si2, mf</i>
Mistura Sonora III	<i>Multifônicos, Dó5, mf</i>	<i>Frullato, Ré3, mf</i>	<i>Arco Overpressure, Ré3, mf</i>
Mistura Sonora IV	<i>Nota + Voz, Dó5 + Si5, ff</i>	<i>Multifônico, Sib3, f</i>	<i>Arco Overpressure, Fá#3, mf</i>
Ponto de Referência 2	<i>Nota + Voz, Fá#4, mf</i>	<i>Aeolian Sound, Si4, pp</i>	<i>Col Legno Tratto, Ré#2, mf</i>
Mistura Sonora V	<i>Multifônico, Fá#5, mf</i>	<i>Ordinario, Lá2, f</i>	<i>Alto Sul Ponticello, Dó#5, mf</i>
Ponto de Referência 3	<i>Aeolian Sound + Nota, Lá6, ff</i>	<i>Multifônico, Ré4, mf</i>	<i>Arco Overpressure, Ré#3, mf</i>
Mistura Sonora VI	<i>Bisbigliando, Mi5, mf</i>	<i>Frullato, Fá3, ff</i>	<i>Alto Sul Ponticello, Ré#5, ff</i>
Mistura Sonora VII	<i>Ordinario, Fá4, ff</i>	<i>Ordinario, Si2, mf</i>	<i>Harmônico Artificial, Lá#6, mf</i>
Ponto de Referência 4	<i>Senza Vibrato, Fá#4, mf</i>	<i>High Register, Lá6, ff</i>	<i>Alto Sul Ponticello, Ré2, mf</i>

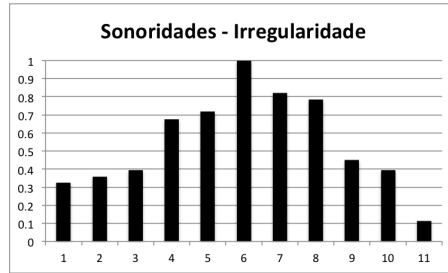
Tabela 4.5: Tabela com todas as sonoridades implementadas em *O azeite, a lua e o rio*.

do Loudness arquitetada na obra. Como planejado inicialmente, seu clímax localiza-se no Ponto de Referência 3. Para detalhar a variação de *loudness* no resultado timbrístico da obra, a Mistura Sonora IV, representado pela quinta barra da Figura 4.16, possui a seguinte configuração instrumental: flauta executando as notas *Dó5* e *Sol5*, em dinâmica musical fortissimo. O Ponto de Referência 3, o qual apresenta o maior índice de *loudness*, a flauta desenvolve-se em uma região mais aguda, *Lá6* mas com a mesma dinâmica musical da Mistura Sonora IV, *fortissimo*. Para a percepção de igual intensidade, em todas as regiões do espectro de frequência, será necessário um aumento de energia nas regiões extremas, tanto as mais graves quanto as mais agudas.



Ex. 4.16: Análise de Loudness de cada sonoridade em *O azeite, a lua e o rio*. As 11 barras do histograma estão associadas aos 4 Pontos de Referência e às 7 Misturas Sonoras. A oitava barra representa o *loudness* do Ponto de Referência 3.

Do ponto de vista da análise de sonoridades lisas e rugosas, o planejamento composicional da obra inicia-se e encerra-se com sonoridades aveludadas. O seu clímax localiza-se no Ponto de Referência 2, no qual atinge o maior índice de irregularidade, resultante na percepção subjetiva de sonoridades rugosas. A Figura 4.17 demonstra o comportamento de cada sonoridade a partir do ponto de vista do descritor de irregularidade espectral.



Ex. 4.17: Histograma com os dados das análises do descritor de irregularidade espectral. A sonoridade 06 representa o Ponto de Referência 2.

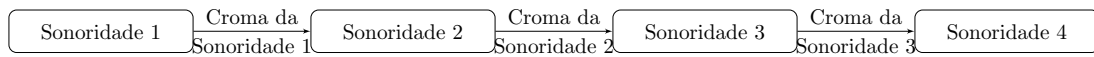
Relacionamos a Tabela 4.5 com o histograma da Figura 4.17. Nas sonoridades iniciais e finais, de 1 a 3 e de 9 a 11, respectivamente, percebe-se a presença de determinadas técnicas instrumentais, cuja percepção resulta em sonoridades aveludadas e delicadas. Essas, referem-se aos *bisbigliandos* e aos *whistle tones*, nas madeiras e aos arcos em *sul tasto* e em *sul ponticello*, no violoncelo. Já o intervalo compreendendo as sonoridades 4 e 8, indica a correlação entre o índice de irregularidade e a presença de determinadas técnicas estendidas, cuja resultante relaciona-se com a presença de ruído sonoro instrumental. As técnicas utilizadas referem-se, principalmente, aos multifônicos, nas madeiras, e na técnica de *bowing overpressure* ou “forte pressão de arco”, no violoncelo. Apresentamos, na Figura 4.18, as técnicas utilizadas para controlar e alterar o timbre instrumental, de acordo com as características descritas anteriormente:

(a)
(b)
(c)

Ex. 4.18: Transcrição de três sonoridades com diferentes índices de irregularidade: a) Irregularidade Baixa; b) Irregularidade Alta e; c) Irregularidade Baixa.

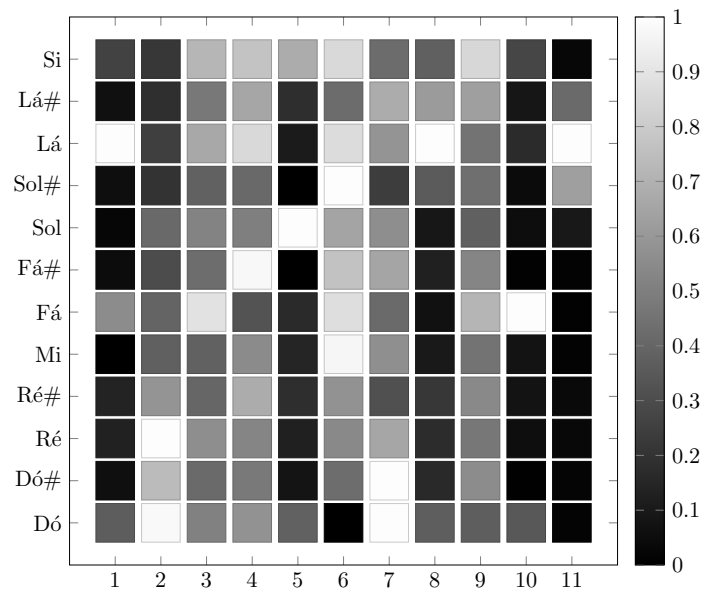
Como destacado anteriormente, utilizamos as informações do descritor cromático para elaborar as estruturas melódicas de *O azeite, a lua e o rio*. As alturas musicais com maiores índices de energia, assim como as alturas com menores índices foram dispostas com maior

destaque na obra. Tais estruturas, derivadas a partir da análise do cromatismo, interpolaram as sonoridades implementadas na obra. O diagrama da Figura 4.19 apresenta o fluxo das quatro primeiras etapas do planejamento composicional, relacionando as sonoridades com o cromatismo espectral:



Ex. 4.19: Diagrama de Bloco das quatro primeiras etapas do planejamento composicional, relacionando as Sonoridades com os dados extraídos pelo cromatismo.

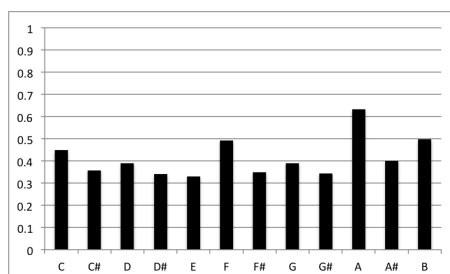
Posteriormente, analisamos todas as sonoridades do ponto de vista do cromatismo. Tal procedimento revelou a pertinência de cada altura musical na construção timbrística de cada uma. Elaboramos a Tabela 4.20, a seguir, associando os valores extraídos do cromatismo para cada uma das 12 classes de alturas das 11 sonoridades. As gradações associadas aos quadros brancos e pretos, indicam os valores da pertinência de cada classe de altura. Os valores foram normalizados no intervalo $[0..1]$. A variação de cinza está associada respectivamente ao valor mínimo “zero” para quadros pretos e o valor máximo “um” para quadros brancos.



Ex. 4.20: Gráfico de cromatismo das 11 sonoridades. As linhas são associadas às classes de altura e as colunas às sonoridades.

Num segundo momento de análise, podemos descrever a média de energia acumulada nas 12 classes de altura do cromatismo. Com tal procedimento, teremos uma ideia global de como os componentes espectrais estão correlacionados na obra. Calculamos o valor da média de

cada classe de altura, com relação a todas as sonoridades utilizadas na obra. O histograma da Figura 4.21, apresenta o resultado.



Ex. 4.21: Histograma com a média das magnitudes de cada classe de altura das sonoridades de *O azeite, a lua e o rio*.

Apesar da Figura 4.20 indicar, para cada sonoridade, diferentes alturas musicais com maior índice de energia, o valor da média apresentado na Figura 4.21 revela uma polarização do tetracorde *Fá, Lá, Si e Dó* ou o acorde de *Fá Maior com Quarta Aumentada*. Ao utilizar-se o descritor croma no processo composicional, relacionou-se as classes de alturas com as técnicas estendidas. Criou-se uma relação direta do conteúdo do espectro sonoro com as representações simbólicas utilizadas na transcrição da partitura. A paleta sonora foi ampliada com as técnicas de execução contrastantes, como nas regiões graves e agudas, e com as diversas possibilidades de inserção de sons não idiomáticos dos instrumentos musicais. O procedimento utilizado revela-se uma alternativa consistente para elencar os dados espectrais, intrínsecos às características timbrísticas regidas pelo Loudness e pela irregularidade, com a trajetória harmônica e melódica da obra. Adotou-se, portanto, um método no qual os descritores de áudio participaram ativamente e de maneira fundamental junto às estruturas formais, ao longo de toda a obra.

A motivação de *O azeite, a lua e o rio - numa ilha rodeada de ouro, com água até o joelho* concentra-se no estudo de técnicas MIR como ferramenta para criação musical. A metodologia, aqui apresentada, versou sobre o planejamento de sonoridades, cuja característica mais proeminente consiste em transformações timbrísticas, às quais foram ancoradas em três descritores de áudio: *loudness*, irregularidade espectral e croma espectral. A partir da utilização do *loudness*, conseguimos analisar diversos materiais sonoros e obter resultados com os quais se relacionam com sonoridades de menor e maior intensidade. Os parâmetros musicais mais correlacionados com as mudanças de *loudness* são as regiões de oitava com a qual cada nota é executada e as dinâmicas musicais, como por exemplo *pp*, *p*, *mp*, *mf*, *f*, *ff*, etc. De acordo com a análise a partir da irregularidade espectral, podemos verificar que as diferentes técnicas de execução instrumental alteram a percepção timbrística de cada sonoridade analisada. Técnicas instrumentais às quais caracterizam-se pela inserção de ruído instrumental tendem a se relacionar com sonoridades rugosas e estriadas. Inversamente, para

sonoridades aveludadas e lisas, utiliza-se determinadas técnicas instrumentais para resultar em sonoridade mais limpas e claras, como *whistle tones*, nas flautas. Na análise utilizando o croma, verificamos a polarização do tetracorde *Fá, Lá, Si, Dó*, o qual foi a base da estrutura melódica da obra. Utilizamos os resultados das análises extraídas do croma, de cada sonoridade, para elaborar a escritura composicional da obra. Ao restringir as construções melódicas, a partir dos resultados do croma, tivemos maior liberdade criativa e estética para elaborar o desenvolvimento composicional da obra. As etapas de análise e planejamento composicional, apresentado na Seção 4.2 ampliou nossa pesquisa, em processos criativos.

Nas duas primeiras obras composicionais apresentada no Capítulo 4, utilizamos três descritores de áudio como ferramentas úteis para criar uma taxonomia de características do conteúdo espectral do sinal musical. Essas podem ser correlacionadas e, não necessariamente, equivalentes aos atributos subjetivos da percepção sonora, tais como rugosidade, ruidosidade, maciez, opacidade, ‘brilho’, dentre outros. Associamos cada atributo subjetivo com cada descritor de áudio utilizado. Uma aplicação alternativa ao método utilizado, relaciona-se com a elaboração de um vetor de características sonoras, constituído por um conjunto de descritores. Tal procedimento associa diversos descritores de áudio com as características multidimensionais das sonoridades às quais constituem um particular projeto composicional. A próxima Seção 4.3 apresenta as principais etapas e estratégias do planejamento composicional da obra *Labori Ruinae*.

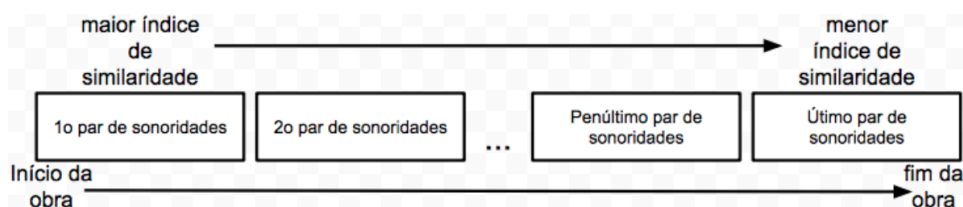
4.3 *Labori Ruinae*

4.3.1 Contexto e Ponto de Vista

No decorrer do período Tonal da História da Música, cujo clímax localiza-se na transição do século XIX para o século XX, o timbre era considerado uma resultante ou um produto, de segunda ordem, dos processos composicionais vigentes até então. Na Seção 1.2.2 do Capítulo 1, destacamos a que abordagem mais proeminente de tal questão dialogava com os aspectos intuitivos de orquestração e “equilíbrio timbrístico” em conjuntos instrumentais. Contudo, ao longo do percurso do século XX, a problemática do timbre torna-se cada vez mais evidente e importante. A Seção 4.3 versa sobre a aplicação de tal pesquisa na composição de uma obra camerística. Apresentamos os métodos de planejamento composicional da obra *Labori Ruinae*, para flauta/piccolo; clarinete/clarone; violino; viola; violoncelo; vibrafone e piano. A obra, resultado de uma encomenda junto ao conjunto de câmara *Meitar Ensemble*, foi executada em 2014, durante o *Contemporary Encounters I*, evento realizado na cidade de Tel Aviv/Israel, no Israeli Conservatory of Music. Destacamos, ainda, que os principais aspectos do planejamento e da estratégia composicional de *Labori Ruinae* foram publicados no trabalho intitulado *A utilização descritores de áudio à análise e composição musical assistidas por computador: um estudo de caso na obra ‘Labori Ruinae’* (Simurra 2015).

O projeto composicional de *Labori Ruinae*, ao qual atrela-se a exploração do seu próprio material timbrístico, relaciona-se diretamente com o ponto de vista teórico apresentado na Introdução da Tese, especialmente, pelos trabalhos de Makis Solomos (Solomos 2013) e Didier Guigue (Guigue 2011).

No nosso particular trabalho de composição, a estrutura formal da obra centrou-se na transformação gradual, do ponto de vista espectral, de cinco pares de sonoridades, previamente estabelecidas. Cada sonoridade foi descrita a partir das características definidas por um vetor de seis descritores de áudio. Interpolamos cada par de sonoridade a partir do seu grau de dissimilaridade, em ordem crescente. Iniciamos a obra com o par de sonoridades de menor índice de dissimilaridade. Consequentemente, a obra encerra-se com o par de maior índice. Medimos a dissimilaridade dos pares por intermédio da distância euclidiana. O diagrama da Figura 4.22, representa a estrutura formal do nosso modelo composicional, particular em *Labori Ruinae*.



Ex. 4.22: Diagrama do planejamento inicial para a concepção estrutural da obra *Labori Ruinae*.

A obra *Labori Ruinae* centrou-se nas particularidades contrastantes de um total de dez variações de sonoridades, a partir dos dados analisados por um vetor de características de conteúdo espectral. Estas, foram estabelecidas a partir de seis descritores de áudio: centroide espectral, nivelamento espectral, razão entre componentes espectrais ímpares e pares, irregularidade espectral, decrescimento espectral e centroide Temporal. A variação de índice de cada descritor relaciona-se com a alteração da informação musical. A nossa proposição considera a relação direta entre os dados objetivos de análise com tais alterações, principalmente, aquelas correlacionadas com as técnicas estendidas instrumentais.

Por intermédio dos descritores de áudio utilizados, a partir do levantamento bibliográfico, exposto na Seção 2.2, relacionamos o centroide com a variação entre brilho e opacidade do som; o descritor de irregularidade com a percepção de rugosidade e maciez. No que refere-se a nivelamento espectral, relacionamos tal descritor com a ruidosidade e a tonalidade do sinal analisado. Ao descritor que analisa a razão entre os componentes espectrais ímpares e pares, associamos a percepção de sonoridades distintas, tais como instrumentos de madeira e de metal. O descritor de áudio de decrescimento espectral relaciona-se a uma medida de análise de sons percussivos e sons musicais. Por fim, o centroide temporal é associado como um importante descritor de análise de sonoridades percussivas ou sustentadas, contudo, a partir

da análise temporal da energia do sinal analisado.

4.3.2 Criação de Possibilidades a partir de Misturas Sonoras

Na Subseção 4.3.1, apresentamos a taxonomia dos atributos subjetivos da percepção de sonoridades, à qual correlaciona-se com os descritores de áudio utilizados no planejamento composicional de *Labori Ruinae*. Ao utilizar tal método, consideramos as transformações sonoras a partir da manipulação do seu conteúdo espectral. Para tanto, relacionamos os dados dos descritores com as informações simbólicas musicais, especialmente, as técnicas instrumentais estendidas. A primeira etapa do processo composicional centrou-se na elaboração das dez variações de sonoridades. Utilizamos o banco de amostras de áudio de diversos modos de ataque, articulações e técnicas estendidas instrumentais, tal como apresentado na Seção 2.3, do Capítulo 2. O primeiro procedimento para construir as sonoridades, deu-se a partir da orquestração do conjunto instrumental: flauta, clarinete, violino, viola e violoncelo, a qual foi configurada empiricamente, a partir das escolhas e experiências do próprio compositor. Não utilizamos análises sonoras do piano e da percussão. A estratégia composicional foi flexibilizar a escritura desses instrumentos, em contraste com a sonoridade da orquestração dos demais instrumentos.

O experimento das misturas sonoras partiu-se do pressuposto da correlação entre a alteração na informação musical e o resultado de cada descritor de áudio, pertencente ao vetor de características. A Tabela 4.6, apresenta todas as variações de sonoridades estabelecidas e as suas respectivas informações musicais, tais como altura, dinâmica e técnica de execução instrumental.

	Fl./Pic.	Cl./Bcl.	Vln.	Vla.	Vc.
Mistura Sonora I	<i>Dó#5, pp, aeolian + note</i>	<i>Dó6, pp, ord</i>	<i>Sol4, mf, col legno tratto</i>		
Mistura Sonora II	<i>Lá4, p, aeolian sound</i>	<i>Sol3, ff, ord</i>	<i>Sol#5, ff, senza vibrato</i>	<i>Si3, mf, overpressure</i>	<i>Fá#3, mf, Sul Ponticello Tremolo</i>
Mistura Sonora III	<i>Sol4, mf, ord</i>	<i>Si4, pp, ord</i>		<i>Sol3, mf, Sul Tasto</i>	<i>Sol2, ff, Sul Ponticello</i>
Mistura Sonora IV	<i>Lá4, p, aeolian + note</i>	<i>Sol2, ff, poco vibrato</i>	<i>Sol5, ff, senza vibrato</i>	<i>Si3, mf, overpressure</i>	<i>Fá#3, mf, Sul Ponticello Tremolo</i>
Mistura Sonora V	<i>Sol#4, pp, ord</i>	<i>Sol#5, pp, ord</i>	<i>Dó#6, pp, Tremolo</i>	<i>Ré#4, mf, senza vibrato</i>	<i>Sol#3, mf, ord</i>
Mistura Sonora VI	<i>Dó#5, mf, ord</i>	<i>Fá2, f, ord</i>	<i>Sol#6, mf, ord</i>	<i>Mi4, mf, senza vibrato</i>	<i>Ré#3, mf, Sul Tasto</i>
Mistura Sonora VII	<i>Si4, mp, poco vibrato</i>	<i>Sol#5, pp, ord</i>	<i>Fá5, mf, pizz</i>	<i>Ré#4, mf, Tremolo</i>	<i>Sol#3, ff, ord</i>
Mistura Sonora VIII	<i>Dó#6, p, ord</i>	<i>Ré5, pp, frulatto</i>		<i>Mi4, ff, senza vibrato</i>	<i>Lá2, ff, ord</i>
Mistura Sonora IX	<i>Sol4, ff, ord</i>	<i>Lá#1, mf, ord</i>	<i>Sol#4, ff, pizz bartók</i>	<i>Dó4, mf, Ponticello</i>	<i>Si2, mf, overpressure</i>

Tabela 4.6: Tabela as informações musicais, com indicações de técnicas de execução, alturas e dinâmicas musicais, de todas as sonoridades utilizadas em ‘*O azeite, a lua e o rio*’. O índice, próximo a nota musical, indica a sua localização no âmbito vertical, da partitura. A referência da nota *Dó4*, refere-se à primeira linha complementar inferior, na clave de sol.

Após definir as informações simbólicas musicais, realizamos as misturas instrumentais utilizando o banco de amostras de áudio. A partir das misturas sonoras, extraímos os dados

objetivos do vetor de características, por intermédio dos descritores de áudio utilizados. A Tabela 4.7 ilustra os índices dos descritores, no vetor de características de cada sonoridade.

	Centroide Espectral	Nivelamento	Razão Par/Ímpar	Decrescimento	Irregularidade	Centroide Temporal
Sonoridade I	0.61	0.34	0.05	0.03	0.45	0.54
Sonoridade II	0.57	0.26	0.03	0.1	0.54	0.57
Sonoridade III	0.52	0.56	0.04	0.1	0.54	0.58
Sonoridade IV	0.56	0.67	0.03	0.12	0.58	0.54
Sonoridade V	0.32	0.4	0.04	0.21	0.57	0.55
Sonoridade VI	0.32	0.26	0.07	0.39	0.68	0.6
Sonoridade VII	0.45	0.39	0.05	0.17	0.73	0.55
Sonoridade VIII	0.45	0.46	0.1	0.09	0.53	0.53
Sonoridade IX	0.52	0.40	0.09	0.69	0.55	0.6

Tabela 4.7: Tabela com os índices dos descritores de áudio para cada sonoridade, de acordo com a Tabela 4.6.

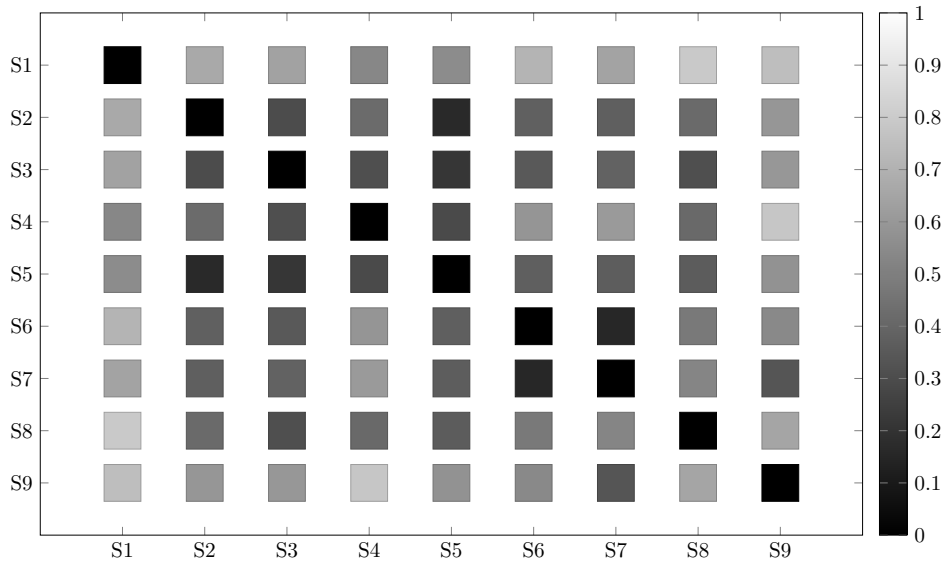
A próxima etapa do planejamento composicional da obra, avaliou o índice de dissimilaridades entre o vetor de características entre todas as variações de sonoridades. Para tanto, utilizamos o cálculo da distância euclidiana. A Tabela 4.8, apresenta os índices entre todos os vetores de características.

Índice de Dissimilaridades	Sonoridade 1	Sonoridade 2	Sonoridade 3	Sonoridade 4	Sonoridade 5	Sonoridade 6	Sonoridade 7	Sonoridade 8	Sonoridade 9
Sonoridade 1	0	0.652	0.338	0.541	0.576	0.782	0.596	0.592	0.752
Sonoridade 2	0.652	0	0.524	0.477	0.362	0.414	0.312	0.421	0.796
Sonoridade 3	0.338	0.524	0	0.156	0.368	0.610	0.386	0.376	0.643
Sonoridade 4	0.541	0.477	0.156	0	0.375	0.589	0.350	0.381	0.710
Sonoridade 5	0.576	0.362	0.368	0.375	0	0.292	0.213	0.164	0.552
Sonoridade 6	0.782	0.414	0.610	0.589	0.292	0	0.312	0.423	0.533
Sonoridade 7	0.596	0.312	0.386	0.350	0.213	0.312	0	0.302	0.640
Sonoridade 8	0.592	0.421	0.376	0.381	0.164	0.423	0.302	0	0.667
Sonoridade 9	0.752	0.796	0.643	0.710	0.552	0.533	0.640	0.667	0

Tabela 4.8: Tabela do cálculo de dissimilaridade entre todas as sonoridades utilizadas em *Labori Ruinae*

Utilizando os dados dos índices dispostos na Tabela 4.8, elaboramos uma matriz de dissimilaridades, para representar os resultados coletados. Apresentamos os resultados na Figura 4.23. As gradações associadas aos quadrados brancos e pretos, indicam os valores de pertinência para cada cálculo de dissimilaridade. Os valores foram normalizados no intervalo [0..1]. A variação de cinza está associada respectivamente ao menor valor de dissimilaridade para quadros pretos e o maior valor de dissimilaridade para quadros brancos.

A partir dos dados coletados pela Tabela 4.8, ordenamos os pares de sonoridades, às quais possuem os menores índices de dissimilaridades. Como já apresentado, a estrutura formal da obra centrou-se na transformação gradual de pares de sonoridades. Interpolamos cada par de sonoridade a partir do seu grau de dissimilaridade, em ordem crescente. Iniciamos a



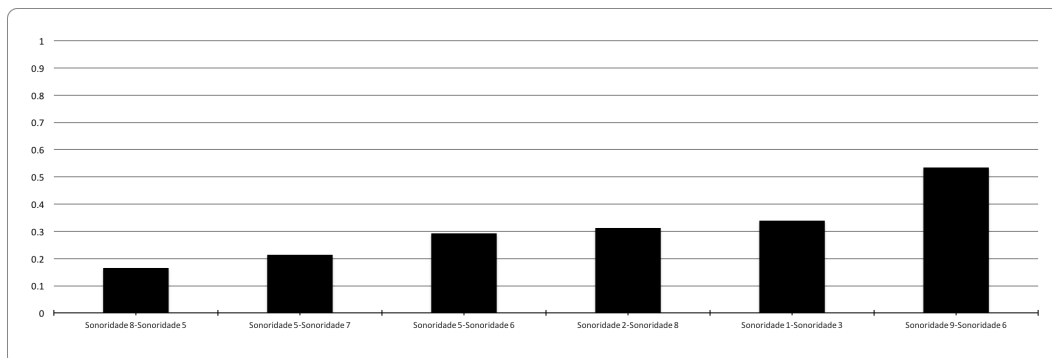
Ex. 4.23: Gráfico de representação dos índices de dissimilaridades entre as sonoridades utilizadas em *Labori Ruinae*.

obra com o par de sonoridades de menor índice de dissimilaridade. Consequentemente, a obra encerra-se com o par de maior índice. Todavia, por escolha estética do projeto composicional da obra, não utilizamos o par elaborado pelas Sonoridades 3 e 4. Medimos a dissimilaridade dos pares por intermédio da distância euclidiana. Na Figura 4.22, ilustramos a síntese da estrutura formal da obra. A Tabela 4.9, representa a ordem dos pares de sonoridades, a partir dos seus índices de dissimilaridades.

Pares de Sonoridades	Índice de Dissimilaridade
Sonoridade 8 - Sonoridade 5	0.16
Sonoridade 7 - Sonoridade 5	0.21
Sonoridade 6 - Sonoridade 5	0.29
Sonoridade 2 - Sonoridade 8	0.31
Sonoridade 1 - Sonoridade 3	0.33
Sonoridade 9 - Sonoridade 6	0.53

Tabela 4.9: Tabela com a relação entre os pares de sonoridade a partir do índice de dissimilaridade, em *Labori Ruinae*

A Tabela 4.9 forneceu dados para elaborarmos a Figura 4.24, com a qual representamos graficamente os índices de dissimilaridades entre as sonoridades.



Ex. 4.24: Histograma com a trajetória dos pares de sonoridades a partir do índice de dissimilaridades.

4.3.3 Transcrições

A partir dos pressupostos definidos anteriormente, transcrevemos os pares de sonoridades, tais como apresentados na Tabela 4.9. Os pares de sonoridades interpolaram-se a partir das sonoridades comuns entre os seus adjacentes ou pela recorrência de alguma sonoridade no desenvolvimento dinâmico da obra. Interessante destacar algumas características comuns entre as sonoridades, como a mudança timbrística realizada pela flauta, na Sonoridade 9, e o violino, na Sonoridade 5, executando a mesma nota $Dó\#6$, em dinâmica piano. O ponto de destaque, entre as Sonoridades 7 e 5, localiza-se na permanência da nota $Sol\#$, independente do registro ou técnicas instrumentais. A Figura 4.25, representa a interpolação do 1º par, iniciando com a Sonoridade 8, culminando na Sonoridade 5. O seu par consecutivo, inicia-se com a própria Sonoridade 5, culminando na Sonoridade 7.

Concatenamos os pares de sonoridades de maneira intuitiva, assegurando a manutenção ou a pertinência das características musicais comuns às sonoridades. No exemplo da Figura 4.26, representamos a condução da Sonoridade 9 em direção à Sonoridade 6, o par de maior índice de dissimilaridade, com mudanças graduais, abruptas ou com a manutenção das suas características comuns.

4.3.4 Análise

A primeira etapa de análise das sonoridades dispostas na obra, centrou-se nas características globais, extraídas pelos descritores de áudio. A Figura 4.27 ilustra os índices de cada descritor para cada sonoridade. Para elaborarmos a Figura 4.27, utilizamos os dados dispostos na Tabela 4.7. Interessante destacar o índice do descritor de decrescimento espectral, na Sonoridade 9. O alto índice do descritor se associa com a utilização da técnica de *pizzicato bartók*, no violino, como apresentado na Tabela 4.6.

O gráfico da Figura 4.27 demonstra a correlação negativa do centroide espectral com a

Figure 4.25a shows a musical score for a concert band or orchestra. The staves are arranged from top to bottom: Flute, Clarinet in Bb, Vibraphone, Piano (Staff 4 and Staff 5), Violin, Viola, and Violoncello. The score includes various dynamic markings such as *mp*, *mf*, *f*, and *pp*. Performance instructions include *key up*, *risolando*, *arco ord.*, *senza Vibrato*, and *MSP - Molto Sul Ponticello*. Rehearsal marks A and B are indicated at the beginning and end of the section.

(a)

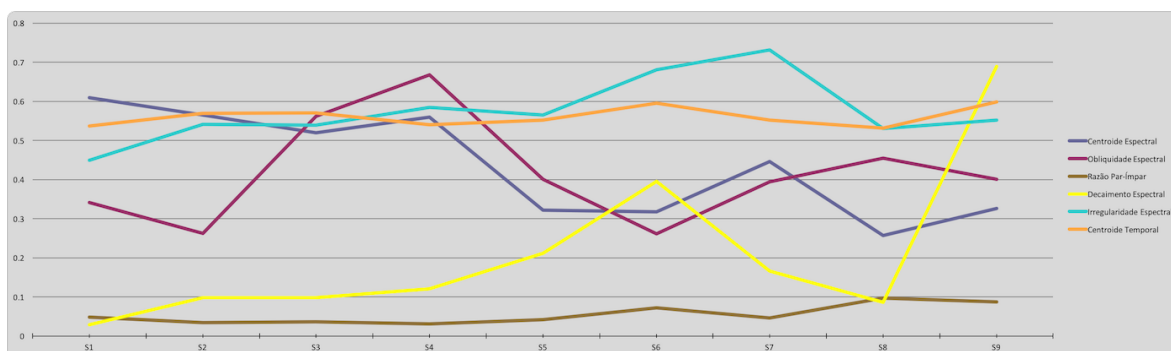
Figure 4.25b continues the musical score from Figure 4.25a. The staves are the same: Flute, Clarinet in Bb, Vibraphone, Piano (Staff 4 and Staff 5), Violin, Viola, and Violoncello. Dynamic markings include *mp*, *mf*, and *pp*. Performance instructions include *motor on (100%)*, *motor off*, *arco ord.*, and *MSP*. Rehearsal marks B and C are indicated.

(b)

Ex. 4.25: Transcrição, na partitura, dos pares de sonoridades 8 e 5, entre as marcações de ensaio “A” e “B” (Figura 4.25a). O par consecutivo, tal como demonstrado na Figura 4.25a, localiza-se entre as marcações “B” e “C” e representa as sonoridades 5 e 7.

Razão entre componentes espectrais e decrescimento espectral. Podemos visualizar a correlação positiva entre centroide temporal e decrescimento espectral. No que relaciona-se com o decrescimento espectral, o descritor indica uma correlação negativa com o centroide espectral. De fato, o baixo índice no descritor de centroide aponta para regiões mais graves do espectro sonoro analisado. O decrescimento espectral denota o contorno da magnitude dos componentes espectrais entre as regiões graves e agudas do espectro de frequências sonoras. Portanto, um maior índice de centroide pode ser associado com um baixo decrescimento

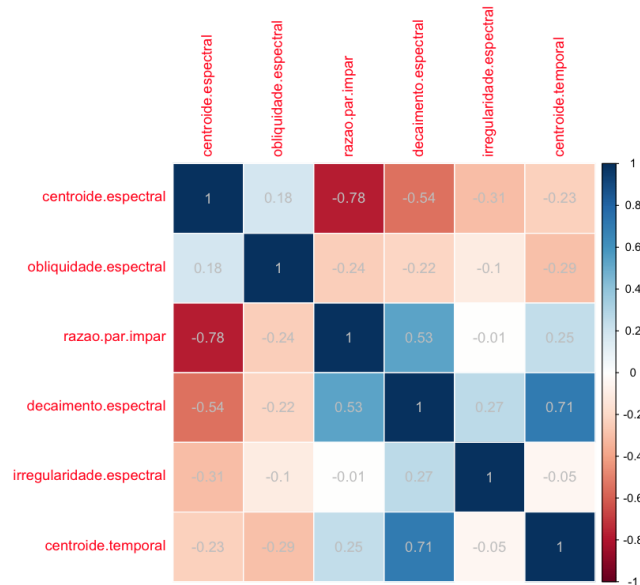
Ex. 4.26: Transcrição da condução da Sonoridade 9 em direção à Sonoridade 6, o par que representa o maior índice de dissimilaridades, com mudanças graduais, abruptas ou com a manutenção das suas características simbólicas comuns, em *Lavori Ruinae*.



Ex. 4.27: Diagrama do planejamento inicial para a concepção estrutural da obra *Lavori Ruinae*.

nos componentes espectrais analisados. A Figura 4.28 ilustra os índices de correlação entre os descritores de áudio utilizados na análise das sonoridades. A Sonoridade 2 possui maior índice de centroide espectral mesmo apresentando notas musicais em registro mais grave que a Sonoridade 6, por exemplo. Isso ocorre pela presença de sonoridades resultantes de técnicas de mudanças timbrísticas, como *aeolian sounds* na flauta; *arco overpressure* na viola e; *tremolo em Sul Ponticello* no violoncelo.

O par de Sonoridade com o menor índice de dissimilaridade, 8 e 5, possui características



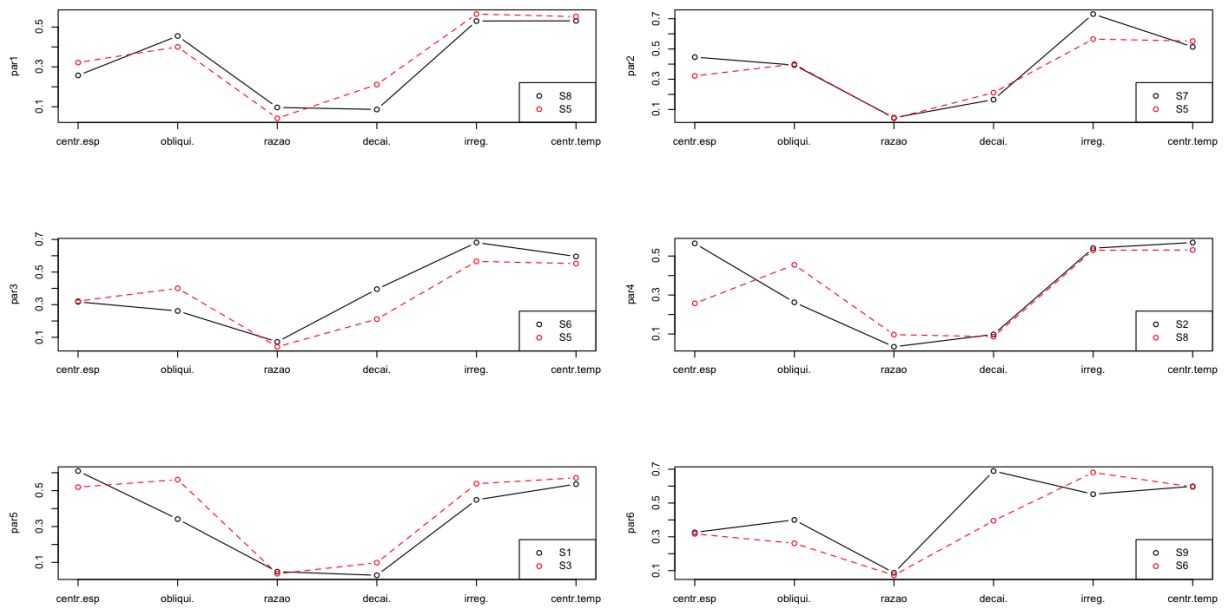
Ex. 4.28: Matriz de correlação entre todos os descritores utilizados na análise das sonoridades.

simbólicas semelhantes do ponto de vista das técnicas de execução instrumental. Como apresentado na Tabela 4.6, a sonoridade 8 não possui participação do violino em *tremolo*, como na Sonoridade 5 e, mesmo que o clarinete execute a técnica de *frullato*, o índice de decrescimento espectral é bem baixo. Contudo, a ausência do violino e a presença do violoncelo tocando a nota *Lá2*, em *ff* e com técnica *ord* resultam em um baixo índice de centroide espectral se comparado com a Sonoridade 5. O par de sonoridades com o maior índice de dissimilaridade, 9 e 6, possui informações simbólicas que refletem tal resultado, especialmente, com a presença do *pizzicato bartók*, no violino e dos registros mais graves nos clarones e violoncelos.

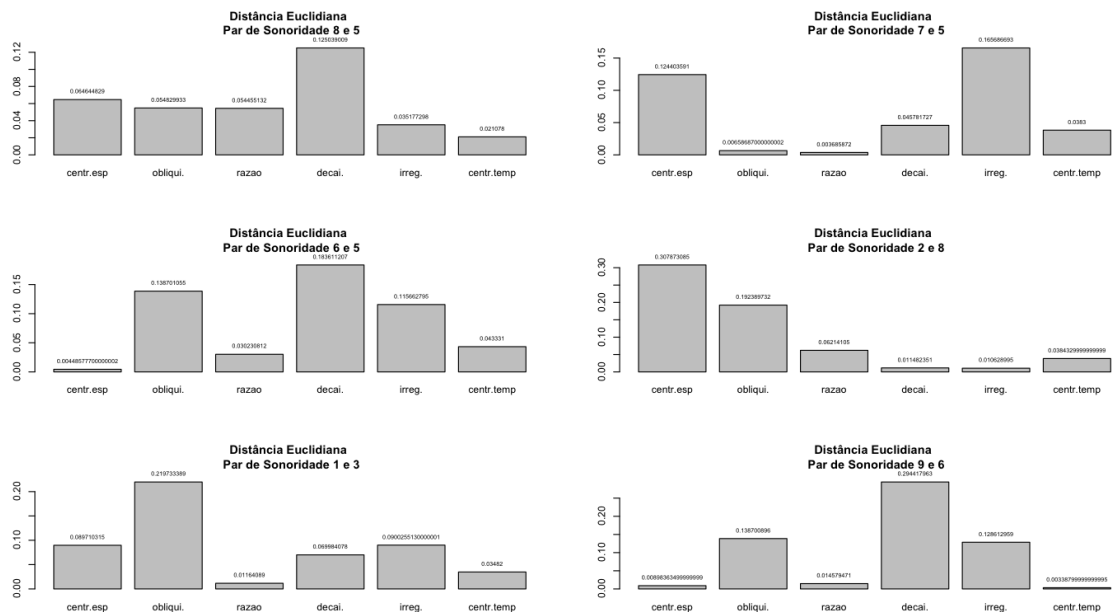
No contexto composicional da obra *Labori Ruinae*, cada par de sonoridades apresentou contornos distintos e particulares a partir dos descritores de áudio. A Figura 4.29 ilustra os contornos dos índices de cada descritor de áudio para cada par de sonoridade estrutural da obra:

A partir da análise realizada com auxílio da Figura 4.29, destacamos duas características sonoras pilares para a confecção das sonoridades: nivelamento espectral e decrescimento espectral. Em contrapartida, os descritores de razão entre os componentes espectrais e centroide espectral são aqueles que apresentaram a menor média entre os pares de sonoridades. Para obter tais resultados, realizamos o cálculo da distância euclidiana de cada descritor de áudio em cada par de sonoridade. A Figura 4.30 ilustra os resultados obtidos por intermédio desse procedimento:

No contexto macroestrutural da obra, localizamos uma configuração em três pares de descritores de áudio, onde o 1º par é elaborado por nivelamento espectral e decrescimento



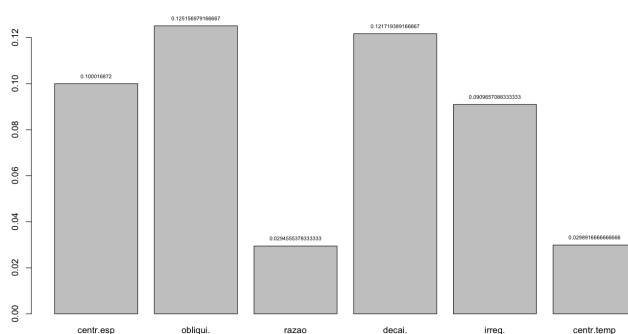
Ex. 4.29: Contornos dos índices de descritores de áudio para cada par de sonoridades presentes em *Labori Ruinae*



Ex. 4.30: Gráfico com os contornos obtidos pela média dos descritores de áudio em cada par de sonoridade de *Labori Ruinae*.

espectral; o 2º par é formado por centroide espectral e irregularidade espectral e; por fim, o 3º par abrange os descritores da razão entre componentes espectrais e centroide temporal.

Calculamos a média dos índices obtidos pelas distâncias euclidianas, dispostas no gráfico da Figura 4.30. As sonoridades utilizadas não apresentaram muita variação temporal de energia espectral e tampouco com variação em contornos analisados. Já os descritores de nivelamento espectral e decrescimento espectral, que formam o par com maiores índices obtidos pela distância euclidiana, identificaram maior variação entre sonoridades ruidosas e tonais, de características percussivas. A Figura 4.31 representa o gráfico com os valores médios de cada descritor de áudio em relação a todos os pares de sonoridade utilizados na elaboração da obra.



Ex. 4.31: Gráfico com os valores de média de cada descritor de áudio em *Labori Ruinae*.

Como descrito na Introdução Geral, o Capítulo 4 resultou da nossa proposta de criar novos estudos composicionais, do ponto de vista de sonoridades particulares, a partir da análise de dados objetivos de diferentes técnicas estendidas instrumentais. Utilizamos as ferramentas de análises sonoras desenvolvidas pela área MIR, em especial, com os descritores de áudio. O trabalho de pesquisa possibilitou o diálogo da análise objetiva e estatística do fenômeno sonoro com as definições conceituais, estéticas e subjetivas com as quais o compositor pode se utilizar para o seu processo de composição e escritura musical.

O projeto composicional de *Lana Tai - no dia em que nasceu uma aquarela* versou sobre o planejamento de Pontos de Referência e a construção de Misturas Sonoras que foram ancorados em dois descritores de áudio: croma e centroide. Correlacionamos as técnicas estendidas de execução instrumental com os descritores de áudio. Isso permitiu um diálogo entre o universo simbólico, estabelecido pela notação musical, com a análise objetiva das sonoridades que estruturam o planejamento composicional das obras apresentadas. Como descrito anteriormente, no caso particular de *Lana Tai*, exploramos duas ideias contrastantes que foram correlacionadas com o descritor de centroide espectral: a) sonoridades opacas e b) sonoridades brilhantes. A proposta composicional de *Lana Tai* foi iniciar o processo de orquestração com o mínimo de multiplicidade de timbre e a partir daí transformar a sonoridade da orquestra, de modo a torná-la mais complexa, agregando diferentes modos de ataque das cordas. Ou seja, esse procedimento que foi tratado pelo compositor como uma trajetória associada à sonoridade global de *Lana Tai* iniciou-se com a presença de uma única

nota musical. Mesmo com sonoridades contrastantes, como as regiões graves e agudas do espectro sonoro e com diversas possibilidades de inserção de sons não idiomáticos produzidos pelo naipe de cordas, o resultado sonoro manteve-se dentro das vizinhanças da sonoridade inicial. Ao utilizarmos o descritor croma para avaliar a natureza sonora da manipulação orquestral, relacionamos diretamente as informações do espectro sonoro com a representação simbólica contida na partitura.

O planejamento composicional de *O azeite a lua e o rio - numa ilha rodeada de ouro, com água até o joelho*, centrou-se nas particularidades contrastantes das quatro variações de sonoridades descritas na Seção 4.2: *a)* sonoridades aveludadas, com pouca intensidade; *b)* sonoridades rugosas, com pouca intensidade; *c)* sonoridades rugosas, com acentuada intensidade e; *d)* sonoridades aveludadas, com acentuada intensidade. Para tanto, utilizamos os descritores de áudio de irregularidade espectral, *loudness* e croma. Esse processo criativo produziu diversas relações entre o material sonoro descrito a partir da análise dos descritores, configurações instrumentais e, finalmente, nas transcrições da partitura. Verificamos que as técnicas instrumentais estendidas correlacionam-se com a presença do ruído instrumental e, dessa forma, alteram a percepção da irregularidade espectral. Esta, se relaciona com sonoridades lisas/aveludadas e estriadas/rugosas. Ao utilizarmos o croma espectral, pudemos restringir o universo de alturas musicais à polarização do tetracorde *Fá, Lá, Si e Dó* o qual estruturou os padrões melódicos e motivicos da obra.

A obra *Labori Ruinae* desenvolve-se a partir das transformações graduais de pares de sonoridades cujas características espectrais relacionam-se com um conjunto de seis descritores de áudio, a saber: centroide espectral, nivelamento espectral, razão entre componentes espectrais ímpares e pares, irregularidade espectral, decrescimento espectral e centroide temporal. A escolha dos descritores utilizados pode ser correlacionada e, não necessariamente, equivalente com os seus atributos subjetivos de percepção sonora, tais como brilhante, opaco, rugoso, ruidoso, macio, anasalado, percussivo, dentre outros. Cada sonoridade elaborada para a confecção da obra apresentou características espectrais distintas. Como apresentado na Seção 4.3.1, a variação de índice de cada descritor relaciona-se com a alteração da informação musical resultando na particularidade e peculiaridade de cada sonoridade. Consideramos a relação direta entre os dados objetivos de análise com tais alterações, principalmente, àquelas relacionadas com as técnicas estendidas instrumentais. Analisamos tais características para ordenar os pares com menor índice de dissimilaridades, a partir do cálculo da distância euclidiana. A estrutura formal da obra se iniciou com o par de menor índice de dissimilaridade e terminou com o par de maior índice de dissimilaridade. Tal procedimento permitiu que a percepção das sonoridades utilizadas na obra fosse direcionada gradativamente às características sonoras mais contrastantes entre si.

Por fim, os procedimentos metodológicos reportados neste Capítulo 4, não objetivam estabelecer um tratado contemporâneo de orquestração e instrumentação auxiliado por suporte computacional. Não obstante, este trabalho propõe ampliar as possibilidades sonoras para

criar objetos sonoros/musicais e aplicá-los na orquestração os quais podem ser observados a partir dos métodos de recuperação das informações musicais.

Capítulo 5

Conclusões e Perspectivas

I think a composer is always
interested in his last work

György Ligeti

Apresentamos um trabalho de pesquisa em composição musical cujo objetivo centra-se na criação de sonoridades orquestrais, a partir da análise de dados objetivos de diferentes técnicas de execução e sobreposição instrumentais. Composição e Análise Musical são as duas frentes de trabalho fundamentais neste estudo. O trabalho colaborativo entre análise musical e composição evidenciou-se na realização na pesquisa de Mestrado cujo objetivo centrou-se nas questões sobre a “Recriação Timbrística na Música Espectral” (Simurra 2012). O projeto composicional da Música Espectral, representado principalmente pelos compositores Tristan Murail e Gérard Grisey, nos motivou a investigar metodologias e ferramentas de análise do fenômeno sonoro e, conseqüentemente, timbrístico (Harvey 2000).

Além de descrever, interpretar e discutir o espaço multidimensional de uma obra musical, o qual abrange desde o material composicional até o impacto resultante da sua performance, a análise musical amplia os espaços de composição musical. Do ponto de vista da composição, a análise musical viabiliza novos paradigmas e reflexões técnicas, teóricas e conceituas a partir de material de referência, principalmente, de repertório consagrado da Música dos séculos XX e XXI. Conseqüentemente, tal abordagem insere-se, de alguma forma, como uma das etapas iniciais do próprio planejamento composicional. Por conseguinte, apesar de reduzir um objeto a determinadas informações simbólicas, por intermédio de uma partitura musical ou dados numéricos, por intermédio da análise do áudio via descritores, a análise musical cria alternativas composicionais ao potencializar espaços de escuta mais refinados e específicos.

Naturalmente, não objetiva-se validar o próprio e particular trabalho composicional utilizando a análise musical de repertório já consagrado pela História da Música. Nem, ao menos, há uma prerrogativa de utilizar os dados e os resultados adquiridos pela análise mu-

sical, do ponto de vista da composição. Do contrário, espera-se elaborar espaços de trabalho colaborativo ampliando a reflexão artística, composicional, poética e musical. As técnicas de escritura da música atual proporcionam um sem número de recursos sonoros tanto para a composição de obras para instrumento solo quanto para uma orquestra sinfônica. Como apresentado na Seção 1.2, uma dessas possibilidades são as técnicas estendidas de execução instrumental as quais possibilitam que os recursos provenientes dos diversos e particulares modos de execução de cada instrumento musical alterem sensivelmente as características espectrais de cada nota ouvida. Em termos generalizados, o processo criativo, aqui reportado, objetiva a composição musical associada ao controle e à manipulação do timbre musical.

Neste panorama, a música atual ampliou as concepções dos meios de produção sonora dos instrumentos musicais o que também causou uma ruptura nos processos tradicionais de interpretação. Cresce o interesse na criação de obras com esse novo escopo interpretativo. Compositores e intérpretes passam a interagir não apenas com o conteúdo do material sonoro, mas também na construção operante de conexões com outras modalidades sensoriais levando ao público novas experiências na sala de concerto (Manzoli 2013, pg. 49). Consequentemente, os dados analisados estenderam as possibilidades composicionais e de orquestração por intermédio desses materiais. Esses, não são usados diretamente ou estritamente na composição mas são manipulados musicalmente pelo compositor. São informações que oferecem elementos básicos à composição musical. Dentro do âmbito da computação musical, esses processos numéricos e análises de áudio via descritores podem ser trabalhados musicalmente e composicionalmente com maior liberdade e intuição, em qualquer nível de complexidade.

Contudo, o termo “assistência à composição” não implica uma relação direta e unívoca com os recursos tecnológicos, especialmente a computação, bem como a sua linguagem estrutural de programação. A codificação da música, por meio da partitura, é uma forma simbólica que também proporciona a manipulação do material musical num âmbito de abstração elevado se comparado à prática instrumental. A prática composicional é enriquecida com novos procedimentos, tais como inversões, simetrias, retrogradações, repetições, esboços, dentre outros, que são subsidiadas pelas representações gráficas da música.

Como demonstrado no decorrer da Tese, as relações entre materiais sonoros e materiais simbólico-musicais são complementares e complexas, especialmente do ponto de vista das construções timbrísticas e orquestrais. Como destacado na Seção 1.2.2, do ponto de vista “simbólico”, uma orquestração é um sistema discreto de distribuição de índices que podem ser descrito em notação musical enquanto um conjunto de variáveis: instrumentos, notas musicais, dinâmicas e técnicas de execução instrumental. Como consequência, tais elementos simbólicos ampliam as possibilidades sonoras da resultante orquestral. Essas características que correlacionam as informações simbólicas com os materiais sonoros ampliam a capacidade da partitura ao proporcionar uma “imagem sonora completa” da sonoridade global da composição musical. O timbre orquestral, portanto, torna-se mais refinado e perspicaz de acordo com as relações entre a partitura musical simbólica e a sua própria resultante sonora

(Schaub et al. 2013, pg. 01). Neste sentido, a nossa pesquisa dialoga com a aproximação de primeira ordem de Manzolli para estabelecer conceitualmente um modelo matemático para descrever o timbre orquestral, na qual:

O Timbre Orquestral é um função da distribuição de harmônicos gerada pelas notas tocadas entre a frequência máxima e a mínima de um trecho musical. Assim, a superposição dos envelopes espectrais desses instrumentos dará esse timbre (Manzolli 1988, pg. 51)

De maneira intuitiva, pode-se afirmar que a orquestração com a qual trabalhamos na nossa pesquisa compreende uma mistura dos mais variados timbres e técnicas de execução instrumental. Não obstante, este trabalho propôs desenvolver um ambiente computacional de análise de sonoridades orquestrais para criar objetos sonoros/musicais que podem ser observados a partir dos métodos de recuperação da informação musical, utilizando os descritores de áudio.

A área de desenvolvimento científico correlata à utilização de descritores de áudio, na recuperação da informação musical é ampla e há muito a ser desenvolvido. Os resultados já consolidados pela comunidade *MIR* contribuem tanto em âmbito acadêmico e científico quanto comercial. Do ponto de vista prático, muitas pesquisas tem sido desenvolvidas para estudar as particularidades multidimensionais do comportamento do espectro de frequências sonoras. Neste contexto, as pesquisas correlatas aos descritores de áudio encontram um emergente campo de desenvolvimento em composição e análise musical.

O trabalho de pesquisa possibilitou o diálogo da análise formal e estatística do fenômeno sonoro com as definições conceituais, estéticas e subjetivas com as quais o compositor pode se utilizar para o seu processo de composição e escritura musical. Nas Subseções a seguir, discutimos as principais ideias e conceitos que subsidiaram as discussões presentes no decorrer de toda pesquisa.

5.1 Descrição da Trajetória de Pesquisa

5.1.1 dos Diálogos com o Repertório à Análise Musical - Capítulo 1 e Capítulo 3

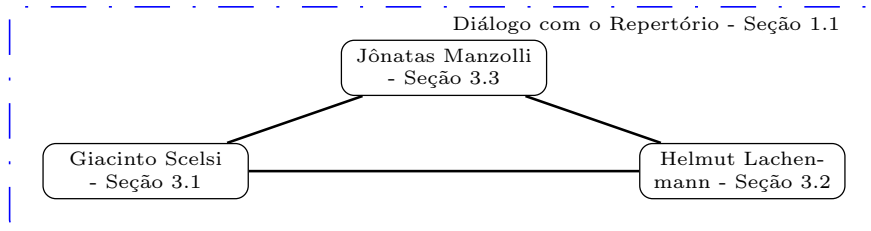
Do ponto de vista macroestrutural, a pesquisa realizada para redigir o Capítulo 1 forneceu substratos significativos para contextualizar o panorama dos principais temas discutidos nesta Tese: composição e orquestração assistidas por computador, análise musical e descritores de áudio. No que se relaciona à análise musical, os projetos composicionais particulares de Giacinto Scelsi, Helmut Lachenmann e Jônatas Manzolli, dialogam com o nosso projeto particular de composição. Nosso objetivo, como elucidado no Capítulo 1, leva em consideração

os procedimentos e as técnicas composicionais que possam expandir a paleta timbrística de sonoridades orquestrais. Na Seção 1.1 discutimos que tais projetos composicionais produzem novas possibilidades para alterar a percepção esperada do timbre de um efetivo instrumental ou mesmo de um instrumento solo. Neste sentido, a orquestração torna-se uma ferramenta poderosa de combinação e de variação de informação musical resultando numa rede complexa de sonoridades. As características composicionais, estéticas e técnicas de cada compositor analisado no Capítulo 3 forneceram importantes substratos para a elaboração dos experimentos principais desta Tese: a criação de novas obras composicionais. Como descrito ainda na Seção 1.1, O italiano Giacinto Scelsi destaca-se por centrar-se nas mudanças timbrísticas de sonoridades tonais. O compositor altera a percepção espectral e, conseqüentemente, a percepção timbrística das notas musicais de alturas definidas utilizando as informações musicais simbólicas. Nossa decisão de utilizar as obras do compositor italiano dialoga diretamente com outras análises realizadas sobre compositor. Dentre elas, destacamos o trabalho de William Teixeira e Silvio Ferraz no qual discutem que o projeto composicional de Scelsi relacionou-se com o próprio som. Os materiais composicionais do italiano, em especial, os “processos gestuais”, “objetivam a exploração das redondezas de uma sonoridade ou altura musical”, “buscando o ser do som” (da Silva & Ferraz 2015, pg.179). Neste contexto, os dados simbólicos que “pareceriam meras ornamentações”, possuem característica fundamental da produção de sonoridades instrumentais “dividindo celularmente o som” (da Silva & Ferraz 2015, pg.179).

Já o caso particular da produção composicional de Helmut Lachenmann destaca-se por centrar-se na concretude do som instrumental, relacionando o seu projeto composicional a utilização de ruído sonoro instrumental. O compositor realiza uma extensa pesquisa sobre técnicas instrumentais não convencionais que ressaltam e exploram o ruído sonoro gerado por instrumentos musicais. Portanto, se por um lado Scelsi centra seu trabalho composicional na alteração espectral de sonoridades tonais, Lachenmann, em contrapartida, utiliza as técnicas instrumentais estendidas para inserir ou enfatizar a presença do ruído sonoro instrumental como um procedimento composicional tão potencial quanto a própria composição musical.

Por fim, a produção musical do compositor brasileiro Jônatas Manzolli dialoga com o escopo do nosso trabalho em orquestração musical assistida por computador. Um exemplo dessa transgressão é encontrada nas suas obras composicionais nas quais o compositor isola a sonoridade com a qual trabalha e recria novas articulações dos objetos sonoros utilizados. Consideramos as pesquisas do compositor brasileiro como um dos trabalhos precursores da orquestração musical a partir de modelos matemáticos. A Figura 5.1 ilustra o panorama conceitual da utilização da produção composicional de Scelsi, Lachenman e Manzolli junto à elaboração do nosso trabalho de doutoramento em processos criativos.

As obras analisadas (*Primeiro Movimento das Quattro Pezzi per Orchestra* - Seção 3.1.1; *Pression, Dal Niente* e *Guero* - Seção 3.2.1 e; *Reflexões* - Seção 3.3.1), serviram como “referências composicionais” com as quais construímos nossos projetos composicionais. Contudo,



Ex. 5.1: Esquema geral da trajetória de pesquisa do Capítulo 1 e Capítulo 3.

não trata-se apenas de “reproduzir” ou “replicar” os resultados da análise nas próprias obras composicionais. Os instrumentos de análise musical não objetivam comprovar “o que já se sabe” mas de abrir-se para “o que não se supõe, dialogando os processos composicionais e os próprios pensamentos musicais” (Ferraz 2002). Neste contexto, a elaboração dos espaços de análise, utilizando recursos computacionais, relacionam-se coesamente e coerentemente com o desenvolvimento da pesquisa, otimizando tanto as elaborações analíticas quanto as composicionais. Uma determinada obra musical, já estabelecida e consolidada pelo repertório da Música dos séculos XX e XXI cujo procedimento composicional desenvolve-se por intermédio das relações de suas componentes espectrais ou por suas camadas texturais, pode ser descrita, alternativamente, pelas características recuperadas pela inúmeras ferramentas computacionais de análise e, em especial, pela metodologia desenvolvida na nossa pesquisa à qual utiliza os descritores de áudio.

5.1.2 dos Ambientes Computacionais aos Procedimentos Metodológicos - Capítulo 1 e Capítulo 2

As referências bibliográficas levantadas na Seção 1.2 dialogam diretamente com as etapas do procedimento composicional, da orquestração e da análise musical assistidos por computador. O ambiente computacional de assistência a tais contextos musicais, como discutidos por Padovani e Manzolli como *computer-aided music contexts* (Padovani & Manzolli 2015, pg. 01), são configurados para possuir uma paleta de técnicas de manipulação sonora e simbólica musical que podem ser exploradas para construir modelos otimizados que podem ser utilizados tanto em análise quanto em composição musical. A computação musical refinou e ampliou as informações a respeito do material sonoro analisado. Conseqüentemente, os dados analíticos estenderam as possibilidades composicionais e de orquestração por intermédio de tais materiais.

Todavia, como discutido na Seção 1.2.2, as ferramentas computacionais de assistência à contextos musicais são recursos tecnológicos que amplificam e expandem as possibilidades e as escolhas do material composicional e não substituem o próprio trabalho particular do compositor. Tais ambientes devem estabelecer um espaço de interação entre os paradigmas e as particularidades técnicas e conceituais do compositor com a formalização de estruturas

e com a otimização de análises numéricas e a manipulação da informação sonora e simbólica. Do ponto de vista dos ambientes de orquestração com suporte computacional, tais sistemas auxiliam o compositor no sentido de “estímulo do imaginário sonoro propondo sugestões às quais a sua expertise não influencia de modo significativo” (Carpentier 2008, pg. 42). Os algoritmos computacionais de orquestração não substituem às regras estabelecidas pelos trabalhos dos pesquisadores, compositores e musicólogos especializados na área, como apresentado na Seção 1.2.2. Utiliza-se os recursos computacionais como “exploradores de sonoridades interativo e guiado ampliando os territórios de escritura de timbre orquestral” (Carpentier 2008, pg. 42).

As pesquisas desenvolvidas para redigir a Seção 1.2.2, às quais foram sintetizadas no parágrafo anterior, motivaram o desenvolvimento do protótipo computacional *Sound Shizuku Composition - SSC* no qual as suas sugestões orquestrais consideram o timbre como uma característica sonora que possui diversas dimensões paramétricas. Para ampliar o ambiente computacional e expandir as características sonoras analisadas, o algoritmo de análise considera um conjunto de oito medidas de análise agrupadas num conjunto de quatro pares de descritores. A interface gráfica do *SSC* possibilita visualizar quatro espaços bidimensionais de análise. Tal recurso possibilitou um refinado detalhamento das diversas características timbrísticas e orquestrais.

5.1.3 dos Procedimentos Metodológicos ao Portfólio Composicional - Capítulo 2 e Capítulo 4

Utilizar o computador como ambiente de assistência à composição é uma prática de interação significativa da produção musical atual. Como descrito no Capítulo 4, o planejamento composicional focado em orquestração musical possui dois universos distintos mas não disjuntos dos quais *a)* representa as técnicas de execução instrumental estendidas e *b)* representa as ferramentas computacionais para analisar e descrever estatisticamente o conteúdo espectral do material gerado por essas técnicas. Desenvolvemos um método para auxiliar o compositor a relacionar: *a)* as descrições de alto nível ou simbólicas, denominadas de “sonoridade” com *b)* os modos específicos de execução instrumental estendida. Neste contexto, apresentamos três experimentos composicionais que resultam de tal escopo de trabalho. No caso de *Lana Tai*, a metodologia utilizada versou sobre o planejamento de “Pontos de Referências” e a construção de “Misturas Sonoras”, como discutidos na Seção 2.1, que foram ancoradas em dois descritores de áudio: croma, Seção 2.2.16 e centroide, Seção 2.2.1. Focou-se, portanto, a caracterização do timbre sonoro relacionando-o às técnicas de execução instrumental e as suas respectivas orquestrações com o objetivo de obter controles e manipulações mais refinadas. Em *Lana Tai* os descritores de áudio se relacionaram com duas ideias contrastantes: *a)* Sonoridades Opacas e *b)* Sonoridades Brilhantes. Com o planejamento apresentado junto à confecção da obra, estabelecemos, por intermédio de tal metodologia, uma mescla mais

refinada do material composicional enquanto fenômeno timbrístico. A partir do método apresentado na elaboração de *Lana Tai*, ampliamos o estudo em duas direções: *a)* criamos novos estudos composicionais nos quais possamos explorar outras sonoridades a partir do uso de outros descritores de áudio e *b)* ampliamos a análise dos resultados utilizando também os descritores de áudio para estudar a execução da obra depois de gravadas. No que relaciona-se ao item *b)*, publicamos diversos trabalhos relacionados com a análise de *Lana Tai* (Simurra & Manzolli 2015), (Simurra 2014), (Simurra & Manzolli 2014). No que relaciona com o item *a)*, discutimos na Seção 4.2 o nosso próximo experimento: a obra *O azeite, a lua e o rio*.

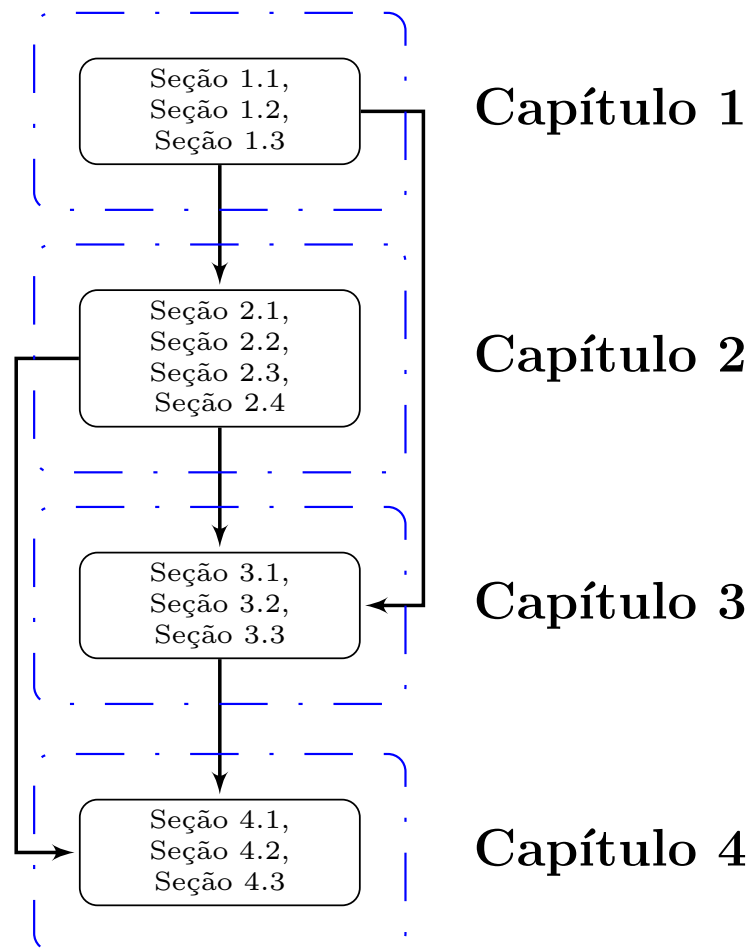
O projeto particular ao qual se relaciona com a obra *O azeite, a lua e o rio* versou sobre o planejamento de sonoridades cuja característica mais proeminente consiste em transformações timbrísticas, às quais foram ancoradas em três descritores de áudio: *Loudness* - Seção 2.2.12, Irregularidade Espectral - Seção 2.2.8 e Croma - Seção 2.2.16. De uma maneira sucinta e generalizada, o trabalho relacionou o nosso *Contexto e Ponto de Vista*, Seção 4.2.1 com a *Análise e Discussão* dos resultados obtidos na Seção 4.2.2. A obra descrita na Seção 4.2 partiu do planejamento de sonoridades contrastantes, denominadas aveludadas e rugosas e da variação de suas intensidades em diferentes âmbitos de dinâmica. Iniciamos nosso projeto com a proposta de quatro variações: *a)* sonoridades aveludadas, com pouca intensidade; *b)* sonoridades rugosas, com pouca intensidade; *c)* sonoridades rugosas, com acentuada intensidade e; *d)* sonoridades aveludadas, com acentuada intensidade. A partir da utilização do *Loudness*, conseguimos analisar diversos materiais sonoros e obter resultados com os quais se relacionam com sonoridades de menor e maior intensidade. Os parâmetros musicais mais correlacionados com as mudanças de *Loudness* são as regiões de oitava com a qual cada nota é executada e as dinâmicas musicais, como por exemplo *pp*, *p*, *mp*, *mf*, *f*, *ff*, etc. De acordo com a análise a partir da irregularidade espectral, verificamos que as diferentes técnicas de execução musical alteram a percepção timbrística de cada sonoridade analisada. Técnicas instrumentais às quais caracterizam-se pela inserção de ruído instrumental tendem a se relacionar com sonoridades rugosas e estriadas. Inversamente, para sonoridades aveludadas e lisas, utilizou-se determinadas técnicas instrumentais para resultar em sonoridade mais limpas e claras, como *whistle tones*, nas flautas. Na análise utilizando o cromas espectral, verificamos a polarização do tetracorde *Fá, Lá, Si e Dó*, o qual foi a base da estrutura melódica da obra. Utilizamos os resultados das análises extraídas do cromas, de cada sonoridade, para elaborar a escritura composicional da obra, como discutido na Seção 4.2.4. Ao restringir as construções melódicas, a partir dos resultados do cromas, tivemos maior liberdade criativa e estética para elaborar o desenvolvimento composicional da obra.

Na obra *Labori Ruinae* - Seção 4.3, apresentamos o uso de descritores de áudio como ferramentas de análise de sonoridades cujas características timbrísticas são potentes à transformações timbrísticas graduais. Tais análises foram ancoradas num vetor constituído por um conjunto de seis descritores de áudio. Como destacado na Seção 4.3.1, no experimento cujo resultado centrou-se na elaboração de *Labori Ruinae*, a estrutura formal da obra relaciona-se

com a transformação espectral de cinco pares de sonoridades. Cada sonoridade foi descrita por um vetor de seis descritores de áudio, como destacado na Seção 4.3.2. Interpolou-se cada par de sonoridade a partir do seu grau de dissimilaridade, em ordem crescente. Iniciamos a obra com o par de sonoridades de menor índice de dissimilaridade. Conseqüentemente, a obra encerra-se com o par de maior índice, Seção 4.3.4.

5.1.4 Síntese da Trajetória de Pesquisa

O diagrama da Figura 5.2 sintetiza a estrutura da trajetória da nossa proposta de pesquisa, que relaciona composição musical, orquestração musical, análise sonora e musical e ambientes computacionais de assistência a contextos musicais (Padovani & Manzolli 2015, pg. 1).



Ex. 5.2: Esquema geral da trajetória de pesquisa que integra os Capítulos da Tese, relacionando composição musical, orquestração musical, análise sonora e musical e ambientes computacionais de assistência a contextos musicais.

5.2 As Contribuições da Pesquisa

O procedimento metodológico apresentado neste trabalho apresenta-se como uma estratégia alternativa de composição e orquestração ao explorar o vasto universo sonoro das técnicas estendidas de execução musical, a partir das sonoridades orquestrais cujas características espectrais são analisadas pelos descritores de áudio. O trabalho de pesquisa descrito neste texto relacionou a análise musical do ponto de vista objetivo, utilizando ferramentas computacionais e estatísticas, com o próprio planejamento conceitual, estético e particular do compositor. Um dos objetivos da nossa pesquisa relaciona-se com a generalização do uso da ferramenta de orquestração assistida por computador, *SSC*, com a qual a comunidade interessada na área possa interagir com o ambiente e auxiliar nas etapas de planejamento de sonoridades orquestrais.

Desenvolvemos diversos experimentos composicionais utilizando os procedimentos metodológicos descritos nesta Tese de Doutorado. Encontra-se, no Apêndice F, a versão integral das partituras musicais das obras elaboradas durante o período de pesquisa. Em cd anexo, disponibilizamos as *patches* de interação com o ambiente *SSC*, em *Pure Data*. Nosso objetivo é contribuir com a área especializada em orquestração musical assistida por computador assim como estreitar a discussão e o ampliar o desenvolvimento do próprio protótipo *SSC*.

5.3 Os Desdobramentos Composicionais

Como apresentado na Introdução Geral, elaboramos um conjunto de 13 experimentos composicionais. A seguir, listamos em perspectiva o portfólio composicional desenvolvido durante o período da pesquisa de doutorado. No Apêndice F encontra-se uma versão das partituras musicais dos 13 experimentos composicionais.

- *Shapiro Peer XI*, para Flauta; Clarinete; Trompa; Percussão; Piano; Violino; Viola; Violoncelo e Contrabaixo - 2015
- *Sida Rika Orao*, para Flauta e Piano - 2015
- *ExSamples*, para Clarinete; Saxofone Alto; Percussion; Piano e Contrabaixo - 2014
- *Aida Reina Jolia Su*, para Flauta; Clarinete; Saxofone Alto; Vibrafone/Percussão e Piano - 2014
- *Jade God In*, para Piano Solo - 2014
- *Prologue*, para Flauta e Clarinete - 2014
- *Labori Ruinae*, para Flauta/Piccolo; Clarinete/Clarone; Vibrafone; Piano; Violino; Viola e Violoncelo - 2014

- *Samurai Lunar*, para Oboé; Saxofone Alto e Três Violoncelos - 2014
- *O azeite, a lua e o rio - numa ilha rodeada de ouro, com água até o joelho*, para Flauta, Clarinete e Violoncelo - 2013
- *Factorial Ann*, para Quinteto de Madeiras - 2013
- *Fireman Dither*, para Orquestra Sinfônica - 2013
- *Lana Tai - no dia em que nasceu uma aquarela*, para orquestra de cordas - 2012
- *FFT - Fast Flute Transform*, para Flauta Solo - 2012

5.4 As Inovações de Pesquisa

A hipótese da nossa pesquisa estabelece que a utilização de descritores de áudio em ambientes computacionais de orquestração musical fornece dados objetivos para relacionar os dados simbólicos com as características perceptivas relacionadas com o timbre musical. As análises objetivas dialogam com as possibilidades de execução instrumental derivadas de técnicas estendidas. As sonoridades resultantes das orquestrações musicais se relacionaram com alguns correlatos subjetivos de percepção sonora, como Sonoridades Opacas e Sonoridades Brilhantes em *Lana Tai* - Seção 4.1.1 e; Sonoridades aveludadas com pouca intensidade, Sonoridades Rugosas com pouca intensidade, Sonoridades Rugosas com acentuada intensidade e Sonoridades Rugosas com acentuada intensidade, em *O azeite, a lua e o rio* - 4.2.1. Apesar de reduzirem os dados relacionados com o objeto analisado, os descritores de áudio dialogam com atributos subjetivos de percepção sonora e espectral, tais como brilho, opacidade, rugosidade, maciez, ruidosidade, dentre outros. Na Introdução Geral, descrevemos brevemente as pesquisas que objetivaram o estudo dos correlatos verbais da percepção do timbre. Neste contexto, a nossa pesquisa em orquestração musical assistida por computador amplia o planejamento composicional cujo foco centra-se em sonoridades de conteúdo espectral. Diferentemente dos ambientes computacionais de assistência à orquestração, apresentados na Seção 1.2, a nossa proposta, à qual resultou no desenvolvimento no protótipo de ambiente computacional denominado *Sound Shizuku Composition - SSC*, relaciona-se diretamente com as características perceptivas potenciais analisadas pelos descritores. No *SSC*, como apresentado na Seção 2.4.8, as sugestões orquestrais resultam da interação dos descritores de áudio com a própria percepção subjetiva do usuário com os seus potenciais correlatos semânticos. Diferentemente, de ambientes computacionais de orquestração assistida, dos quais utilizam o conceito de “timbre-alvo”, restringindo as possibilidades de abstração das configurações orquestrais, no ambiente *SSC* o timbre sonoro possui diversas características perceptivas

que podem estar intrinsecamente associadas ou ortogonalmente diferentes. As ferramentas de análise sonora descrevem determinados aspectos que podem ressaltar uma ou mais características específicas, correlatas com os atributos subjetivos de percepção timbrística.

O trabalho de pesquisa possibilitou o diálogo da análise formal e estatística do fenômeno sonoro com as definições conceituais, estéticas e subjetivas com as quais o compositor pode interagir em seu processo de composição musical. Os métodos utilizados geram interesse para a comunidade especializada na área de composição musical cujo foco centra-se no timbre musical.

5.5 A Tese em perspectiva com o presente e o futuro

O atual estágio da pesquisa que relaciona descritores de áudio, orquestração musical e composição apresentou resultados satisfatórios do ponto de vista da produção composicional e de desenvolvimento científico relacionado com ambiente de orquestração assistida por computador. Associamos o nosso trabalho de composição com análise musical utilizando os descritores de áudio. Os nossos objetos de análise se relacionaram com projetos composicionais distintos da produção musical realizadas a partir da segunda metade do século XX e início do século XXI. Tais projetos, que são considerados representativos em suas particularidades, dialogam e convergem para a composição musical de sonoridades orquestrais a partir da sobreposição instrumental e técnicas estendidas instrumentais. Desenvolvemos diversos trabalhos de análise musical de repertório de compositores consagrados, dentre os quais citamos: Jonathan Harvey, Giacinto Scelsi, Helmut Lachenmann e Jônatas Manzoli. Nossa perspectiva é ampliar nosso trabalho dando continuidade à análise dos demais Movimentos das *Quattro Pezzi per Orchestra*, de Scelsi. A análise do primeiro movimento forneceu resultados interessantes. Nosso objetivo é ampliar a análise da obra, abrangendo a composição em sua versão integral. No que tange à produção de Helmut Lachenmann, pretendemos ampliar o nosso trabalho relacionando as obras solo do compositor alemão com as suas obras de formação com maior efetivo instrumental. Nosso objetivo é verificar se as obras para instrumentos solos são partes integrantes de um projeto macroestrutural que resulta em composições para formação de câmara ou orquestral. Neste contexto, pretendemos utilizar os dados objetivos das análises sonoras, utilizando os descritores de áudio, com os dados simbólicos indicados pelo compositor na partitura musical. Nosso objetivo é ampliar o escopo de trabalho de análise, com a utilização do descritores de áudio, de outras obras e de outros compositores do repertório da música instrumental.

Do ponto de vista da prática composicional, elaboramos um total de 13 composições musicais cujo planejamento de sonoridades centrou-se, principalmente, nas sonoridades sugeridas pelo *Sound Shizuku Composition*. No que relaciona-se com tal abordagem, nossa perspectiva de trabalho objetiva compor novas obras musicais e analisar suas respectivas gravações sono-

ras para avaliar a efetividade da metodologia. Essa é uma etapa de amplo desenvolvimento e expansão. Como discutido em Capítulos anteriores, diversos grupos e centros de pesquisa publicam resultados e produções bibliográficas, científicas e práticas nas áreas de recuperação da informação musical, computação musical, composição, orquestração e análise musical assistidas por computador. Pretendemos ampliar nossa pesquisa e verificarmos o estado da arte das pesquisas realizadas de tais desenvolvimentos.

No nosso projeto inicial, objetivamos a criação de um *corpus* de sonoridades orquestrais utilizando os descritores de áudio como ferramentas de análise. Nossa perspectiva de trabalho relacionado com o ambiente *SSC* centra-se em aperfeiçoar e refinar o algoritmo de análise e sobreposição das amostras de áudio utilizando técnicas e ferramentas da computação musical e de outros modelos computacionais. Pretendemos publicar os resultados científicos obtidos até a atual versão do *SSC*, para posteriormente avançarmos na etapa de aperfeiçoamento do nosso sistema. Um dos nossos objetivos é ampliar o nosso banco de dados sonoros adicionando mais amostras de áudio de outros instrumentos. No nosso planejamento, pretendemos inserir instrumentos como *bass tuba*, *Contrabass Clarinet*, *Eb Clarinete*, *Bass Flute*, *Contrabass Flute*, *Piccolo*, *English Horn*, *Bass Trombone* e *Percussion*. Outra proposta que nos interessou se relaciona com o estudo das sonoridades orquestrais da perspectiva dos correlatos semânticos utilizados na descrição verbal das características timbrísticas e dos estados afetivos/emocionais que podem ser induzidos ou evocados na escuta de tais sonoridades. Como brevemente discutido na Introdução Geral, as pesquisas relativas aos atributos verbais da percepção do timbre é ampla, abrangente e promissora. Pretendemos desenvolver pesquisas para aperfeiçoar o nosso sistema de orquestração assistida por computador que permita explorar artisticamente a construção de sonoridades a partir de representações semânticas e afetivas, a partir do uso de processamento de sinais e análise de descritores de áudio.

Bibliografia

- Abbinanti, F. (2004). Sections of exergue 1/evocations/dialogue with timbre, *Taylor & Francis* .
- Abreu, J., Caetano, M. & Penha, R. (2015). Musical orchestration using biological principles, *1st Doctoral Congress in Engineering*.
URL: <http://url.moosaico.com/92104>
- Adler, S. (1989). The study of orchestration. 2nd ed, *New York: WW Norton and Company* .
- Agostini, A. & Ghisi, D. (2013). Real-time computer-aided composition with bach, *Contemporary Music Review* **32**(1): 41–48.
- Ahn, S.-H. (2014). *Easterns and western Elements in Selected Works by Giacinto Scelsi and Toru Takemitsu*, PhD thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign.
URL: <http://hdl.handle.net/2142/49301>
- Albertson, D. (2004). Foreword, *Contemporary Music Review* **23**(3-4): 3–5.
URL: <http://dx.doi.org/10.1080/0749446042000285573>
- Antoine, A. & Miranda, E. R. (2015). Towards intelligent orchestration systems, *11th International Symposium on Computer Music Multidisciplinary Research (CMMR)*, Plymouth, UK .
- Antoni, J. (2006). The spectral kurtosis: a useful tool for characterising non-stationary signals, *Mechanical Systems and Signal Processing* **20**(2): 282–307.
- Aucouturier, J.-J., Pachet, F. & Sandler, M. (2005). "the way it sounds": timbre models for analysis and retrieval of music signals, *Multimedia, IEEE Transactions on* **7**(6): 1028–1035.

- Baillet, J. (2000). *Gérard Grisey: fondements d'une écriture*, Editions L'Harmattan.
- Ballet, G., Borghesi, R., Hoffmann, P. & Lévy, F. (1999). Studio online 3.0: An internet "killer application" for remote access to ircam sounds and processing tools, *Journée d'Informatique Musicale (JIM)* .
- Barbancho, A. M., Barbancho, I., Tardón, L. J. & Molina, E. (2013). *Database of Piano Chords: An Engineering View of Harmony*, Springer, ISBN-13: 978-1461474753, 50 páginas.
- Barbedo, J. G. A. & Lopes, A. (2007). Automatic genre classification of musical signals, *EURASIP Journal on Applied Signal Processing* **2007**(1): 157–157.
- Barrière, J.-B. (1991). *Le Timbre: métaphore pour la composition*, Christian Bourgois.
- Berger, K. W. (1964). Some factors in the recognition of timbre, *The Journal of the Acoustical Society of America* **36**(10): 1888–1891.
- Berlioz, H. & Strauss, R. (1985). *Treatise on instrumentation*, Alfred Music Publishing.
- Bogdanov, D., Wack, N., Gómez, E., Gulati, S., Herrera, P., Mayor, O., Roma, G., Salamon, J., Zapata, J. R. & Serra, X. (2013). Essentia: An audio analysis library for music information retrieval., *ISMIR*, pp. 493–498.
- Bok, H. (2010). *New techniques for the bass clarinet*, Shoepair Music Prod.
- Boulanger-Lewandowski, N., Bengio, Y. & Vincent, P. (2013). Audio chord recognition with recurrent neural networks., *ISMIR*, pp. 335–340.
- Boulanger, R. C. (2000). *The Csound book: perspectives in software synthesis, sound design, signal processing, and programming*, MIT press.
- Boulez, P. (1987). Timbre and composition-timbre and language, *Contemporary Music Review* **2**(1): 161–171.
- Brent, W. (2009). Cepstral analysis tools for percussive timbre identification, *Proceedings of the 3rd International Pure Data Convention, Sao Paulo, Brazil*.
- Brent, W. (2010a). Physical and perceptual aspects of percussive timbre, *PhD Thesis - UC San Diego Electronic Theses and Dissertations, 171 pages* .
- Brent, W. (2010b). *A timbre analysis and classification toolkit for pure data*, Ann Arbor, MI: MPublishing, University of Michigan Library.

- Brown, J. C. (1993). Determination of the meter of musical scores by autocorrelation, *The Journal of the Acoustical Society of America* **94**(4): 1953–1957.
- Bullock, J., Beattie, D. & Turner, J. (2011). Integra live: a new graphical user interface for live electronic music, *Proceedings of the 2011 NIME conference*, pp. 387–92.
- Bullock, J. & Conservatoire, U. (2007). Libxtract: A lightweight library for audio feature extraction, *Proceedings of the International Computer Music Conference*, Vol. 43, Cite-seer.
- Buxton, W. (1977). A composer’s introduction to computer music, *Journal of New Music Research* **6**(2): 57–71.
- Byrd, D. & Fingerhut, M. (2002). The history of ismir—a short happy tale, *D-lib Magazine*, Vol. 8, Number 11 .
- Caetano, M., Costa, C., Manzolli, J. & Von Zuben, F. (2005). Self-organizing topological timbre design methodology using a kohonen neural network, *10th Brazilian Symposium on Computer Music (SBCM)* .
- Caetano, M., Manzolli, J. & Von Zuben, F. (2005a). Biomúsica: Aplicações de inteligência artificial e algoritmos bio-inspirados em música, *Proceedings of the 2. II Seminário de Música, Ciência e Tecnologia*, SciELO Brasil.
- Caetano, M., Manzolli, J. & Von Zuben, F. J. (2005b). Application of an artificial immune system in a compositional timbre design technique, *Artificial Immune Systems*, Springer, pp. 389–403.
- Cannam, C. (2009). The vamp audio analysis plugin api: A programmer’s guide, *Available online: <http://vamp-plugins.org/guide.pdf>* .
- Cannam, C., Landone, C., Sandler, M. B. & Bello, J. P. (2006). The sonic visualiser: A visualisation platform for semantic descriptors from musical signals., *ISMIR*, pp. 324–327.
- Carpentier, G. (2008). *Approche computationnelle de l’orchestration musicale-Optimisation multicritère sous contraintes de combinaisons instrumentales dans de grandes banques de sons*, PhD thesis, Université Pierre et Marie Curie-Paris VI.
- Cartwright, M. B. & Pardo, B. (2013). Social-eq: Crowdsourcing an equalization descriptor map., *ISMIR*, pp. 395–400.
- Catanzaro, T. (2013). *La musique spectrale face aux apports technoscientifiques*, PhD thesis, Paris 4.

- Cecchetto, D. (2009). Music and catachresis: Lachenmann's . . . zwei gefühle . . . in the theatre of judith butler, *University of Victoria* .
URL: <http://bit.ly/1LJFdw1>
- Chladni, E. F. F. (1809). *Traité d'acoustique*, Courcier.
- Collins, N. (2005). An automated event analysis system with compositional applications, *Proceedings of the International Computer Music Conference (ICMC)*.
- Collins, N. (2011). *SCMIR: A SuperCollider music information retrieval library*, Ann Arbor, MI: MPublishing, University of Michigan Library.
- Cook, N. (1994). *A guide to musical analysis*, Oxford University Press.
- da Silva, W. T. & Ferraz, S. (2015). Sobre a possibilidade de figuras retórico-musicais hoje, *OPUS-Revista Eletrônica da ANPPOM* **21**(1): 153–184.
- DeCarlo, L. T. (1997). On the meaning and use of kurtosis., *Psychological methods* **2**(3): 292.
- Deleuze, G. et al. (2004). *Anti-oedipus*, Bloomsbury Publishing.
- Deshpande, H., Singh, R. & Nam, U. (2001). Classification of music signals in the visual domain, *Proceedings of the COST-G6 Conference on Digital Audio Effects*, University of Limerick, Ireland, pp. 1–4.
- Dickson, I. (2012). Towards a grammatical analysis of scelsi's late music, *Music Analysis* **31**(2): 216–241.
- Dieleman, S. & Schrauwen, B. (2013). Multiscale approaches to music audio feature learning., *International Society for Music Information Retrieval Conference - ISMIR, Curitiba, Brazil*, pp. 3–8.
- Dixon, S. (2006). Onset detection revisited, *Proc. of the Int. Conf. on Digital Audio Effects (DAFx-06)*, Citeseer, pp. 133–137.
- Dolan, E. I. (2013). *The orchestral revolution: Haydn and the technologies of timbre*, Cambridge University Press.
- Downie, J. S., Byrd, D. & Crawford, T. (2009). Ten years of ismir: Reflections on challenges and opportunities., *ISMIR*, pp. 13–18.
- Downie, J. S., Ehmann, A. F., Bay, M. & Jones, M. C. (2010). The music information retrieval evaluation exchange: Some observations and insights, *Advances in music information retrieval*, Springer, pp. 93–115.

- Dubnov, S. (2004). Generalization of spectral flatness measure for non-gaussian linear processes, *Signal Processing Letters, IEEE* **11**(8): 698–701.
- Dufourt, H. (1979). Musique spectrale, *Musique, pouvoir, écriture* pp. 289–290.
- Einbond, A. (2005). Composer as curator: Uncreativity in recent electroacoustic music.
- Elezovic, I. (2007). *Scelsi's Approach to the Third Dimension in "Quattro Pezzi (su Una Nota Sola)"*., University of Illinois at Urbana-Champaign, ISBN 9780549095347.
- Ellis, D. P., Whitman, B., Jehan, T. & Lamere, P. (2010). The echo nest musical fingerprint, *ISMIR 2010 Utrecht: 11th International Society for Music Information Retrieval Conference, August 9th-13th, 2010*, International Society for Music Information Retrieval.
- Eng, K., Babler, A., Bernardet, U., Blanchard, M., Briska, A., Conradt, J., Costa, M., Delbruck, T., Douglas, R. J., Hepp, K. et al. (2002). Ada: Constructing a synthetic organism, *Intelligent Robots and Systems, 2002. IEEE/RSJ International Conference on*, Vol. 2, IEEE, pp. 1808–1813.
- Esling, P. & Agon, C. (2010). Composition of sound mixtures with spectral maquettes, *International Computer Music Conference - ICMC, New York, NY*.
- Esling, P. & Agon, C. (2013). Multiobjective time series matching for audio classification and retrieval, *Audio, Speech, and Language Processing, IEEE Transactions on* **21**(10): 2057–2072.
- Esling, P. & Bouchereau, A. (2014). Orchids: Abstract and temporal orchestration software. end user documentation, *IRCAM Forumnet* .
URL: <http://bit.ly/1SjtEe8>
- Farbood, M., Kaufman, H. & Jennings, K. (2007). Composing with hyperscore: An intuitive interface for visualizing musical structure, *Proc. of ICMC*, Vol. 59.
- Ferraz, S. (2002). Varèse: a composição por imagens sonoras, *Música hoje* **8**: 8–30.
- Ficagna, A. (2014). *Entre o sonoro e o visual: a composição por imagens*, PhD thesis, Tese (Doutorado em Música). Instituto de Artes, Unicamp, Campinas.
- Fletcher, H. & Munson, W. A. (1933). Loudness, its definition, measurement and calculation*, *Bell System Technical Journal* **12**(4): 377–430.
- Florentine, M., Bonding, P. et al. (1978). Loudness of complex sounds as a function of the standard stimulus and the number of components, *The Journal of the Acoustical Society of America* **64**(4): 1036–1040.

- Fujishima, T. (1999). Realtime chord recognition of musical sound: A system using common lisp music, *Proc. ICMC*, Vol. 1999, pp. 464–467.
- Gallo, H. (2006). Tempo real e tempo diferido: analisando alguns embates, *Ictus-Periódico do PPGMUS/UFBA* **6**.
- Gieseler, W., Lombardi, L. & Weyer, R.-D. (1985). Instrumentation in der musik des 20, *Jahrhunderts. Akustik—Instrumente—Zusammenwirken. Celle: Moeck* .
- Gómez, E. (2006). Tonal description of polyphonic audio for music content processing, *INFORMS Journal on Computing* **18**(3): 294–304.
- Grey, J. M. (1975). *An exploration of musical timbre*, number 2, Dept. of Music, Stanford University, PhD, Thesis.
URL: <https://ccrma.stanford.edu/papers/exploration-of-musical-timbre>
- Grey, J. M. (1977). Multidimensional perceptual scaling of musical timbres, *The Journal of the Acoustical Society of America* **61**(5): 1270–1277.
- Guigue, D. (1996). *Une étude "pour les sonorités opposées": pour une analyse orientée objets de l'oeuvre pour piano de Debussy et de la musique du XXe siècle*, PhD thesis, Paris EHESS.
- Guigue, D. (2007). Serynade e o mundo sonoro de helmut lachenmann, *Opus, Goiânia* **13**(2): 93–109.
- Guigue, D. (2008). L'ars subtilior de lachenmann: une incursion dans le monde sonore de serynade, *Filigrane* (7): 159–188.
- Guigue, D. (2009). *Esthétique de la sonorité: L'héritage de Debussy dans la musique pour piano du XXe siècle*, Editions L'Harmattan.
- Guigue, D. (2011). Estética da sonoridade: a herança de debussy na música para piano do século xx.
- Guigue, D. (2014). Vers un modele pour l'analyse de l'orchestration : Rapport de recherche en cours, *Journées d'Informatique Musicales - JIM2014*, pp. 95–101.
- Guigue, D., Noda, L. & Bragagnolo, B. M. (2014). timbre e escrita ao piano: por uma incorporação do comportamento acústico do piano na composição e análise musical, *Música Hodie* **14**(1).
- Harvey, J. (1965). *The composer's idea of his inspiration*, PhD thesis, University of Glasgow.

- Harvey, J. (1980). The composer's view: Atonality, *The Musical Times* pp. 699–700.
- Harvey, J. (2000). Spectralism, *Contemporary music review* **19**(3): 11–14.
- Harvey, J., Nuono, G., Cont, A. & Carpentier, G. (2009). Making an orchestra speak, *Proc. Int. Conf. Sound and Music Computing (SMC2009), Porto*.
- Haykin, S. (2009). *Neural networks and learning machines*, Vol. 3, Pearson Education Upper Saddle River.
- Heathcote, A. (2003). *Liberating sounds: philosophical perspectives on the music and writings of Helmut Lachenmann*, PhD thesis, Durham University.
- Helmholtz, H. L. (1885). On the sensations of tone as a physiological basis for the theory of music (transl 1954).
- Hummel, T. A. (2005). Simulation of human voice timbre by orchestration of acoustic music instruments, *Proceedings of International Computer Music Conference (ICMC)*, Citeseer, p. 185.
- Hummel, T. A. (2014). Algorithmic orchestration with contimbre, *Journées d'Informatique Musicales - JIM2014*, pp. 139–140.
- Iwao, H. & Manzolli, J. (2006). Construção de escalas utilizando o método dos crivos de xenakis, *XVI Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Música - ANPPOM, UnB, Brasília*.
- Jehan, T. (2005). *Creating music by listening*, PhD thesis, Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology.
URL: <http://bit.ly/1S8QgeB>
- Junior, A. C. L. F. (2015). Contribuições ao problema de extração de tempo musical, *Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação - FEEC - UNICAMP*.
- Koehlin, C. (1954). *Traité de l'orchestration*, Vol. 1, Editions Max Eschig, Paris, France.
- Krimphoff, J., McAdams, S. & Winsberg, S. (1994). Caractérisation du timbre des sons complexes. ii. analyses acoustiques et quantification psychophysique, *Le Journal de Physique IV* **4**(C5): C5–625.
- Lachenmann, H. (1969). *Pression*, Breitkopf & Härtel.
- Lachenmann, H. (1970). *Guero*, Breitkopf & Härtel.

- Lachenmann, H. (1971a). *Gran Torso*, Breitkopf & Härtel.
- Lachenmann, H. (1971b). *Kontrakadenz*, Breitkopf & Härtel.
- Lachenmann, H. (1995a). *Dal niente:(Interieur III)*, Breitkopf & Härtel.
- Lachenmann, H. (1995b). On structuralism, *Contemporary Music Review* **12**(1): 93–102.
- Lachenmann, H. (2004a). Four questions regarding new music.
- Lachenmann, H. (2004b). On my second string quartet ('reigen seliger geister') 1, *Contemporary Music Review* **23**(3-4): 59–79.
- Lachenmann, H. (2009). Typologie sonore de la musique contemporaine, *Écrits et entretiens*, Contrechamps Editions, Genève .
- Lartillot, O. & Toiviainen, P. (2007). A matlab toolbox for musical feature extraction from audio, *International Conference on Digital Audio Effects*, pp. 237–244.
- Laske, O. (1981). Composition theory in koenig's project one and project two, *Computer Music Journal* pp. 54–65.
- Le Groux, S., Manzolli, J., Verschure, P., Sanchez, M., Luvizotto, A., Mura, A., Valjamae, A., Guger, C., Prueckl, R. & Bernardet, U. (2010). Disembodied and collaborative musical interaction in the multimodal brain orchestra, *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, pp. 309–314.
- Lesser, D. (2004). Dialectic and form in the music of helmut lachenmann, *Taylor & Francis* .
- Lin, B. (2013). An analysis of scelsi's string quartet no. 4.
URL: <http://bit.ly/1Ud0nFt>
- Lindsay, A. T., Burnett, I., Quackenbush, S. & Jackson, M. (2002). Fundamentals of audio descriptions, *Introduction to MPEG-7: Multimedia Content Description Interface* pp. 283–298.
- Loureiro, M. A. & de Paula, H. B. (2006). Timbre de um instrumento musical: caracterização e representação, *Per Musi-Revista Acadêmica de Música* pp. 57–81.
- Loureiro, M., Magalhães, T. et al. (2008). Segmentação e extração de descritores de expressividade em sinais musicais monofônicos, *Seminário Música Ciência Tecnologia* **1**(3).
- Lyotard, J.-F. (2004). *Libidinal economy*, Bloomsbury Publishing.

- Macé, P.-I. (2015). Helmut lachenmann, mouvement (- vor der erstarrung). [Online; Data de acesso: 17/07/2015].
URL: <http://www.ensembleinter.com/accents-online/?p=7939>
- Maezawa, A., Itoyama, K., Yoshii, K. & Okuno, H. G. (2014). Bayesian audio alignment based on a unified generative model of music composition and performance, *15th International Society for Music Information Retrieval Conference, Taipei, Taiwan* **15**: 17.
- Magalhães, G. & Fenerich, A. S. (2013). Engenharia reversa de quatro pezzì su una sola note, *XXIII Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Música - ANPPOM, Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Natal, RN*.
- Malt, M. (2000). *Les Mathématiques et la Composition Assistée par Ordinateur (Concepts, Outils et Modèles*, PhD thesis, Tese de Doutorado em Música e Musicologia - Ecole Des Hautes Etudes En Sciences Sociales, Paris.
- Malt, M. & Jourdan, E. (2008). Zsa. descriptors: a library for real-time descriptors analysis, *Sound and Music Computing, Berlin, Germany*.
- Malt, M. & Jourdan, E. (2009). Real-time uses of low level sound descriptors as event detection functions using the max/msp zsa. descriptors library, *Proceedings of the 12th Brazilian Smposium on Computer Music*.
- Manoury, P. (1998). *La note et le son: écrits et entretiens (1981-1998)*, Editions L'Harmattan.
- Manzoli, J. (1988). Um modelo matemático para timbre orquestral, *dissertação de mestrado, IMECC, Unicamp, 136 páginas*.
- Manzoli, J. (2013). Interpretação mediada: pontos de referência, modelos e processos criativos, *Música Hodie* **13**(1).
- Manzoli, J., Blanchard, J. & Verschure, P. (2000). A robot based interactive composition system, *Proceedings of AAAI*, pp. 435–440.
- Manzoli, J. & Luvizotto, A. L. (2015). Análise de ramificações de ligeti utilizando transformada wavelet, *NICS Reports* (10): 2.
- Manzoli, J. & Maia Jr., A. (2010). Composição textural algorítmica via sistemas dinâmicos, *XX Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Música - ANPPOM, Florianópolis-SC*.
- Maresz, Y. (2013). On computer-assisted orchestration, *Contemporary Music Review* **32**(1): 99–109.

- Mathews, M. & Rosler, L. (1966). Graphical language for the scores of computer-generated sounds, *The Journal of the Acoustical Society of America* **40**(5): 1252–1252.
- Mathews, P. (2006). *Orchestration: an anthology of writings*, Routledge.
- Mauch, M., Fujihara, H., Yoshii, K. & Goto, M. (2011). Timbre and melody features for the recognition of vocal activity and instrumental solos in polyphonic music., *ISMIR*, pp. 233–238.
- McAdams, S. (1999). Perspectives on the contribution of timbre to musical structure, *Computer Music Journal* **23**(3): 85–102.
- McAdams, S. & Battier, M. (2005). Creation and perception of a contemporary musical work: The angel of death by roger reynolds [e-book], *Paris: IRCAM-Centre Pompidou* .
- McAdams, S., Vines, B. W., Vieillard, S., Smith, B. K. & Reynolds, R. (2004). Influences of large-scale form on continuous ratings in response to a contemporary piece in a live concert setting, *Music Perception* **22**(2): 297–350.
- McKay, C., Fiebrink, R., McEnnis, D., Li, B. & Fujinaga, I. (2005). Ace: A framework for optimizing music classification., *ISMIR*, pp. 42–49.
- McKay, G. F. (1963). *Creative orchestration*, Allyn and Bacon.
- Mikula, L. (2008). *Concatenative music composition based on recontextualisation utilising rhythm-synchronous feature extraction*, na.
- Miranda, E. (2001). *Composing music with computers*, CRC Press.
- Miron, M., Carabias-Orti, J. J. & Janer, J. (2014). Audio-to-score alignment at note level for orchestral recordings, *15th International Society for Music Information Retrieval Conference*.
- Miśkiewicz, A. & Rakowski, A. (1994). Loudness level versus sound-pressure level: A comparison of musical instruments, *The Journal of the Acoustical Society of America* **96**(6): 3375–3379.
- Monteiro, A. C. (2012). Criação e performance musical no contexto de instrumentos musicais digitais, *Dissertação de Mestrado Instituto de Artes, Pós-graduação em Música, Unicamp* .
- Monteiro, A. & Manzolli, J. (2015). Análise computacional de texturas sonoras via mapas de poincaré, *NICS Reports* (10): 4.

- Morchid, M., Dufour, R. & Linares, G. (2014). A combined thematic and acoustic approach for a music recommendation service in tv commercials.
- Moroni, A., Manzolli, J. & Von Zuben, F. (1999). Composing with interactive genetic algorithms, *VI Brazilian Symposium on Computer Music, Rio de Janeiro-RJ, Brazil*.
- Moroni, A., Manzolli, J., Von Zuben, F. & Gudwin, R. (1999). Evolutionary computation applied to algorithmic composition, *Evolutionary Computation, 1999. CEC 99. Proceedings of the 1999 Congress on*, Vol. 2, IEEE.
- Mura, A., Rezazadeh, B., Duff, A., Manzolli, J., Le Groux, S., Mathews, Z., Bernardet, U., Wierenga, S., Bermudez, S. & Verschure, P. (2008). re (per) curso: an interactive mixed reality chronicle, *ACM SIGGRAPH 2008 talks*, ACM, p. 18.
- Murail, T. (2005a). Scelsi and l'itinéraire: The exploration of sound 1, *Contemporary Music Review* **24**(2-3): 181–185.
- Murail, T. (2005b). Scelsi, de-composer, *Contemporary Music Review* **24**(2-3): 173–180.
- Murail, T. (2005c). Spectra and sprites 1, *Contemporary Music Review* **24**(2-3): 137–147.
- Murphy, M. J. (2013). Methodology for the production and delivery of generative music for the personal listener: systems for realtime generative music production, *The University of Edinburgh*.
- Oppenheim, A. V., Portnoff, M. R., Frazier, R. H., Samsam, S., Schuessler, W. H., Singer, E., Kopec, G. E., Holt, A. P., Vincent, E., Tribolet, J. M. et al. (1975). Digital signal processing, *Technical report*, Research Laboratory of Electronics (RLE) at the Massachusetts Institute of Technology (MIT).
- Orning, T. (2012). Pression - a performance study, *Music Performance Research* **5**: 12–31.
- Pace, I. (1996). Lachenmann'pression', 'wiegenmusik', 'guero', 'toccatina', 'dal niente (interieur iii)', 'interieur i', ein'kinderspiel'+ ensemble-reche, lachenmann, h-auvidis-mo-782075.
- Pace, I. (1998). Positive or negative 1, *The Musical Times* pp. 9–17.
- Padovani, J. H. & Ferraz, S. (2012). Proto-história, evolução e situação atual das técnicas estendidas na criação musical e na performance, *Música Hodie* **11**(2).
- Padovani, J. H. & Manzolli, J. (2015). Symbolic regression as a computer-aided music tool for analysis and composition, *mus3 - Musicology, Sonology and Computing – Music Department – UFPB*.

- Pampalk, E. (2006). *Computational models of music similarity and their application in music information retrieval*, na.
- Park, T. H. (2004). *Towards automatic musical instrument timbre recognition*, Princeton University.
- Park, T. H. (2009). *Introduction to digital signal processing: Computer musically speaking*, World Scientific.
- Peeters, G. (2004). A large set of audio features for sound description (similarity and description) in the cuidado project, *IRCAM, Paris, France* .
- Peeters, G., McAdams, S. & Herrera, P. (2000). Instrument sound description in the context of mpeg-7, *Proceedings of the 2000 International Computer Music Conference*, Citeseer, pp. 166–169.
- Pereira, E. (2009). Estudos sobre uma ferramenta de classificação musical, *Campinas, Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas* .
URL: <http://bit.ly/1XQsYyp>
- Pesek, M., Leonardis, A. & Marolt, M. (2014). A compositional hierarchical model for music information retrieval, *Proceedings of the International Conference on Music Information Retrieval (ISMIR), Taipei, Taiwan*.
- Pires, A. S. (2011). Métodos de segmentação musical baseados em descritores sonoros.
- Piston, W. (1955). *Orchestration*, WW Norton.
- Plomp, R. (2001). *The intelligent ear: On the nature of sound perception*, Psychology Press.
- Plomp, R. & Levelt, W. J. (1965). Tonal consonance and critical bandwidth, *The journal of the Acoustical Society of America* **38**(4): 548–560.
- Psenicka, D. (2003). Sporch: An algorithm for orchestration based on spectral analyses of recorded sounds, *Proceedings of International Computer Music Conference (ICMC)*, p. 184.
- Rafii, Z., Germain, F., Sun, D. L. & Mysore, G. J. (2013). Combining modeling of singing voice and background music for automatic separation of musical mixtures., *ISMIR*, Vol. 10, pp. 645–680.
- Recherche, E. (1996). *Helmut Lachenmann 3 Solo Pieces*, Disques Montaigne.
- Rehfeldt, P. (1994). *New directions for clarinet*, Vol. 4, Scarecrow Press.

- Reish, G. (2006). Una nota sola: Giacinto scelsi and the genesis of music on a single note, *Journal of Musicological Research* **25**(2): 149–189.
- Rimoldi, G. (2013). Modelagem interativa aplicada à síntese e espacialização no domínio microtemporal, *Mestrado Instituto de Artes, Pós-graduação em Música, Unicamp* .
- Rimsky-Korsakoff, N. (1964). Principles of orchestration (e. agate, trans.).
- Roads, C. (1996). *The computer music tutorial*, MIT press.
- Roads, C. (2004). *Microsound*, MIT press.
- Rose, F. & Hetrick, J. E. (2009). Enhancing orchestration technique via spectrally based linear algebra methods, *Computer Music Journal* **33**(1): 32–41.
- Rudhyar, D. (1982). The magic of tone and the art of music, *Edition Shambhala; 1st edition, ISBN 978-0394708874, 209 pages* .
- Russolo, L. (1986). *The art of noises*, number 6, Pendragon Press, ISBN 978-1576471142, 96 pages.
- Ryan, D. (1999). Composer in interview: Helmut lachenmann, *Tempo (New Series)* **210**(210): 20–25.
- Sandell, G. (2008). Definitions of the word timbre.
URL: <http://bit.ly/1RnYNur>
- Savart, F. (1979). *Mémoire sur la construction des instruments à cordes et à archet*, Minkoff Reprint.
- Scelsi, G. (1983). *Quattro Pezzi per Orchestrs*, Editions Salabert.
- Schaeffer, P. (1957). *Vers une musique expérimentale*, Richard-Masse.
- Schaeffer, P. (1966). *Traité des objets musicaux*.
- Schaub, S., Simurra, I. & Tavares, T. F. (2013). Mixing symbolic and audio data in computer assisted music analysis a case study from j. harvey’s speakings (2008) for orches-tra and live electronics.
- Schmidt, E. (2004). Mahler contra lachenmann, *Taylor & Francis, Volume 23, Issue 3-4* .
- Scott, J. & Kim, Y. E. (2013). Instrument identification informed multi-track mixing., *ISMIR*, pp. 305–310.

- Serra, X., Magas, M., Benetos, E., Chudy, M., Dixon, S., Flexer, A., Gómez, E., Gouyon, F., Herrera, P., Jordà, S., Paytavi, O., Peeters, G., Schlüter, J., Vinet, H. & Widmer, G. (2013). *Roadmap for Music Information ReSearch*.
- Sheh, A. & Ellis, D. P. (2003). Chord segmentation and recognition using em-trained hidden markov models, *ISMIR 2003* pp. 185–191.
- Shepard, R. N. (1962). The analysis of proximities: Multidimensional scaling with an unknown distance function., *Psychometrika* **27**(2): 125–140.
- Shepard, R. N. (1982). Structural representations of musical pitch, *The psychology of music* pp. 343–390.
- Shields, R. & Kendall, R. (2004). The relation of timbre to dissonance and spectral fusion, *8th International Conference on Music Perception & Cognition - ICMPC8, Evanston, IL*.
- Simurra, I. E. (2014). Lana tai, *Revista Música Hodie* (V.14, N°2): 249–260.
- Simurra, I. E. (2015). A utilização descritores de áudio à análise e composição musical assistidas por computador: um estudo de caso na obra *Labori Ruinae*, *XXV Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Música - ANPPOM, Vitória - ES*.
- Simurra, I. E. & Manzolli, J. (2014). Descritores de áudio como suporte à orquestração assistida por computador: Croma de uma aquarela, *NICS Reports* (7): 01–04.
- Simurra, I. E. & Manzolli, J. (2015). Lana tai–no dia em que nasceu uma aquarela: diário de bordo de uma composição a partir de descritores de áudio, *Per Musi* (31): 1–25.
- Simurra, I. E. Y. (2012). A recriação timbrística na música espectral, *Dissertação de Mestrado - Instituto de Artes da Unicamp*.
- Simurra, I. E. Y., Maia, I. L. & Manzolli, J. (2013). Quattro pezzi per orchestra de scelsi sob a Ótica da análise musical assistida por computador., *14º Simpósio Brasileiro de Computação Musical* pp. 221–224.
- Simurra, I. E. Y. & Tavares, T. F. (2014). A comprehensive approach in music and audio analysis: Similarities in helmut lachenmann’s music compositions., *In SysMus 2014: Seventh International Conference of Students of Systematic Musicology*.
- Simurra, I. E. Y. & Tavares, T. F. (2015). Computer-assisted analysis of three pieces by lachenmann, *Não publicado*.

- Siqueira, A. R. (2006). *O Percurso Composicional de Giacinto Scelsi: improvisação, orientalismo e escritura. 2006. 142f*, PhD thesis, Dissertação de mestrado em Música)-Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Smalley, D. (1994). Defining timbre—refining timbre, *Contemporary Music Review* **10**(2): 35–48.
- Solomos, M. (2013). *De la musique au son: l'émergence du son dans la musique des XXe-XXIe siècles*, Presses universitaires de Rennes.
- Steenhuisen, P. (2004). Interview with helmut lachenmann–toronto, 20031.
- Steiner, R. & Wulsin, A. (1983). The inner nature of music and the experience of tone selected lectures from the work of rudolf steiner, *SteinerBooks Press, ISBN 978-0880100748, 108 pages* .
- Sturm, B. L. (2014). The state of the art ten years after a state of the art: Future research in music information retrieval, *Journal of New Music Research* **43**(2): 147–172.
- Theodoridis, S. & Koutroumbas, K. (2008). *Pattern Recognition, Fourth Edition*, Academic Press.
- Thiebaut, J.-B., Healey, P. G., Kinns, N. B. & Mary, Q. (2008). Drawing electroacoustic music, *Proc. ICMC*, Vol. 8.
- Thiede, T. (1999). *Perceptual Audio Quality Assessment Using a Non-linear Filter Bank: Gehörbezogene Qualitätsbewertung Von Audiosignalen Unter Verwendung Einer Nichtlinearen Filterbank*, Mensch-&-Buch-Verlag.
- Thoshkahna, B., Nsabimana, F. X. & Kalpathi, R. R. (2011). A transient detection algorithm for audio using iterative analysis of stft., *ISMIR*, pp. 203–208.
- Tzanetakis, G. & Cook, P. (1999). Multifeature audio segmentation for browsing and annotation, *Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics, 1999 IEEE Workshop on*, IEEE, pp. 103–106.
- Tzanetakis, G. & Cook, P. (2000). Marsyas: A framework for audio analysis, *Organised sound* **4**(03): 169–175.
- Tzanetakis, G. & Cook, P. (2002). Musical genre classification of audio signals, *Speech and Audio Processing, IEEE transactions on* **10**(5): 293–302.
- Varèse, E. & Wen-Chung, C. (1966). The liberation of sound, *Perspectives of new music* pp. 11–19.

- Verbeek, J. J., Vlassis, N. & Kröse, B. (2003). Efficient greedy learning of gaussian mixture models, *Neural computation* **15**(2): 469–485.
- Virtanen, T. & Klapuri, A. (2000). Separation of harmonic sound sources using sinusoidal modeling, *Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2000. ICASSP'00. Proceedings. 2000 IEEE International Conference on*, Vol. 2, IEEE, pp. II765–II768.
- von Bismarck, G. (1974a). Sharpness as an attribute of the timbre of steady sounds, *Acta Acustica united with Acustica* **30**(3): 159–172.
- von Bismarck, G. (1974b). Timbre of steady sounds: A factorial investigation of its verbal attributes, *Acta Acustica united with Acustica* **30**(3): 146–159.
- Wang, A. et al. (2003). An industrial strength audio search algorithm., *IV International Conference on Music Information Retrieval - ISMIR, Library of Congress in Washington, D.C., USA, and Johns Hopkins University in Baltimore, Maryland, USA.*, pp. 7–13.
- Wedin, L. & Goude, G. (1972). Dimension analysis of the perception of instrumental timbre, *Scandinavian Journal of Psychology* **13**(1): 228–240.
- Wen, X. (2007). *Harmonic sinusoid modeling of tonal music events*, PhD thesis, University of London.
- Wikipedia (2015). Time point — wikipedia, the free encyclopedia. [Online; accessed 4-November-2015].
URL: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Time_point&oldid=666710971
- Wikström, D. V. (2014). Musical composition by regressional mapping of physiological responses to acoustic features, *14th International Conference on New Interfaces for Musical Expression, Goldsmiths, University of London* .
- Williams, A. (2011a). Mixing with mozart: Aesthetics and tradition in helmut lachenmann's accanto, *twentieth-century music* **8**(01): 71–97.
- Williams, T. R. (2011b). The physicality of sound production on acoustic instruments, *School of Arts* .
- Yong, K. (2006). Electroacoustic adaptation as a mode of survival: arranging giacinto scelsi's aitsi pour piano amplifiée (1974) for piano and computer, *Organised sound* **11**(03): 243–254.

- Zacharakis, A., Pasiadis, K., Papadelis, G. & Reiss, J. D. (2011). An investigation of musical timbre: Uncovering salient semantic descriptors and perceptual dimensions., *ISMIR*, pp. 807–812.
- Zacharakis, A., Pasiadis, K. & Reiss, J. D. (2015). An interlanguage unification of musical timbre: Bridging semantic, perceptual, and acoustic dimensions, *Music Perception: An Interdisciplinary Journal* **32**(4): 394–412.
- Zuben, P. (2005). *Ouvir o Som*, Ateliê Editorial.
- Zwicker, E. & Scharf, B. (1965). A model of loudness summation., *Psychological review* **72**(1): 3.

Anexo A: Definição e Formulação Matemática dos Descritores de Áudio utilizados no ambiente *Sound Shizuku Composition - SSC*

Na Seção 2.2 do Capítulo 2 apresentamos uma das alternativas de expansão das ferramentas de análise musical são algoritmos computacionais que descrevem características do comportamento do espectro do som digitalizado. A área de conhecimento científico que dialoga com o nosso trabalho denomina-se *Music Information Retrieval* ou simplesmente MIR. Os estudos sobre MIR utilizam funções matemáticas, apoiadas em medidas estatísticas e modelos psicoacústicos para desenvolver os chamados descritores de áudio. Neste Anexo B, definimos os descritores de áudio utilizados nos trabalhos discutidos nos Capítulos 2 e 3. De acordo com Peeters (Peeters 2004, pg. 2), a taxonomia dos descritores de áudio pode ser definida nas seguintes categorias:

- Descritores de Características Temporais
- Descritores de Características Espectrais
- Descritores de Características Harmônicas
- Descritores de Características Perceptivas

Os descritores de *características temporais* podem ser globais ou instantâneos e, respectivamente, são calculados diretamente do sinal digital de áudio analisado no domínio do tempo e por intermédio da envoltória da energia do sinal. Os descritores que se relacionam com essa categoria denominam-se: *centroide temporal*, *taxa de cruzamento por zero* e a média quadrática RMS.

Como apresentados na Seção 2.2, do Capítulo 2, os descritores de *características espectrais* são calculados diretamente pela Transformada de Fourier. No nosso trabalho, utilizamos os

descritores de áudio que pertencem às três subcategorias de características espectrais: envelope espectral, dinâmica espectral e a partir de preceitos musicais. Exemplos de descritores de áudio da categoria relacionada com as características espectrais: Centroide Espectral, Desvio Padrão Espectral, *Skewness* Espectral, Curtosis Espectral, Nivelamento Espectral, Irregularidade Espectral, Roll-Off Espectral, Decrescimento Espectral, Fluxo Espectral e Cromas Espectrais.

Os descritores de *características harmônicas* são calculados a partir do modelo sinusoidal do sinal digital de áudio analisado¹. Teoricamente, qualquer sinal digital pode ser representado por um número finito de ondas sinusoidais. Contudo, utilizam-se as análises com ondas sinusoidais para sinais periódicos e estáveis. A ideia de utilizar os modelos sinusoidais de análise centra-se em representar os sinais harmônicos e musicais (Virtanen & Klapuri 2000, pg. 01). Desta categoria, utilizamos o descritor de Razão entre Componentes Pares e Ímpares.

Os descritores de *características perceptivas* são baseados em estudos de modelos matemáticos para representação de características da percepção auditiva humana. Desta categoria, utilizamos o descritor *Loudness*.

A Tabela A.1 sintetiza a taxonomia dos descritores de áudio utilizados no nosso trabalho de pesquisa.

Taxonomia dos Descritores de Áudio			
Características Temporais	Globais	Centroide Temporal - Subseção 2.2.15	
	Instantâneas	RMS - Subseção 2.2.11	
		Taxa de Cruzamento por Zero - Subseção 2.2.13	
Características Espectrais	Envelope Espectral	Centroide Espectral - Subseção 2.2.1	
		Desvio Padrão Espectral - Subseção 2.2.2	
		<i>Skewness</i> Espectral - Subseção 2.2.3	
		Curtosis Espectral - Subseção 2.2.4	
		Nivelamento Espectral - Subseção 2.2.6	
		Irregularidade Espectral - Subseção 2.2.8	
		Roll-Off Espectral - Subseção 2.2.9	
		Decrescimento Espectral - Subseção 2.2.14	
		Dinâmica Espectral	Fluxo Espectral - Subseção 2.2.5
		Preceitos Musicais	Croma - Subseção 2.2.16
Características Harmônicas	Instantâneas	Razão entre Componentes Pares e Ímpares - Subseção 2.2.10	
Características Psicoacústicas	Instantâneas	<i>Loudness</i> - Subseção 2.2.12	

Tabela A.1: Tabela com a síntese da taxonomia dos descritores de áudio utilizados nos Capítulos 2, 3 e 4.

A seguir, apresentamos as definições formais dos descritores de áudio onde N é o tamanho da janela de análise, $s(n)$ é o n -ésimo valor (amostra) do sinal de áudio, $e(n)$ é a energia instantânea do sinal em sua n -ésima posição e fr (*frame rate*) é a taxa de amostragem do sinal de áudio.

- Centroide Temporal (Seção 2.2.15):

$$ct = \frac{\sum_{n=0}^{N-1} e[n]n}{\sum_{n=0}^{N-1} e[n]} \quad (A.1)$$

¹Para mais informações sobre o modelo sinusoidal harmônico, ver o trabalho de Xue Wen (Wen 2007)

onde N é o número total de amostras do som analisado; $e[n]$ é a energia da amostra definida como o quadrado do valor da amplitude da $n^{\text{ésima}}$ amostra: $e[n] = x[n]^2$.

- Média Quadrática - RMS (Subseção 2.2.11):

$$\mathbf{RMS}_i = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{N-1} x_i[n]^2}{N}} \quad (\text{A.2})$$

onde $x_i[n]$ são os valores de amplitude na $n^{\text{ésima}}$ amostra da $i^{\text{ésima}}$ janela do áudio digitalizado e N é o número de amostras da $i^{\text{ésima}}$ janela.

- Taxa de Cruzamento por Zero (Subseção 2.2.13):

$$\mathbf{zcr}_i = \frac{1}{2N} \sum_{n=0}^{N-1} |\text{sgn}(x_i[n]) - \text{sgn}(x_i[n-1])| \quad (\text{A.3})$$

onde

$$\text{sgn}(n) = \begin{cases} x > 0, & 1 \\ x < 0, & -1 \\ x = 0, & 0 \end{cases}, \quad (\text{A.4})$$

e $x_i[n]$ são os valores de amplitude na $n^{\text{ésima}}$ amostra do áudio digitalizado e N é o número de amostras da $i^{\text{ésima}}$ janela.

- Centroide Espectral (Subseção 2.2.1). Este descritor representa o baricentro do espectro analisado e seu valor é calculado considerando o espectro como uma distribuição cujos valores são frequências sonoras e as probabilidades que as observam são as amplitudes normalizadas.

$$\mathbf{SC}_i = \frac{\sum_{k=1}^{K-1} f[k] |X_i[k]|^2}{\sum_{k=1}^{K-1} |X_i[k]|^2} \quad (\text{A.5})$$

onde,

$$f[k] = \frac{\text{taxa-de-amostragem}}{2K} k \quad (\text{A.6})$$

e $|X_i[k]|$ representa a magnitude da k -ésima componente espectral da i -ésima janela, K é a metade do número de amostras da janela de análise (*FFT size*) e $f[k]$ é a frequência centro da componente k da Equação A.6.

- Desvio Padrão Espectral (Subseção 2.2.2). Este descritor representa o espalhamento do espectro em torno de seu valor médio, ou seja, a variância da distribuição definida no centroide.

$$\mathbf{SD}_i = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{K-1} \{f[k] - \mathbf{SC}\}^2 |X_i[k]|^2}{\sum_{k=1}^{K-1} |X_i[k]|^2}} \quad (\text{A.7})$$

onde $|X_i[k]|$ representa a magnitude da k -ésima componente espectral da i -ésima janela, K é a metade do número de amostras da janela de análise (*FFT size*) e $f[k]$ é a frequência centro da componente k da Equação A.6 e SC é o Centroi Espectral em Hz definido na Equação A.5

- *Skewness* Espectral (Subseção 2.2.3). Este descritor representa o terceiro momento de uma distribuição estatística sobre o seu valor médio:

$$\mathbf{SSk}_i = \frac{\sum_{k=1}^{K-1} \{f[k] - SC_i\}^3 |X_i[k]|^2}{SP_i^3 \sum_{k=1}^{K-1} |X_i[k]|^2} \quad (\text{A.8})$$

onde $|X_i[k]|$ representa a magnitude da k -ésima componente espectral da i -ésima janela, K é a metade do número de amostras da janela de análise (*FFT size*) e $f[k]$ é a frequência centro da componente k da Equação A.6; SC é o Centroi Espectral em Hz definido na Equação A.5 e SP_i é o Desvio Padrão Espectral definido na Equação A.7.

- *Curtose* Espectral (Subseção 2.2.4). Este descritor calcula o quarto momento da distribuição sobre o seu valor médio:

$$\mathbf{SK}_i = \frac{\sum_{k=1}^{K-1} \{f[k] - SC_i\}^4 |X_i[k]|^2}{SP_i^4 \sum_{k=1}^{K-1} |X_i[k]|^2} \quad (\text{A.9})$$

onde $|X_i[k]|$ representa a magnitude da k -ésima componente espectral da i -ésima janela, K é a metade do número de amostras da janela de análise (*FFT size*) e $f[k]$ é a frequência centro da componente k da Equação A.6; SC é o Centroi Espectral em Hz definido na Equação A.5 e SP_i é o Desvio Padrão Espectral definido na Equação A.7.

- *Nivelamento* Espectral (Subseção 2.2.6). Este descritor calcula a razão entre a média geométrica e a média aritmética da energia em uma banda espectral:

$$\mathbf{SFM}_i = \frac{(\prod_{q=1}^Q |X_i[q]|)^{\frac{1}{Q}}}{\frac{1}{Q} \sum_{q=1}^Q |X_i[q]|} \quad (\text{A.10})$$

onde $|X_i[q]|$ designa a magnitude da banda espectral q na janela i que possui Q bandas no total. A Medida de Nivelamento Espectral é usualmente extraída em função de bandas do espectro. Peeters propõe uma extração em 4 bandas de oitavas com início em 250Hz e fim em 4000Hz. A medida de nivelamento espectral pode ser usada para se obter o coeficiente de tonalidade ou ruidosidade:

$$\mathbf{SFM}_{\text{db}} = 10 \log_{10}(\mathbf{SFM}[n]) \quad (\text{A.11})$$

$$\mathbf{tonality} = \min\left(\frac{SFM_{db}}{-60}, 1\right) \quad (\text{A.12})$$

O coeficiente de tonalidade retorna valores próximos de 1 para sinais tonais e próximos de 0 para sinais ruidosos (Monteiro 2012, pg. 127).

- Irregularidade Espectral (Subseção 2.2.8). Este descritor calcula a diferença entre magnitudes de componentes espectrais adjacentes. Descreve-se o contorno da envoltória espectral como suave ou *endentada* (Monteiro 2012, pg. 128):

$$\mathbf{SI}[\mathbf{n}] = \frac{\sum_{k=1}^{K-1} \{|X_i[k]| - |X_i[k-1]|\}^2}{\sum_{k=1}^{K-1} |X_i[k]|^2} \quad (\text{A.13})$$

onde $|X_i[k]|$ representa a magnitude da k -ésima componente espectral da i -ésima janela, K é a metade do número de amostras da janela de análise (*FFT size*)

- Roll-Off Espectral (Subseção 2.2.9). Este descritor representa a frequência de corte, tal que 95% da energia do espectro do sinal estão contidas abaixo desta frequência. Assim, $fc = f(k)$ é a frequência de corte, tal que:

$$\sum_{k=1}^{R_i} |X_i[k]|^2 f[x] = 0.95 \sum_{k=1}^{K-1} |X_i[k]|^2 f[x] \quad (\text{A.14})$$

onde $|X_i[k]|$ representa a magnitude da k -ésima componente espectral da i -ésima janela, K é a metade do número de amostras da janela de análise (*FFT size*), $f[k]$ é a frequência centro da componente k , tal que $f[k] = \frac{\text{taxa-de-amostragem}}{2K} k$. R_i é a frequência do ponto de Roll-Off.

- Decrescimento Espectral (Subseção 2.2.14):

$$\mathbf{decrease} = \frac{\sum_{k=2}^{K-1} \frac{|X_i[k]| - |X_i[1]|}{k-1}}{\sum_{k=2}^{K-1} |X_i[k]|} \quad (\text{A.15})$$

onde $|X_i[k]|$ representa a magnitude da k -ésima componente espectral da i -ésima janela, K é a metade do número de amostras da janela de análise (*FFT size*)

- Fluxo Espectral (Subseção 2.2.5):

$$\mathbf{SF}_i = 1 - \frac{\sum_{n=1}^{N-1} |X_i[k]| |X_{i-1}[k]|}{\sqrt{\sum_{k=1}^{K-1} |X_i[k]|^2} \sqrt{\sum_{k=1}^{K-1} |X_{i-1}[k]|^2}} \quad (\text{A.16})$$

onde $|X_i[k]|$ representa a magnitude da k -ésima componente espectral da i -ésima janela, K é a metade do número de amostras da janela de análise (*FFT size*)

- Croma (Subseção 2.2.16). O Croma é caracterizado pela distribuição estatística acumulada da magnitude do espectro de Fourier por bandas fixas de frequência. Como discutido na Seção 2.2.16, o seu modelo baseia-se na configuração rotacional de *pitch class* e na posição vertical do índice do croma, à qual é apresentada numa espiral. No algoritmo de Croma, implementou-se a ponderação \log_2 para caracterizar a propriedade logarítmica da percepção de alturas musicais com o objetivo de destacar a contribuição das componentes harmônicas de cada altura musical. Ou seja, para a escala cromática de 12 notas, os componentes harmônicos são calculados pelo valor inteiro dado pelo cálculo do módulo 12 em relação à frequência fundamental. Com isso, os bins k de uma STFT, como apresentado na Eq. 2.1, são relacionados com os $P[k]$ do Croma da seguinte forma:

$$\mathbf{P}_{[k]} = \left[12 \log_2 \frac{k f_{[sr]}}{N f_{[ref]}} \right] \text{mod} 12 \quad (\text{A.17})$$

onde $f_{[sr]}$ = frequência de amostragem, $f_{[ref]}$ = frequência de referência à qual, pela convenção desse algoritmo, estabelece o valor de 440 Hz para a classe da nota Lá4. O valor 12 na Eq.A.17 está associado às notas da escala cromática. Esse valor deverá ser modificado no caso que outras subdivisões temperadas, como por exemplo: o valor 24 para quarto de tom e 36 para sexto de tom.

A partir da Eq. A.17, são calculados os valores da distribuição do Croma que são dados pela soma das magnitudes de todos os bins de frequência $P[k]$ que correspondem a cada uma das classes de alturas:

$$\mathbf{Croma}_{[j]} = \sum_{k:P(k)=j}^{12} |X[k]|^2 \quad (\text{A.18})$$

onde: j é o índice relacionado à resolução das classes de alturas. Para semitom $j = 0, 1, \dots, 11$, quartos de tom $j = 0, \dots, 23$ e para sexto de tom $j = 0, \dots, 35$. Vide que o somatório varia dentro dos índices determinados pela Eq. A.17.

- Razão entre Componentes Pares e Ímpares (Subseção 2.2.10). A definição formal deste descritor foi baseado no trabalho de Pires (Pires 2011, pg. 133). Para ajudar a entender a Equação A.19, E indica o conjunto de todas as componentes do espectro, $f(i)$ indica a $i^{\text{ésima}}$ frequência e $a(i)$ indica a $i^{\text{ésima}}$ amplitude.

$$\mathbf{OER} = \frac{\sum_{h=1,2,3,\dots}^{H-1} a(h)}{\sum_{h=2,4,6,\dots}^H a(h)} \quad (\text{A.19})$$

onde H é o número de harmônicos do espectro do sinal.

- *Loudness* (Subseção 2.2.12). Como apresentado na Seção 2.2.12, o termo *loudness* é emprestado da psicologia para medir a magnitude da sensação auditiva. Utilizamos o trabalho de (Thiede 1999, pp.34), cuja modelização baseia-se na resposta, em frequência, do nosso sistema auditivo. A proposta apresentada por Thiede (Thiede 1999, pp.81) é definida na Eq. A.20:

$$\mathbf{W}_{[k]} = -0,6 \cdot 3,64 \cdot f[k]^{-0.8} + 6,5 \cdot e^{-0,6(f[k]-3,3)^2} - 10^{-3} f[k]^4 \quad (\text{A.20})$$

Segundo Pereira (Pereira 2009, pp.19-20), $W(k)$ é uma função de ponderação a qual atenua ou enfatiza as componentes espectrais, de acordo com o comportamento auditivo. A frequência $f(k)$ é medida em Hz, dada por $f(k) = k * d$. A variável d é a diferença entre duas linhas espectrais consecutivas, em Hz. Dessa forma, o *Loudness* de um quadro de análise espectral é dado pela Eq. A.21, a seguir:

$$\mathbf{L}_{[i]} = \sum_{k=1}^{K-1} \|X_i[k]\|^2 10^{w(k)/20} \quad (\text{A.21})$$

Onde $|X_i[k]|$ representa a magnitude da $k^{\text{ésima}}$ componente espectral da $i^{\text{ésima}}$ janela; K é a metade de número de amostras da janela de análise.

Apêndice **B**

Apêndice B: Ambiente Computacional de Orquestração Assistida por Computador - *Sound Shizuku Composition - SSC*

No cd anexo disponibilizamos a *patch*, em ambiente Pure Data, do nosso sistema de orquestração assistida por computador denominado *Sound Shizuku Composition - SSC*. A *patch* principal do ambiente denomina-se *SSC.pd*.

Apêndice C: Gravação das Obras Musicais

No cd anexo apresentamos os registros sonoros das obras musicais compostas durante o período de doutoramento. Todas os registros estão em formato *.mp3*. A seguir, listamos as obras musicais que estão no cd anexo:

- *Lana Tai - no dia em que nasceu uma aquarela*
- *O azeite, a lua e o rio - numa ilha rodeada de ouro, com água até o joelho*
- *Labori Ruinae*
- *Prologue*
- *ExSamples*
- *Jade God In*
- *Shapiro Peer XI*
- *Sida Rika Orao*
- *FFT - Fast Flute Transform*
- *Fireman Dither*
- *Factorial Ann*

Incluimos ainda as Misturas Sonoras das três obras analisadas no Capítulo 4, das quais estruturam o planejamento de sonoridades orquestradas pelo nosso ambiente *SSC*. Na obra *Lana Tai - no dia em que nasceu uma aquarela* utilizamos 15 Misturas Sonoras. Em *O azeite, a lua e o rio* utilizamos 11 sonoridades. Por fim, em *Labori Ruinae* apresentamos 09 Misturas Sonoras que estruturam o planejamento composicional da obra.

Apêndice D

Apêndice D: Misturas Sonoras das obras *Lana Tai - no dia em que nasceu uma aquarela;* *O azeite, a lua e o rio* e *Labori Ruinae*

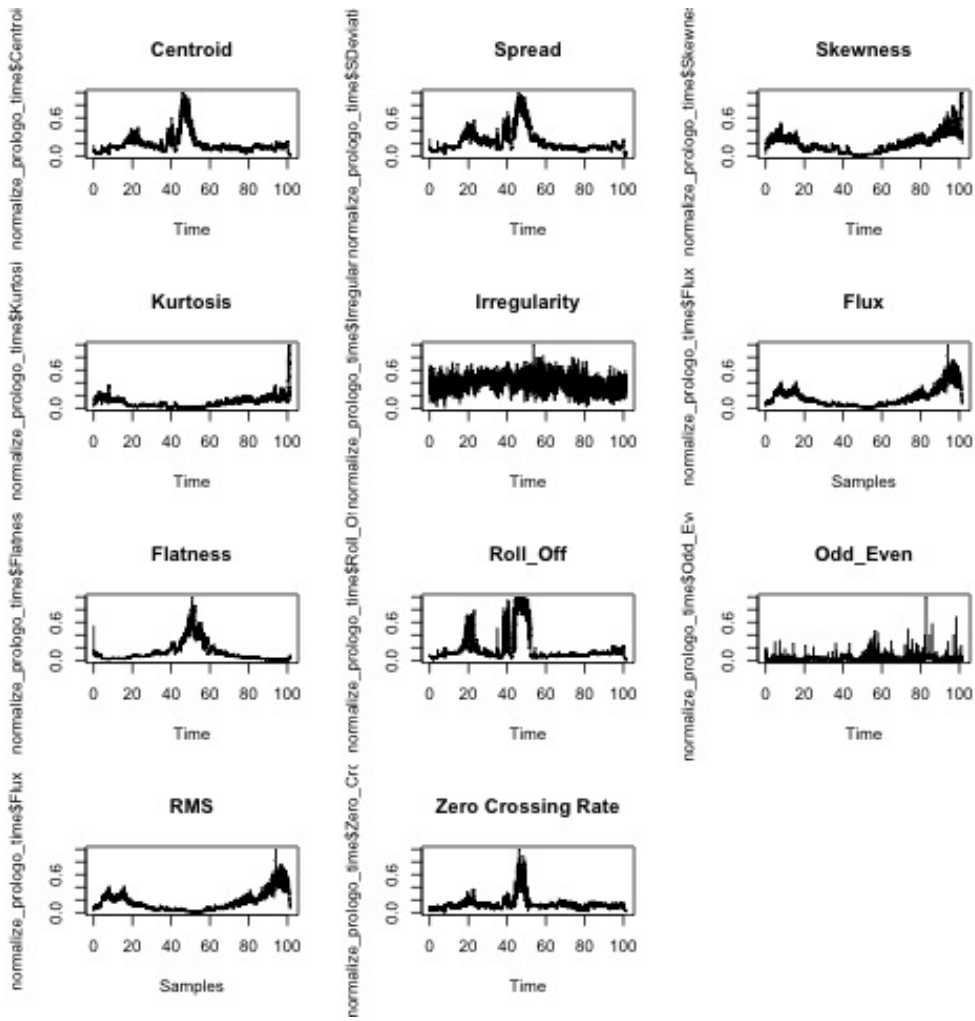
No cd anexo apresentamos as Misturas Sonoras das três obras analisadas no Capítulo 4, das quais estruturamos o planejamento de sonoridades orquestradas pelo nosso sistema de orquestração *Sound Shizuku Composition -SSC*.

Na obra *Lana Tai - no dia em que nasceu uma aquarela* utilizamos um total de 15 Misturas Sonoras. Em *O azeite, a lua e o rio* utilizamos um total de 11 sonoridades orquestradas. Por fim, em *Labori Ruinae* apresentamos um total de 09 Misturas Sonoras que estruturamos o planejamento composicional da obra. Todas as MS estão em formato *.aiff*.

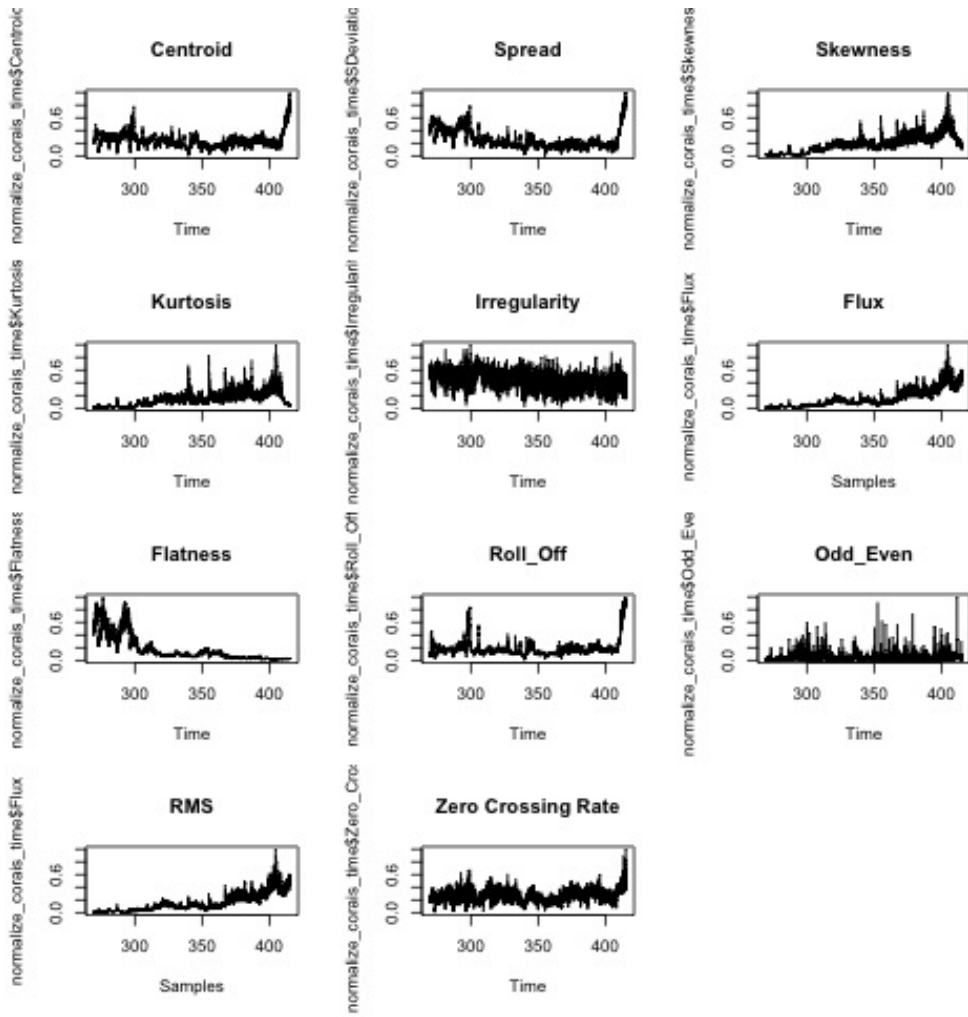
Apêndice **E**

Apêndice E: Gráficos

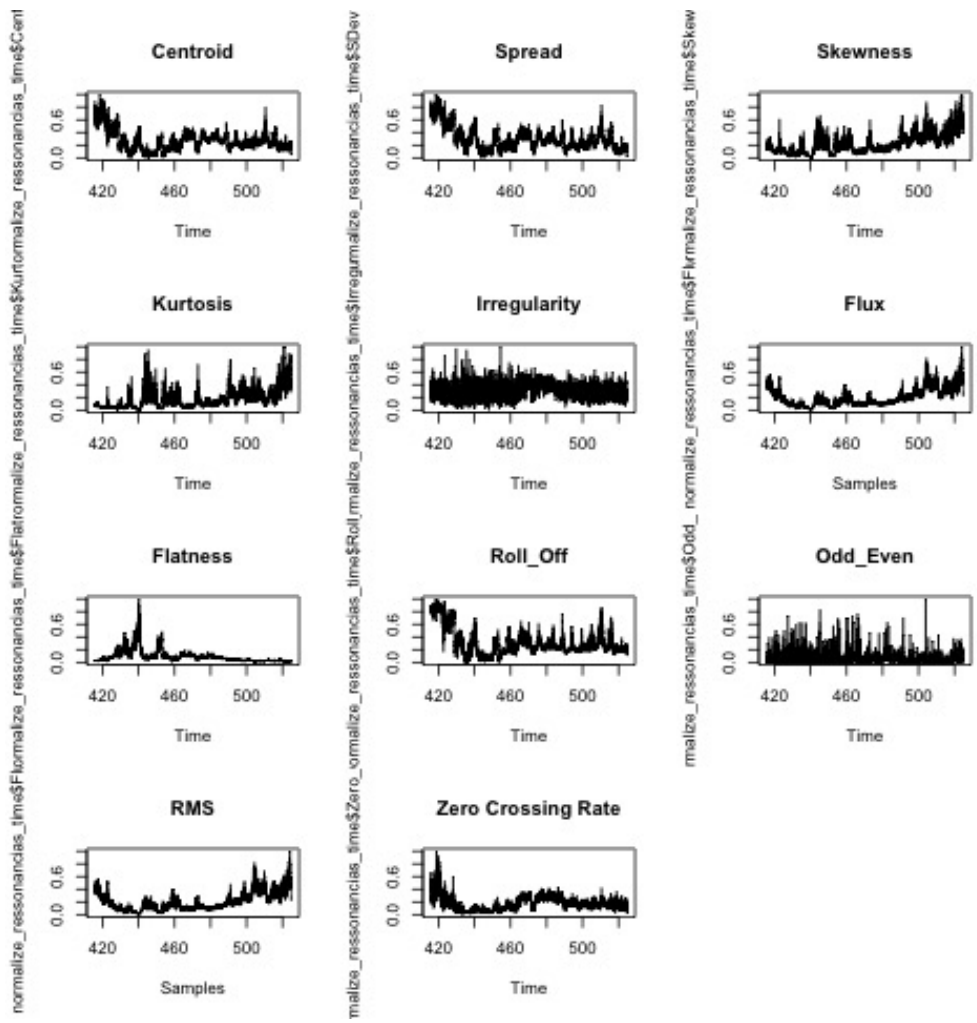
Neste Apêndice *E* rerepresentamos a Figura 3.16, Seção 3.3.2 - Capítulo 3 na qual ilustra as curvas dos dados de análise, extraídos a partir dos descritores de áudio. Ampliamos a análise de cada movimento para melhorar a resolução e visualização das curvas dos dados obtidos pelos descritores de áudio.



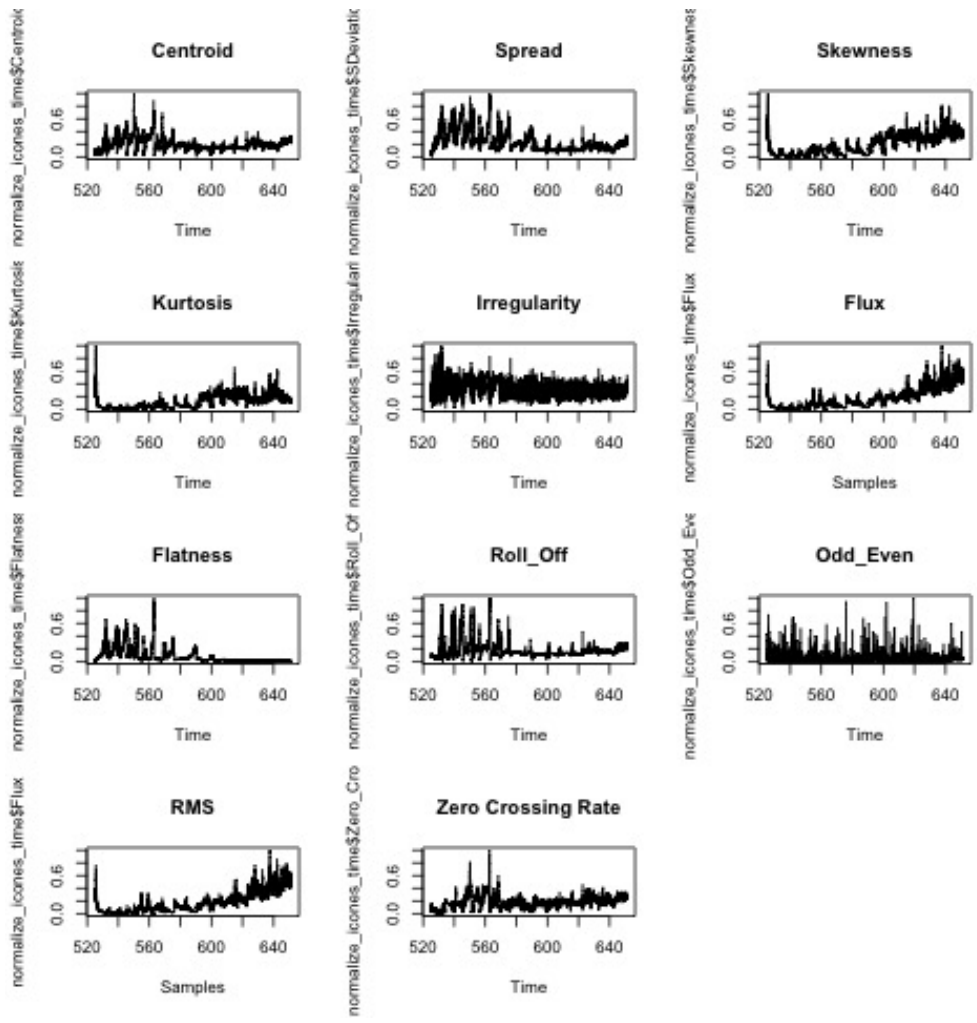
(a) 'Prólogo'



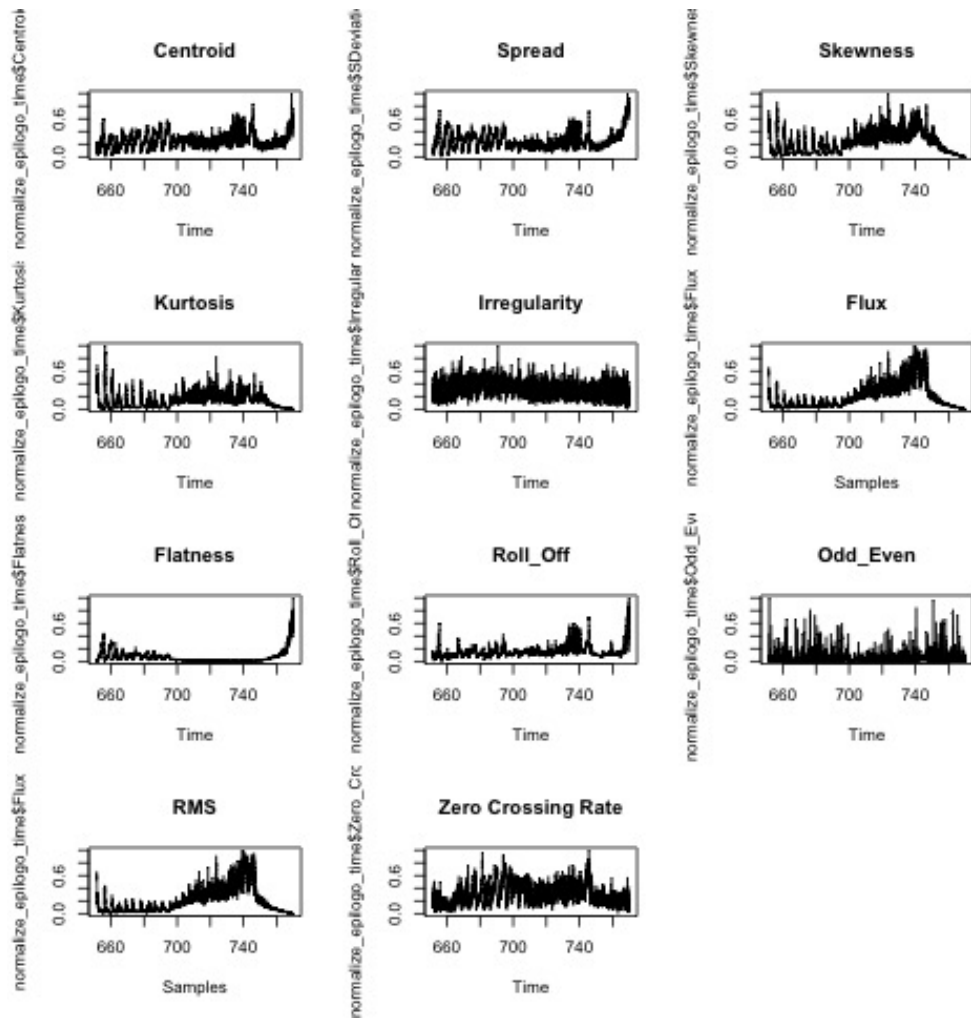
(c) 'Corais'



(d) 'Ressonâncias'



(e) 'Ícones'



(f) 'Epílogo'

Ex. E.1: Extração das características, via descritores de áudio, dos seis movimentos de *Reflexões*.

Apêndice **F**

Apêndice F: Todas as Figuras utilizadas no corpo da Tese

No cd anexo compilamos e compactamos todas as Figuras utilizadas no corpo da Tese de Doutorado. O arquivo denomina-se *figuras*

Apêndice **G**

Apêndice G: Partituras das Obras Musicais

No cd anexo, apresentamos as partituras, em versão integral, das obras compostas no decorrer da pesquisa de doutoramento. A seguir, listamos as obras em perspectiva:

- *Lana Tai - no dia em que nasceu uma aquarela*
- *O azeite, a lua e o rio - numa ilha rodeada de ouro, com água até o joelho*
- *Labori Ruinae*
- *Prologue*
- *Aida Reina Jolia Su*
- *ExSamples*
- *Jade God In*
- *Samurai Lunar*
- *Shapiro Peer XI*
- *Sida Rika Orao*
- *FFT - Fast Flute Transform*
- *Fireman Dither*
- *Factorial Ann*