



**RUI LUÍS
NOGUEIRA PENHA**

**MODELOS DE ESPACIALIZAÇÃO:
INTEGRAÇÃO NO PENSAMENTO COMPOSICIONAL**



**RUI LUÍS
NOGUEIRA PENHA**

**MODELOS DE ESPACIALIZAÇÃO:
INTEGRAÇÃO NO PENSAMENTO COMPOSICIONAL**

Tese apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Doutor em Música, realizada sob a orientação científica do Doutor João Pedro Paiva de Oliveira, Professor Titular da Universidade Federal de Minas Gerais — Brasil.

Apoio financeiro do POCTI no âmbito
do III Quadro Comunitário de Apoio.

Apoio financeiro da FCT e do FSE no
âmbito do III Quadro Comunitário de
Apoio.

Para os meus companheiros de aventuras: a Rita, o Gaspar e o Tito.

o júri

presidente

Doutor Artur Manuel Soares da Silva
Professor Catedrático da Universidade de Aveiro

Doutor João Pedro Paiva de Oliveira
Professor Titular da Universidade Federal de Minas Gerais — Brasil (Orientador)

Doutor António de Sousa Dias Macedo
Professor Coordenador do Instituto Superior Autónomo de Estudos Politécnicos

Doutor António Fernando Vasconcelos Cunha Castro Coelho
Professor Auxiliar da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Doutora Sara Carvalho Aires Pereira
Professora Auxiliar da Universidade de Aveiro

Doutor Carlos Fernando da Silva Marecos
Professor Adjunto Convidado da Escola Superior de Música de Lisboa

agradecimentos

Agradeço, em primeiro lugar, aos meus pais, pela paciência e confiança com que me ajudaram a construir tudo o que me trouxe até aqui. À minha família, incluindo aos que já partiram, pelo apoio e pelo exemplo a que espero saber corresponder. Aos Bessa Mendes, pela forma como me acolheram e me fizeram sentir parte integrante da família. Ao Ipa, à Joana e à pequena Luzia, pela ajuda a carregar a luz ao fundo do túnel. E, acima de tudo, à Rita, ao Gaspar e ao Tito, pela promessa de um futuro feliz.

Agradeço ainda ao José Manuel Pinheiro, à Sara Carvalho, ao Paulo Maria Rodrigues e ao Carlos Guedes, pessoas que ao longo da minha vida acreditaram em mim, por vezes mais do que eu próprio, e que generosamente abriram muitas das janelas por onde pude construir o meu olhar sobre o mundo.

Tenho a sorte de viver entre incríveis professores, alunos, compositores, intérpretes, artistas e, sobretudo, bons amigos. Dos mestres que me estimulam com a sua visão sobre o mundo aos alunos que me desafiam com a sua ânsia de saber, dos amigos com quem plantei as sementes do que somos aos músicos que comigo celebram o simples prazer de movimentar moléculas de ar: não os nomearei pela simples razão de que são felizmente demasiados para que seja exequível fazê-lo neste espaço. Espero ser quotidianamente capaz de lhes agradecer o que com eles aprendo todos os dias.

Ao Jesper Elén, do Visby International Centre for Composers, e ao Professor Marcelo M. Wanderley, do Input Devices and Music Interaction Laboratory da McGill University, agradeço a simpatia com que me receberam nos dois frios Janeiros de 2009 e 2010 para, respectivamente, compor uma das obras deste trabalho e trabalhar nas interfaces de espacialização.

E, por fim, agradeço ao Professor João Pedro Oliveira, compositor cuja obra me trouxe para a composição musical e mestre cuja marca identificarei sempre com orgulho no meu próprio trabalho.

palavras-chave

composição, música electroacústica, espacialização, software, interface, performance.

resumo

O presente trabalho propõe-se a conceptualizar os modelos e a criar novas ferramentas para a espacialização da música electroacústica, bem como a explorar formas de integração deste parâmetro na composição musical. É proposta uma taxonomia da espacialização na música electroacústica, com base no levantamento de fontes realizado. O conjunto de aplicações informáticas concebido utiliza o conhecimento actual sobre a audição espacial, implementa duas propostas de desenvolvimento sobre as técnicas de espacialização e incorpora os modelos de espacialização conceptualizados. Por fim, as obras musicais compostas propõem e exploram formas para a utilização da espacialização enquanto elemento gerador do material musical na composição de música electroacústica.

keywords

composition, electroacoustic music, spatialization, software, interface, performance.

abstract

This work proposes a conceptualization of the models and the creation of new tools for sound spatialization in electroacoustic music, as well as ways to explore the integration of this parameter in musical composition. A taxonomy of spatialization in electroacoustic music is proposed, based on the sources that have been assessed. The developed suite of software applications uses the current knowledge on spatial hearing, implements the proposed developments on sound spatialization techniques and incorporates the conceptualized spatialization models. Finally, the composed musical works propose and explore ways to integrate spatialization as the generative element of the musical material in electroacoustic music composition.

Índice

Índice	i
Índice de Figuras	v
Índice de Tabelas	xiii
Lista de Acrónimos	xv
1. Introdução	1
1.1 Introdução	1
1.2 Problemas e Método	3
1.3 Estrutura do Texto e Notas à Leitura.....	6
Parte I	
2. Música no Espaço	11
2.1 Introdução	11
2.1.1 A Definição de Gesto Musical e de Gesto Espacial.....	15
2.2 O Gesto Espacial na Difusão do Gesto Musical	17
2.2.1 A Orquestra de Altifalantes	20
2.2.2 O Espaço Enquanto Parâmetro Composicional	24
2.2.3 O Espaço Interno e o Espaço Externo da Difusão	27
2.2.4 A Espacialização de Fontes Acústicas.....	29
2.3 O Gesto Espacial na Articulação do Gesto Musical	32
2.3.1 A Programação no Processo de Composição	42
2.3.2 O Vocabulário do Movimento Espacial.....	48
2.4 A Definição do Espaço Arquitectural	51
2.4.1 A Arquitectura Aural	53
2.4.2 Dinâmica na Espacialização	56
2.5 A Ressonância no Espaço	60
2.5.1 Colunas Multidireccionais	64
2.6 Conclusão	66
2.6.1 Taxonomia da Espacialização na Música Electroacústica.....	67
3. Audição Espacial	73

3.1	Introdução	73
3.1.1	Sistema de coordenadas.....	75
3.2	Eventos e Localização	77
3.3	Localização no Plano Transverso.....	77
3.3.1	Diferença de Intensidade Interaural.....	79
3.3.2	Diferença de Tempo de Chegada e Desfasamento Interaural.....	80
3.3.3	Duplex Theory e Cone de Confusão	82
3.3.4	Percepção Monaural	83
3.4	Localização no Plano Sagital	84
3.5	Percepção da Distância	85
3.5.1	Reverberação.....	87
3.6	Percepção do Movimento.....	88
3.6.1	Efeito de Doppler	89
3.7	Cognição	89
3.7.1	Análise da Cena Auditiva	92
3.7.2	Efeito de Precedência	93
3.7.3	Efeito de Persistência da Localização.....	94
3.7.4	Momento Representacional.....	94
3.8	Conclusão	95
4.	Técnicas de Espacialização	99
4.1	Introdução	99
4.2	Estereofonia de Intensidade.....	100
4.2.1	Ambisonics	102
4.2.2	High Order Ambisonics	106
4.2.3	Codificação da Distância em Ambisonics	111
4.3	Estereofonia de Tempo	114
4.3.1	Wave Field Synthesis.....	116
4.4	Sistemas Binaurais.....	118
4.5	Panorâmica de Amplitudes	119
4.5.1	Vector Base Amplitude Panning	123
4.5.2	Distance-Based Amplitude Panning	125
4.5.3	Panorâmica de Amplitudes entre Pares Estereofônicos	127
4.6	Software para Espacialização	130
4.6.1	Ferramentas Históricas.....	132
4.6.2	Bibliotecas para Max.....	137
4.6.3	Fontes Sonoras Não Pontuais	140
4.6.4	Abordagem Estratificada	142

4.7 Conclusão	147
---------------------	-----

Parte II

5. Implementação do Software	151
5.1 Introdução	151
5.2 A Perspectiva dos Compositores.....	153
5.3 Implementação da Abordagem Estratificada.....	161
5.3.1 Arquitectura Modular	161
5.3.2 Protocolo de Comunicação	162
5.4 Biblioteca para Max	163
5.5 Motores de Espacialização	167
5.5.1 Motores de Espacialização Baseados em HOA-DE	168
5.5.2 Motor de Espacialização Baseado em APbSP.....	172
5.6 Interfaces para Espacialização	173
5.6.1 Implementação do Protocolo de Comunicação	174
5.6.2 Implementação do Retorno Visual e Modo de Interacção.....	175
5.6.3 Interfaces para Espacialização Dinâmica	177
5.6.5 Interfaces para Espacialização Cinemática	180
5.6.6 Interfaces para Espacialização Gestual.....	183
5.7 Plugins.....	185
5.8 Conclusão	187
6. Composição	189
6.1 Sonoridades Líquidas [2007].....	189
6.2 obra com título longo* [2009].....	196
6.3 eCaro [2011].....	201
6.4 in many, many ears [2011].....	205
6.5 auditorium [2012]	208
6.6 pendulum [2012]	211
7. Conclusão	219
7.1 Sumário	219
7.2 Composição.....	221
7.3 Trabalho Futuro	224
Bibliografia	227
Bibliografia Musical	243

Apêndices

Índice do Apêndice Digital	255
Código	257
spatium·encode.....	258
spatium·decode	261
spatium·panning.....	274
Partituras	281
obra com título longo* [2009].....	282
in many, many ears [2011].....	292
auditorium [2012]	296
pendulum [2012]	298

Índice de Figuras

2.1.	Órgãos da Basílica de Mafra. Foto do Secretariado Nacional da Pastoral da Cultura.	12
2.2.	Exemplo de percurso espacial de <i>Terretektorh</i> [1965-1966], de Iannis Xenakis (Miller, 2009). .	14
2.3.	Esquema do <i>pupitre d'espace</i> (Poullin, 1999).	19
2.4.	Consola de controlo do Gmebaphone 2 (Clozier, 2001).	23
2.5.	Disposição dos altifalantes em <i>Terre</i> [1989-1991], de Annette Vande Gorne (Zelli, 2009).	24
2.6.	Disposição da orquestra de altifalantes BEAST (Harrison, 2011).	28
2.7.	Excerto da partitura de <i>Dialogue de l'ombre double</i> [1985], de Pierre Boulez.	29
2.8.	Disposição de <i>Répons</i> [1981-1984], de Pierre Boulez (Boulez & Gerzso, 1988).	30
2.9.	Espacialização de <i>Répons</i> [1981-1984], de Pierre Boulez (Boulez & Gerzso, 1988).	31
2.10.	Proporções espaciais propostas por Karlheinz Stockhausen.	34
2.11.	Excerto da partitura da <i>Kontakte</i> [1958-1960], de Karlheinz Stockhausen.	35
2.12.	Esquema da mesa de espacialização de Karlheinz Stockhausen.	35
2.13.	Esquema do Pavilhão de Osaka'70. Da partitura de <i>Spiral</i> [1968], de Karlheinz Stockhausen. .	37
2.14.	Trajectórias espaciais na capa do CD de <i>Oktophonie</i> [1990-1991], de Karlheinz Stockhausen. .	39
2.15.	Percursos espaciais na capa do CD de <i>Cosmic Pulses</i> [2006-2007], de Karlheinz Stockhausen. .	41
2.16.	Movimentos espaciais de <i>Turenas</i> [1972], de John Chowning (Zelli, 2009).	43
2.17.	Movimento espacial de <i>The Palace (Voicespace IV)</i> [1980], de Roger Reynolds (Gabel, 1985). ..	45
2.18.	Disposição dos altifalantes em <i>Archipelago</i> [1982-1983], de Roger Reynolds (Gabel, 1985).	46
2.19.	Percurso sonoro de <i>Archipelago</i> [1982-1983], de Roger Reynolds (Gabel, 1985).	46
2.20.	Esquema de endereçamento de áudio em <i>Watershed IV</i> [1995], de Roger Reynolds.	48

2.21.	Grelha com nove posições espaciais distinguíveis (Wishart, 1996).	49
2.22.	Movimentos duplos (Wishart, 1996).	50
2.23.	Movimentos com contorno de tempo (Wishart, 1996).	51
2.24.	Percursos de espacialização para o Pavilhão Philips (Valle et al., 2010).	52
2.25.	Instruções para <i>Pea Soup</i> [1974, r. 2002-2011], de Nicolas Collins.	54
2.26.	Percurso sonoro de <i>Soundcube</i> [1969], de Bernhard Leitner (2008).	57
2.27.	<i>Grosse Raum-Wiege</i> [1980], de Bernhard Leitner (1998).	58
2.28.	Envoltentes de áudio de <i>Pendel-Liege II</i> [1995], de Bernhard Leitner (1998).	58
2.29.	Performance de <i>Speaker Swinging</i> [1982], de Gordan Monahan. Foto de Dwight Siegner.	59
2.30.	Instruções para <i>Rainforest IV</i> [1973], de David Tudor.	61
2.31.	Esquema de <i>Music for Prosthetic Congas</i> [2004], de Pedro Rebelo (Walstijn & Rebelo, 2005).	62
2.32.	Estreia de <i>Shadow Quartet</i> [2007], de Pedro Rebelo. Foto de Miso Music Portugal.	63
2.33.	Réplica da coluna hemisférica desenvolvida para a SLOrk.	65
2.34.	Taxonomia da espacialização na música electroacústica.	71
3.1.	Modelo “Fonte – Meio – Receptor”, proposto por Durand Begault.	74
3.2.	Sistema de coordenadas utilizado em todo o documento.	76
3.3.	Manchas de localização no plano transverso. Adaptada de (Blauert, 1996).	78
3.4.	Diferenças interaurais na audição no plano transverso. Adaptada de (Kendall, 1995).	78
3.5.	Exemplos de difracção e sombra acústica. Adaptada de (Howard & Angus, 2009).	79
3.6.	Diferenças de intensidade interaural. Adaptada de (Blauert, 1996).	80
3.7.	Distância percorrida por um som para chegar aos dois ouvidos.	81
3.8.	Diferença de tempo interaural. Adaptada de (Howard & Angus, 2009).	81

3.9.	Cone de confusão.	82
3.10.	Rotação da cabeça para resolver ambiguidades.	82
3.11.	Resposta de frequência para fontes sonoras no plano sagital. Adaptada de (Duda, 2000).	83
3.12.	Manchas de localização no plano sagital. Adaptada de (Blauert, 1996).	84
3.13.	Variação da localização de ruído com largura de banda estreita (Blauert, 1996).	85
3.14.	Percepção da distância da fala. Adaptada de (Blauert, 1996).	86
3.15.	Atenuação por absorção atmosférica (Savioja, Huopaniemi, Lokki, & Väinänen, 1999).	87
3.16.	Tempo de chegada da frente sonora directa e da reflexão provocada por uma parede.	88
3.17.	Efeito de Doppler para uma fonte sonora em movimento.	89
3.18.	Gesto musical de John Chowning para a obra <i>Phoné</i> [1980-81].	91
3.19.	Proposta de revisão do modelo “Fonte – Meio – Receptor”.	97
4.1.	Exemplo de diferença de fase interaural numa estereofonia de intensidade.	101
4.2.	Gravação com a técnica Mid-Side.	102
4.3.	Representação do <i>Ambisonics B-format</i>	103
4.4.	Resposta de três descodificadores <i>Ambisonics</i> (Daniel, 2001).	106
4.5.	Harmónicas esféricas correspondentes ao HOA de 3ª ordem. Imagem de Franz Zotter.	107
4.6.	Resposta de três descodificadores HOA (Daniel, 2001).	110
4.7.	Resposta de frequência dos filtros NFC-HOA (Daniel & Moreau, 2004).	112
4.8.	Codificação da distância num campo sonoro <i>Ambisonics</i>	113
4.9.	Proposta das cortinas de microfones e de altifalantes de Steinberg & Snow.	114
4.10.	Estereofonia de três canais implementada por Steinberg & Snow.	115
4.11.	Reprodução de diferentes fontes por um sistema de WFS (Baalman, 2010).	116

4.12.	Aliasing espacial num sistema WFS (Witteck, 2003).	117
4.13.	Instalação <i>A World Beyond the Loudspeaker</i> [1998], de Edwin van der Heide. Fotos do autor. ..	117
4.14.	Comparação entre panorâmicas de amplitudes.	120
4.15.	Comparação da percepção de panorâmicas de amplitudes.	121
4.16.	Ângulos de colocação dos altifalantes num sistema ITU 5.1 (ITU, 2012).	122
4.17.	Panorâmica tridimensional utilizando VBAP (Pulkki, 1999).	123
4.18.	Interface da versão para 8 canais do software para espacialização rp.Spat.	125
4.19.	Exemplos de APbSP.	129
4.20.	Principais elementos do actual paradigma das interfaces para espacialização.	131
4.21.	Curvas de automatização de um movimento acelerado, em coordenadas cartesianas.	132
4.22.	Modelo de espacialização proposto por John Chowning (2011).	134
4.23.	Modelo de espacialização proposto por Moore (1983).	135
4.24.	Interface da aplicação autónoma da versão 4 do IRCAM Spat.	136
4.25.	Comparação entre os objectos spatium e o objecto VBAP.	140
4.26.	Interface para a panorâmica em função da frequência (Torchia & Lippe, 2004).	141
4.27.	Interface de espacialização Holo-Edit.	143
4.28.	Interface da ferramenta de espacialização Zirkonium.	144
4.29.	Exemplo de funcionamento do sistema ViMiC (Peters, 2012).	145
4.30.	<i>Plugin</i> VST para controlo do ViMiC (Braasch et al., 2008).	145
4.31.	Interface da ferramenta de espacialização SSR.	146
4.32.	Interface do sequenciador de eventos IanniX.	147
5.1.	Resultados do inquérito a compositores realizado por (Peters et al., 2011b).	154

5.2.	Resultados do inquérito a compositores realizado por (Peters et al., 2011b).	155
5.3.	Camadas da abordagem estratificada do SpatDIF (Peters et al., 2012b).	156
5.4.	Terminologia do protocolo SpatDIF (Peters et al., 2012b).	157
5.5.	Fluxo de sinal entre os diferentes módulos do spatium.	162
5.6.	Exemplo de utilização do objecto spatium-encode.	164
5.7.	Exemplo de utilização do objecto spatium-decode.	165
5.8.	Exemplo de utilização do objecto spatium-rotate.	166
5.9.	Exemplo de utilização do objecto spatium-panning.	167
5.10.	Interface do motor de espacialização spatium-ambi.	168
5.11.	Interface para espacialização granular no motor de espacialização spatium-ambi.	169
5.12.	Interface para espacialização espectral no motor de espacialização spatium-ambi.	170
5.13.	Interface para manipulação dos parâmetros de descodificação HOA-DE.	170
5.14.	Interface para manipulação da reverberação nos motores de espacialização HOA-DE.	171
5.15.	Interface do motor de espacialização spatium-player.	172
5.16.	Interface do motor de espacialização spatium-diffusion.	172
5.17.	Interface do motor de espacialização spatium-panning.	173
5.18.	Configuração do envio de OSC ou MIDI pelas interfaces de espacialização.	174
5.19.	Interface de espacialização dinâmica spatium-pendulum.	176
5.20.	Interface de espacialização dinâmica spatium-springs 2D.	177
5.21.	Interface de espacialização gestual spatium-trackpad.	177
5.22.	Interface de espacialização dinâmica spatium-pendulum 2D.	178
5.23.	Interface de espacialização dinâmica spatium-pendulum.	178

5.24.	Interface de espacialização dinâmica spatium-gravity balls 2D.	179
5.25.	Interface de espacialização dinâmica spatium-flocking.	180
5.26.	Conversão das mensagens do Iannix para o protocolo do spatium.	181
5.27.	Exemplo de espacialização cinemática utilizando o Iannix como interface.	181
5.28.	Interface de espacialização cinemática spatium-polygonal chain.	182
5.29.	Interface de espacialização cinemática spatium-rotation.	183
5.30.	Interface de espacialização gestual spatium-linear rotation.	184
5.31.	Duas interfaces da aplicação Control: MultiTouchXY e Gyro + Accelerometer.	184
5.32.	Interface de espacialização gestual spatium-control OSC.	185
5.33.	Interface do plugin spatium-track.	186
5.34.	Interface do plugin spatium-live.	186
5.35.	Interface do plugin OSCsend.	187
6.1.	Escultura base da instalação <i>Sonoridades Líquidas</i> [2007].	190
6.2.	Disposição de 16 esculturas no Foyer Nascente da Casa da Música.	190
6.3.	Análise espectral da resposta acústica do Foyer Nascente da Casa da Música.	192
6.4.	Progressão harmónica bidireccional de <i>Sonoridades Líquidas</i> [2007].	193
6.5.	Circuito baseado em Arduino de <i>Sonoridades Líquidas</i> [2007].	193
6.6.	Colocação dos altifalantes em <i>Sonoridades Líquidas</i> [2007].	195
6.7.	Disposição dos instrumentos em <i>obra com título longo*</i> [2009].	197
6.8.	Camadas métricas em <i>obra com título longo*</i> [2009].	198
6.9.	Progressão harmónica de <i>obra com título longo*</i> [2009].	200
6.10.	Camadas de tensão em <i>obra com título longo*</i> [2009].	201

6.11. Transdutor FoneStar TDO-15 sobre o tampo harmónico do piano.	202
6.12. Continuum Fingerboard sobre o piano.	203
6.13. Estrutura formal de <i>eCaro</i> [2011].	204
6.14. EBows sobre as cordas do piano.	204
6.15. Microfones binaurais Soundman OKM II Studio.	206
6.16. Disposição em palco e circuito de amplificação de <i>in many, many ears</i> [2011].	206
6.17. Notação de gesto espacial e musical, em <i>in many, many ears</i> [2011].	207
6.18. Notação de gesto espacial e musical, em <i>in many, many ears</i> [2011].	207
6.19. Performance de <i>auditorium</i> [2012].	209
6.20. Controlador sem fios de <i>auditorium</i> [2012].	210
6.21. Disposição do controlador e dos instrumentos em <i>auditorium</i> [2012].	210
6.22. Instrumentos e materiais utilizados em <i>auditorium</i> [2012].	211
6.23. Disposição dos instrumentos e dos altifalantes em <i>pendulum</i> [2012].	212
6.24. Fotograma de <i>pendulum</i> [2012].	213
6.25. Fotograma de <i>pendulum</i> [2012].	213
6.26. Fotograma de <i>pendulum</i> [2012].	214
6.27. Fotograma de <i>pendulum</i> [2012].	215
6.28. Fotograma de <i>pendulum</i> [2012].	215
6.29. Macro-harmonia de <i>pendulum</i> [2012].	216

Índice de Tabelas

4.1. Definição FuMa das equações Ambisonics e HOA.	108
4.2. Ganhos de decodificadores Ambisonics e HOA. Adaptada de (Daniel, 2001).	110

Lista de Acrónimos

ACMC	Australasian Computer Music Conference
APbSP	Amplitude Panning between Stereo Pairs
BEAST	Birmingham ElectroAcoustic Sound Theatre
BoSSA	Bowed-Sensor-Speaker-Array
CD	Compact Disc
DAW	Digital Audio Workstations
DBAP	Distance-Based Amplitude Panning
FFT	Fast Fourier Transform
FM	Frequency Modulation
FuMa	normalização proposta por Furse-Malham
GMEB	Groupe de Musique Expérimentale de Bourges
GRM	Groupe de Recherches Musicales
GRMC	Groupe de Recherche de Musique Concrète
HOA	High Order Ambisonics
HOA-DE	High Order Ambisonics with Distance Encoding
HRIR	Head-Related Impulse Responses
HRTF	Head Related Transfer Function
ICMC	International Computer Music Conference
ICST	Institute for Computer Music and Sound Technology
IMEB	Institut International de Musique Electroacoustique / Bourges
IP	Internet Protocol
IR	Impulse Response
IRCAM	Institut de Recherche et Coordination Acoustique/Musique
ITU	International Telecommunication Union

MaxN	Max-Normalisation
MDAP	Multiple-Direction Amplitude Panning
MIDI	Musical Instrument Digital Interface
N3D	Normalização a 3 Dimensões
NFC-HOA	Near-Field Compensated Higher Order Ambisonics
NHK	Nippon Hōsō Kyōkai
NIME	International Conference on New Interfaces for Musical Expression
NWDR	Nordwestdeutscher Rundfunk
ORTF	Office de Radiodiffusion-Télévision Française
OSC	Open Sound Control
PLOrk	Princeton Laptop Orchestra
SARC	Sonic Arts Research Centre
SLOrk	Stanford Laptop Orchestra
SN3D	Semi-Normalização de Schmidt a 3 Dimensões
SSR	SoundScape Renderer
TCP	Transmission Control Protocol
TRAnSiT	Toward Real-time Audio Spatialization Tools
UCSD	University of California, San Diego
UDP	User Datagram Protocol
UPIC	Unité Polyagogique Informatique de CEMAMu
VBAP	Vector Base Amplitude Panning
ViMiC	Virtual Microphone Control
VST	Virtual Studio Technology
WDR	Westdeutscher Rundfunk
WFS	Wave Field Synthesis
XML	eXtensible Markup Language
ZKM	Zentrum für Kunst und Medientechnologie

1. Introdução

When new instruments will allow me to write music as I conceive it, the movement of sound-masses, of shifting planes, will be clearly perceived in my work, taking the place of the linear counterpoint. When these sound-masses collide, the phenomena of penetration or repulsion will seem to occur. Certain transmutations taking place on certain planes will seem to be projected onto other planes, moving at different speeds and at different angles. There will no longer be the old conception of melody or interplay of melodies. The entire work will be a melodic totality. The entire work will flow as a river flows.

Edgard Varèse ¹

1.1 Introdução

A interação entre fontes sonoras e um dado espaço acústico é inevitável em todas as performances musicais e a história da música cedo nos relata exemplos de utilização intencional da *mise-en-scène* espacial do som. É, contudo, na música electroacústica que esta componente se emancipa, tornando-se objecto de primordial atenção desde as experiências seminais e factor determinante na concepção dos seus meios e espaços de difusão. Se a visão humana, mesmo que tridimensional, está limitada por um campo de visão, a audição é sempre feita em todas as direcções em simultâneo. De facto, “não existe audição “não espacial”” ² (Blauert, 1996). Será assim natural que, anulados os constrangimentos visuais criados pela presença física dos instrumentos acústicos, a espacialização cedo se tenha constituído na música electroacústica como um factor distintivo e não raras vezes determinante no impacto desta junto dos ouvintes em iniciação neste domínio central da composição musical contemporânea.

¹ (Varèse & Wen-chung, 1966, p. 11)

² “There is no “nonspatial hearing””, no original (Blauert, 1996, p. 3).

O controlo intencional da espacialização, contudo, nem sempre integra o grupo de elementos geradores do pensamento composicional. Na prática da difusão da música acusmática, a espacialização é introduzida como o principal elemento de interpretação da obra, o que acontece depois de terminado o processo de composição. Mesmo nos casos em que a configuração de altifalantes a utilizar na reprodução de uma peça constitui uma das primeiras escolhas do compositor, a manipulação deste parâmetro é, muitas vezes por motivos técnicos, deixada para uma fase posterior à da definição do material musical, altura em que é iniciado um processo iterativo de audição e refinamento da espacialização. Na perspectiva do ouvinte, contudo, a percepção dos vários parâmetros é feita em simultâneo, pelo que a inclusão da espacialização na fase inicial do processo da composição poderá beneficiar a percepção da sua articulação com os restantes parâmetros. Esta emancipação é análoga à que o parâmetro timbre descreveu ao longo da história da música Europeia: primeiro utilizado como veículo para a reprodução de outros parâmetros musicais — e.g., melodia, ritmo, contraponto —, depois como forma de evidenciar e ornamentar o pensamento musical — e.g., a alternância entre naipes orquestrais na exposição e desenvolvimento de motivos — e só mais tarde enquanto elemento gerador do material musical, completando a sua plena integração no pensamento composicional, antecipada por Arnold Schönberg ³ e identificável na obra de compositores como, e.g., Edgard Varèse, Gérard Grisey ou Helmut Lachenmann. O paralelo pode ainda ser estabelecido com a evolução no controlo sobre outros parâmetros como, e.g., a dinâmica. De facto, “a mudança drástica na importância de uma determinada característica musical não é incomum na música Ocidental” ⁴ (R. Reynolds, 1978).

A designação *música electroacústica* refere-se à música que utiliza meios electroacústicos como, e.g., transdutores, aplicando-se assim a toda a música electrónica, acusmática, mista e mesmo à música exclusivamente acústica sempre que esta é amplificada. Em todos estes casos, o modo de interacção do som com o espaço faz-se através de altifalantes, pelo que estes ocupam um lugar central na espacialização, mesmo quando são utilizados como janelas para espaços sonoros que os extravasam. No contexto deste trabalho, a expressão *música electroacústica* será utilizada para designar a música na qual os elementos electroacústicos — i.e., os altifalantes e os microfones — ultrapassam a condição de elementos necessários à captação e difusão e se estabelecem enquanto elementos de particular relevância no pensamento composicional. O presente trabalho pretende então contribuir para a emancipação do parâmetro espacialização, através da conceptualização dos seus modelos, da criação de ferramentas para a exploração experimental destes modelos e da composição de estudos de caso sobre a sua integração no processo de composição da música electroacústica enquanto elemento gerador do material musical.

³ Na conclusão da sua *Harmonielehre* (Schönberg, 1983), originalmente publicada em 1922, na qual relaciona a antevisão de uma emancipação do timbre enquanto parâmetro musical com a capacidade de o analisar, descrever e catalogar.

⁴ “*Drastic change in the importance of a particular musical characteristic has not been uncommon in Western Music.*”, no original (R. Reynolds, 1978, p. 181).

1.2 Problemas e Método

A principal pergunta a que este trabalho pretende responder é:

Como pode a espacialização do som na música electroacústica ser utilizada enquanto elemento gerador do pensamento composicional?

Hipóteses para a resposta a esta pergunta serão exploradas e materializadas na concepção de peças musicais que resultam de processos de composição nos quais a espacialização com meios electroacústicos tem um papel primordial. Esta exploração depende, contudo, da resposta a questões que lhe são anteriores:

Quais as diferentes perspectivas sobre a espacialização na música electroacústica e quais as suas implicações na composição musical?

O termo espacialização é utilizado de forma muito lata para designar diversos vocabulários e técnicas e, se excluirmos os termos difusão e projecção ⁵, não existe uma classificação clara e utilizada de forma continuada e consistente para distinguir as diferentes abordagens à espacialização na música electroacústica. O próprio termo espacialização pode referir-se quer à colocação em movimento de fontes sonoras virtuais no espaço, quer à articulação entre fontes sonoras reais dispostas no espaço, quer ainda à interacção, identificada como significante, entre fontes sonoras reais e um dado espaço acústico.

É possível identificar, nas experiências seminais sobre espacialização musical, a aplicação à espacialização de ideias que advêm do pensamento e prática sobre outros parâmetros musicais: a articulação, o contraponto e a segregação de vozes da escrita polifónica traduzidos na articulação, no contraponto e na segregação de posições no espaço; a morfologia no espaço espectral traduzida em morfologia no espaço físico; a serialização da posição e do movimento no espaço em paralelo com a serialização dos restantes parâmetros musicais; a aproximação à acústica dos espaços pela via da sua exploração tímbrica. Disciplinas com maior tradição no estudo do espaço e do movimento — como a arquitectura, a geometria ou a física — informam naturalmente algumas abordagens iniciais e a sua terminologia.

De facto, existem muitas propostas de terminologia associada ao espaço na música electroacústica, com predominância na classificação de espaços e na catalogação de morfologias espaciais, coligadas através de conceptualizações com diferentes níveis de idiosincrasia. Esta saturação semântica é, por um lado, o reflexo na espacialização da diversidade que caracteriza a composição musical da segunda metade do século XX. Por outro lado, pode também ser uma consequência da inexistência de uma taxonomia de alto nível que possibilite um agrupamento mais claro das diferentes perspectivas sobre a espacialização na música

⁵ Ambos referentes à interpretação ao vivo de música electroacústica pela sua colocação no espaço, como será analisado no subcapítulo 2.2.1.

electroacústica e das implicações destas nos modos de aproximação ao espaço acústico e na construção dos vocabulários da espacialização.

O levantamento das fontes e a análise qualitativa das diferentes perspectivas sobre este tema informarão a proposta de uma taxonomia da espacialização na música electroacústica. A conceptualização das abordagens composicionais à espacialização é então um passo fundamental para a compreensão dos diferentes modos de articulação com os restantes parâmetros musicais, tendo em vista a sua emancipação no processo de composição. Será, por fim, composta uma obra musical sobre cada uma das abordagens composicionais à espacialização identificadas na taxonomia proposta.

Como podem as técnicas de espacialização da música electroacústica contribuir para a sua emancipação enquanto parâmetro musical?

O movimento no espaço do som difundido por altifalantes implica a utilização de recursos tecnológicos que não estão estandardizados, se excluirmos os ubíquos sistemas estéreo, o que obriga a que a escolha da configuração de altifalantes a utilizar seja muitas vezes feita no período inicial da composição, sujeitando-a ao sistema disponível no estúdio de trabalho, na previsível sala de concertos de estreia ou numa solução de compromisso entre ambos. Esta decisão preliminar faz com que se torne intrínseco a cada obra o equilíbrio entre a sua definição espacial — melhor quanto maior o número de altifalantes — e a sua facilidade de circulação — de um modo geral, maior quanto mais simples ou padronizados forem os recursos necessários à sua reprodução.

A espacialização com sistemas de elevada resolução espacial exige ainda recursos técnicos que nem sempre estão ao alcance dos compositores por períodos de tempo adequados para uma efectiva experimentação, tanto antes como durante o processo de composição. Este problema é particularmente premente no caso dos estudantes de composição ou dos compositores que trabalham fora do circuito dos principais centros de investigação. Caso estes recursos não sejam compatíveis com as ferramentas habituais dos compositores, a sua integração implica ainda uma mudança de ferramentas que pode ser disruptiva do seu processo de trabalho, obrigar à segmentação deste ou tornar a concretização das ideias musicais dependente do apoio de um elemento técnico externo ao processo de composição ⁶. Todos estes factores contribuem para a comparativa dificuldade de integração da espacialização no processo de composição face a outros parâmetros da composição como, e.g., o timbre ou o ritmo. Por fim, a disseminação das obras com

⁶ Este apoio dos compositores em especialistas técnicos foi um método muito utilizado nos primórdios da música electroacústica e, mais tarde, na primeira vaga de utilização de meios informáticos, quer para o auxílio à composição, quer para a composição de obras com meios electroacústicos. Processo defendido por Pierre Boulez (1986), tornou-se central ao trabalho desenvolvido no IRCAM, centro que funda em Paris na década de 1970. Foi neste ambiente transdisciplinar que foram criadas algumas das mais importantes ferramentas da música electroacústica, como o *software* Max, utilizado no desenvolvimento das ferramentas que integram este trabalho. No entanto, a dependência no apoio técnico de um especialista em computação musical ou electrónica pode ser um entrave adicional à experimentação durante o processo de composição, sobretudo no caso dos compositores que trabalham longe dos principais centros de produção.

espacialização fica praticamente circunscrita à sua apresentação em concerto, sendo a sua distribuição em maior escala comumente feita através de uma redução a dois canais. A perda de resolução espacial destas versões estereofónicas limita o alcance da divulgação do vocabulário da espacialização, de particular importância para o ensino da composição. A criação de uma ferramenta de espacialização capaz de se adaptar a diferentes espaços e meios de composição, difusão e divulgação é assim um passo importante para operacionalizar a experimentação e contribuir para a disseminação da música electroacústica com espacialização. Para conceber tal ferramenta será necessário fazer o levantamento das fontes relacionadas quer com a audição espacial, quer com as técnicas de espacialização, confrontando-as não apenas com a qualidade da sua representação do movimento de fontes sonoras virtuais, mas também com a sua adequação à integração no processo de composição.

*Como podem ser as ferramentas integradas no processo de composição
de modo a potenciar a interacção com os modelos de espacialização?*

Na composição da música electroacústica, hoje um processo que decorre maioritariamente em ambiente digital, a interacção com uma dada ferramenta é feita através da interface que lhe está associada, com a consequente propensão para o vocabulário que lhe é idiomático. A tradicional divisão entre, por um lado, as ferramentas técnicas para manipulação de áudio — implementadas de forma não idiomática, ainda que destinadas a cumprir uma função específica — e, por outro, os instrumentos musicais — profundamente idiomáticos, não obstante serem utilizáveis em abordagens musicais distintas — está presente nos recursos tecnológicos que são apresentados ao compositor de música electroacústica. As interfaces que mapeam de forma directa e exaustiva os parâmetros de controlo de uma dada técnica permitem uma manipulação minuciosa do resultado e a concretização das intenções prévias do compositor, contudo podem dificultar a descoberta exploratória de um novo meio através da manipulação expressiva dos seus parâmetros em tempo real. As interfaces idiomáticas, por seu turno, facilitam esta abordagem experimental ao novo meio, no entanto podem simultaneamente condicionar o leque de opções do compositor ou induzir a circunscrição das suas escolhas à abordagem implícita à ferramenta.

No período de grande expansão da informática musical das últimas décadas, o enfoque do desenvolvimento de ferramentas de espacialização foi colocado quer na melhoria das técnicas e algoritmos, quer na sua capacidade de processamento em tempo real. O desenvolvimento das interfaces para espacialização, contudo, não acompanhou esta rápida progressão e uma parte significativa das ferramentas de espacialização recentes mantêm interfaces que privilegiam a definição de instruções sobre uma representação visual estática em detrimento do controlo gestual e da interactividade. A criação de um sistema para a espacialização na composição de música electroacústica que incorpore diversos modelos de interacção — mais ou menos idiomáticos e exploráveis ora em diferido, ora em tempo real — permitirá acomodar tanto a concretização de intenções apriorísticas como uma abordagem exploratória à

especialização, sendo esta última particularmente consentânea com o processo de geração de material composicional. O desenvolvimento de *software* para especialização será informado na taxonomia da especialização proposta e centrado nas necessidades e nos processos de trabalho do compositor de música electroacústica. A sua concepção será simbiótica com a composição musical.

1.3 Estrutura do Texto e Notas à Leitura

Este texto está estruturado em sete capítulos, sendo o primeiro destes a presente introdução. A primeira parte apresenta o levantamento de fontes, contendo os capítulos dois a quatro. A segunda parte descreve as soluções encontradas e o trabalho prático realizado, contendo os capítulos cinco e seis. O capítulo sete encerra o documento.

O capítulo dois é centrado na resenha das abordagens à especialização na música electroacústica. Inclui a análise das perspectivas sobre a especialização subjacentes às obras de vários compositores e conclui com a proposta de uma taxonomia da especialização na música electroacústica que informa todo o trabalho seguinte. São ainda identificadas relações entre as obras históricas analisadas e as obras compostas no âmbito deste trabalho através da inclusão de breves comparações com os conceitos e soluções técnicas explorados nestas últimas.

O capítulo três apresenta uma revisão do conhecimento sobre a psicoacústica e a cognição da audição espacial, essencial para a contextualização das opções tomadas tanto no desenvolvimento das técnicas de especialização propostas como na composição das obras concebidas no âmbito deste trabalho.

O capítulo quatro apresenta o levantamento das técnicas para a especialização do som com meios electroacústicos e as suas materializações sob a forma de *software* para especialização. Inclui a descrição das duas técnicas de especialização propostas no âmbito deste trabalho — a codificação da distância em *Ambisonics* e a panorâmica de amplitudes entre pares estereofónicos —, ambas utilizadas como base para o desenvolvimento das ferramentas de especialização propostas.

O capítulo cinco inicia-se com uma análise da perspectiva dos compositores sobre o *software* de especialização. São, de seguida, analisados os vários elementos do spatium, o conjunto de aplicações, bibliotecas e *plugins* que materializam a abordagem estratificada à especialização proposta como parte integrante deste trabalho.

O capítulo seis apresenta o processo de composição das seis obras concebidas como parte integrante deste trabalho: *Sonoridades Líquidas* [2007], uma instalação interactiva; *obra com título longo** [2009], para flauta alto, clarinete em si bemol, vibrafone, piano e electrónica; *eCaro* [2011], para piano protésico; *in many, many ears* [2011], para flauta de bisel amplificada; *auditorium* [2012], para pequenos instrumentos

de percussão e electrónica em tempo real; *pendulum* [2012], para flauta, clarinete baixo, violino, violoncelo, vídeo e electrónica em tempo real.

Por fim, o capítulo sete apresenta as conclusões, as principais contribuições e o trabalho futuro. Em apêndice a este documento encontram-se o índice do apêndice digital, o código fonte da implementação das duas técnicas de espacialização propostas e as partituras de *obra com título longo**, *in many, many ears*, *auditorium* e *pendulum*. No apêndice digital que acompanha este documento encontram-se a documentação sobre as seis obras compostas — gravações e, quando aplicável, partituras e software —, o *software* desenvolvido em formato executável, o código fonte de todas as ferramentas desenvolvidas e documentação adicional sobre as mesmas.

Não obstante a referência às restantes referências bibliográficas de forma tradicional, optou-se pela utilização de um sistema diferente para as referências às obras musicais. Dado que a disseminação de uma mesma obra pode englobar múltiplos meios de reprodução, desde a partitura ao CD e incluindo as respectivas notas de programa, serão apresentadas as referências aos meios consultados para cada obra numa secção dedicada à Bibliografia Musical. As obras musicais serão assim, no decorrer do texto, identificadas apenas do seguinte modo: ‘*Nome* [ano(s) de composição], compositor’, na primeira aparição, e ‘*Nome*’, nas aparições seguintes no mesmo subcapítulo. As obras compostas no âmbito deste trabalho são identificadas sem referência ao nome do compositor: ‘*Nome* [ano de composição]’.

As referências a recursos disponíveis na internet são divididas entre as que se referem a artigos com autor conhecido e as que se referem a *sites* com informação adicional sobre instituições, entradas de dicionário, produtos e *software*, tanto gratuito como comercial. No primeiro caso, as referências seguem a norma escolhida para as restantes referências bibliográficas. No segundo, a ligação é colocada como nota de rodapé junto à ocorrência, tendo todas estas ligações sido verificadas aquando da submissão deste documento.

A indicação de registo das notas musicais segue a tradição portuguesa, com $Lá_3 = 440$ Hz.

Parte I

2. Música no Espaço

Creating spaces with the vocabulary of sound introduces new forms of expression – the potential for a fundamentally new experience. It is above all the intensity, the rhythm, the speed of the moving sound and their interrelated variations that determine the shape of space.

Bernhard Leitner ¹

2.1 Introdução

Tal como o som, seu veículo, toda a música existe num espaço acústico e a influência deste é muitas vezes um factor relevante nas opções que são tomadas tanto no momento da composição como no da interpretação. O longo tempo de reverberação das grandes catedrais europeias, e.g., é comumente apontado como factor relevante na definição do canto litúrgico durante a idade média (Blessner & Salter, 2007). Mesmo quando são outros os factores que determinam a colocação das fontes sonoras no espaço, do que será exemplo o papel da limitação intrínseca ao campo visual no desenvolvimento do modelo canónico das salas de concerto, a interacção acústica entre estes elementos informa inevitavelmente as decisões tomadas pelos intérpretes na execução das obras.

Algumas experiências destacam-se pela forma intencional como exploram a encenação espacial, sobrelevando-se o canto antifonal como um exemplo seminal. Deste, o realizado com os *cori spezzati* na Basílica de São Marcos, em Veneza, durante a Renascença, é particularmente interessante pela forma exploratória como Adrian Willaert, Andrea e Giovanni Gabrieli, entre outros, abordam a arquitectura bizantina da Basílica e a disponibilidade de vários coros e órgãos (Blessner & Salter, 2007). O estilo policoral

¹ (Leitner, 2008, p. 135)

de Giovanni Gabrieli — patente, e.g., em obras como *Gloria a 12* [c. 1597], para três coros, e *In Ecclesiis* [c. 1615], para grupo de solistas, coro, dois grupos instrumentais e contínuo — é rapidamente disseminado pela Europa e inaugura técnicas de desenvolvimento por “contraste e oposição de sonoridades”, “factor fundamental do estilo *concertato* do período barroco” que se seguirá (Grout & Palisca, 1994). Já no século XVIII, Wolfgang Amadeus Mozart faz duas experiências análogas com múltiplos grupos instrumentais: a *Serenata notturna*, K. 239 [1776], para duas pequenas orquestras de cordas, e o *Notturmo für 4 Orchester*, K. 286/269a [1776], para quatro orquestras de cordas e trompas. A articulação no espaço cumpre também nestas obras uma função de alternância, eco e contraste entre secções, algo não muito distante do que acontece na articulação entre solista e orquestra nos concertos ou na alternância entre naipes orquestrais das sinfonias deste período.

Em Portugal, um caso particularmente interessante é o conjunto de seis órgãos da Basílica do Palácio Nacional de Mafra, construídos de raiz para funcionarem em conjunto e colocados em pares na capela mor, no transepto Norte e no transepto Sul. O conjunto é inaugurado em 1807, tendo vários compositores — como, e.g., João José Baldi, Frei José Marques e Silva e Marcos Portugal — escrito obras que incluem na sua instrumentação os seis órgãos dispostos no espaço da Basílica (Câmara, 2010).

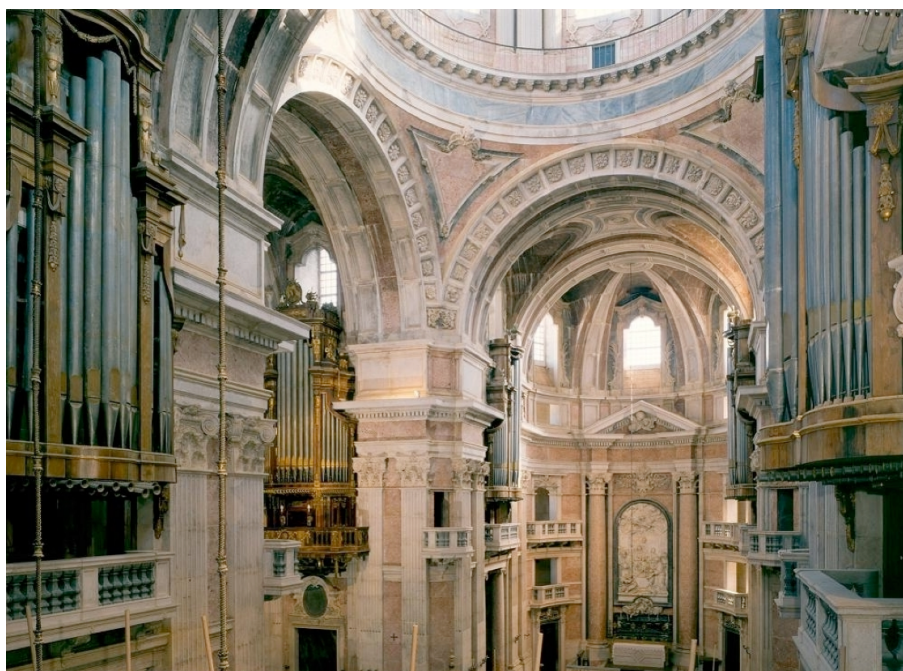


Figura 2.1. Órgãos da Basílica do Palácio Nacional de Mafra, vistos do transepto Norte. Foto do Secretariado Nacional da Pastoral da Cultura.

Quando Ludwig van Beethoven inclui um trompete fora do palco nas aberturas para *Fidelio* Op. 72 [1804–1805, r. 1806-1814] — conhecidas como *Leonore Ouverture* —, no entanto, a intenção é claramente dramática, num efeito que nos remete para o cerimonial chamamento do trompete. O mesmo

acontece na *Grande Messe des morts*, ou *Requiem*, Op. 5 [1837], na qual Hector Berlioz utiliza quatro grupos de metais colocados nos quatro cantos do palco, designados na partitura como Norte, Este, Oeste e Sul, utilizando um referencial espacial absoluto algo inusitado pelo seu carácter externo à perspectiva tanto dos intérpretes como dos ouvintes. Porventura por influência de Berlioz, também Giuseppe Verdi e Gustav Mahler utilizam grupos de metais colocados fora do palco: o primeiro na *Messa da Requiem* [1874] e o segundo na *Auferstehungssinfonie* [1888-1894, revista em 1903]. Embora Mahler recorra posteriormente à colocação de elementos fora do palco com alguma regularidade (Licht, 2007), estas experiências são exemplos isolados de utilização de técnicas de composição espacial que só se virão a afirmar depois da Segunda Guerra Mundial (Roads, 1996).

No início do século XX, Charles Ives utiliza um grupo de cordas fora do palco em articulação com o trompete solista, em *The Unanswered Question* [1908]. Não obstante o facto de utilizar a espacialização sobretudo para efeitos dramáticos, esta obra é identificada por Henry Brant como influência determinante no seu interesse pelo desenvolvimento de técnicas de composição espacial. Brant, a partir de *Antiphony I* [1953], para cinco orquestras dispostas no espaço, compõe maioritariamente obras que exploram a questão espacial, sendo responsável pela criação de um apreciável conjunto de técnicas de espacialização na música orquestral. Logo em 1955 escreve um artigo, *The Uses of Antiphonal Distribution and Polyphony of Tempi in Composing*, cujos princípios são parafraseados por Maria Anna Harley em *An American in Space: Henry Brant's "Spatial Music"*:

1. *Spatial separation clarifies the texture — if the music consists of several layers, “each with its own distinctive sonority scheme, over the same octave range,” the presence of casually occurring unisons should be avoided by distributing the performers into widely separated positions in the hall;*
2. *Separated groups are difficult to coordinate — exact rhythmic simultaneities are almost impossible because of the distances between the musicians;*
3. *Spatial separation is equivalent to the separation of textures in pitch space (if performers are together on stage) — separation allows for the differentiation of musical strands, “with no collision or crossing of textures,” and it permits a greater complexity in the music;*
4. *Spatial arrangements must be planned exactly, but allow adjustments of details — there is no single, optimum position for the listeners or the performers in the hall; each situation is different. (M. A. Harley, 1997, pp. 73-74)*

Estes princípios reúnem assim uma perspectiva antifonal — utilizada sobretudo como forma de facilitar a segregação dos vários elementos e permitir uma maior complexidade musical — e um pequeno conjunto de

regras pragmáticas para a espacialização na música acústica. É fácil antever o contraste entre algumas destas ideias e as que na mesma época, no contexto de vanguarda musical da emergente Escola de Darmstadt, inauguram um período de consistente e continuada exploração da componente espacial na música orquestral. Karlheinz Stockhausen, destacado participante destes encontros na Alemanha do pós-guerra, cedo rejeitará a função dramática que predomina na utilização do espaço pelos compositores que o antecedem em favor de uma perspectiva serial sobre o papel do espaço na música (Stockhausen, 1958), utilizando ainda técnicas e vocabulário em desenvolvimento na música electroacústica. É Stockhausen — com *Gruppen* [1955–1957], para três orquestras, e *Carré* [1959-1960], para quatro orquestras e quatro coros — que estabelece as bases de uma prática que passará, entre outros, por Iannis Xenakis — em *Terretektorh* [1965-1966] e *Nomos Gamma* [1967-1968] — e Emmanuel Nunes — em *Tif'Ereth* [1978-1985] e *Quodlibet* [1990-1991]. *Terretektorh* é uma obra particularmente interessante pelo facto de dispor os instrumentos da orquestra no interior de um círculo onde se encontra também o público (figura 2.2) e por descrever figuras geométricas através da circulação do som pelos instrumentos, com ênfase em espirais que incluem, assim, alteração da posição angular e da distância ao centro (Santana, 1998).

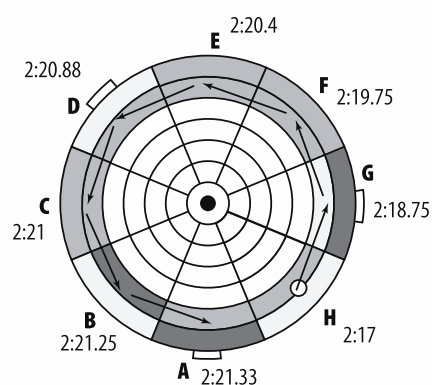


Figura 2.2. Exemplo de percurso espacial de *Terretektorh* [1965-1966], de Iannis Xenakis, entre os compassos 69 e 71. As intensidade do cinzento indica o número de instrumentos responsáveis pela execução no momento indicado (Miller, 2009).

Embora Stockhausen coloque, em *Licht* [1977-2003], músicos em movimento no espaço interior e exterior da sala de concertos como forma de espacializar os sons produzidos pelos instrumentos acústicos, este tipo de movimento espacial tem um carácter excepcional, dadas as dificuldades técnicas que acarreta. Será assim na música electroacústica que a espacialização se emancipa, aproveitando as técnicas de espacialização então em pleno desenvolvimento e tornando-se rapidamente um factor distintivo deste incontornável domínio da composição musical contemporânea. No seu período de expansão, no final da Segunda Guerra Mundial, a cisão entre as abordagens da francesa *musique concrète*² — que põe em evidência as

² Optou-se por manter os termos *musique concrète* e *elektronische Musik* nas línguas originais, pondo assim em evidência a sua origem geográfica no contexto da Europa do pós-guerra e evitando a confusão entre a *música electrónica* enquanto designação do seu método de produção e a *música electrónica* enquanto abordagem estética circunscrita no espaço e no tempo (i.e., a *elektronische Musik*).

potencialidades abertas pela invenção da gravação e sistematiza as formas de manipulação de gravações de fontes acústicas — e da alemã *elektronische Musik* — que procura formas de utilizar as capacidades de controlo preciso das fontes sonoras electrónicas para sintetizar novos sons — tem também um reflexo nas respectivas abordagens ao espaço e à sua utilização enquanto parâmetro musical³.

A colocação do som em movimento no espaço, quer durante a composição, quer na difusão da música electroacústica, pode ser feita de forma a veicular uma intencionalidade inteligível, formando um gesto espacial. Esta intencionalidade espacial pode ainda complementar uma intencionalidade musical pré-existente ou, pelo contrário, divergir desta última ao ponto de se tornar disruptiva. A relação entre o gesto musical, veículo tradicional das intenções do compositor, e o gesto espacial com que este é veiculado no espaço torna-se assim particularmente relevante na análise das diferentes perspectivas sobre a espacialização na música electroacústica.

2.1.1 A Definição de Gesto Musical e de Gesto Espacial

A definição do conceito de gesto musical é uma tarefa singularmente difícil, não obstante a recorrente utilização da expressão, e.g., na apreciação das intenções musicais de um dado compositor ou intérprete. As definições da palavra gesto — do latim *gestus*⁴, participio perfeito de *gerō*: transportar, suportar ou usar (no sentido de carregar ou vestir)⁵ — remetem tanto para a ideia de comunicação não verbal — com diferentes graus de consciência que vão, e.g., do acenar a cabeça como sinal de anuência à gesticulação involuntária que acompanha a fala — como para a ideia de uma intenção que é veiculada — como acontece, e.g., na apreciação de um gesto como sendo generoso. Parece assim central, do ponto de vista etimológico, a ideia de transporte, de veiculação através do gesto de uma expressão ou intenção.

O gesto musical pode ser analisado sob várias perspectivas, que vão da interpretação de um motivo musical através da leitura da partitura até à observação dos movimentos de um instrumentista durante a performance. Está fora do âmbito deste trabalho uma resenha sobre as análises do gesto musical, que pode ser encontrada em Gritten & King (2006), em Jensenius, Wanderley, Godøy, & Leman (2010) e, relativamente ao caso particular da música electroacústica, em Bachratá (2010). A definição de gesto utilizada neste documento parte da síntese sugerida por Gritten & King na introdução de *Music and Gesture*: “um gesto é um movimento ou alteração de estado que é identificado como significativo por um

³ Para uma perspectiva ampla sobre este período da História da Música, recomenda-se a consulta de Menezes (1996b). Esta colecção de textos inclui uma retrospectiva aprofundada sobre a cisão entre os dois movimentos e a tradução para português de vários textos basilares da música electroacústica.

⁴ <http://www.infopedia.pt/lingua-portuguesa/gesto>

⁵ <http://en.wiktionary.org/wiki/gero>

agente”⁶ (Gritten & King, 2006). A intencionalidade é assim transferida da execução para a percepção do gesto⁷, numa perspectiva que os próprios autores identificam como semiótica e que pode incluir a percepção de intenções em gestos produzidos de forma inconsciente (Hatten, 2006).

No caso particular da música puramente electrónica, e na inexistência dos movimentos de um instrumentista, uma incontornável contribuição para a definição do gesto musical é a proposta da espectromorfologia por Denis Smalley (1986; 1997). Também esta se centra na percepção e na audição do receptor, inspirando-se directamente na tipo-morfologia (Schaeffer, 1966) e na escuta reduzida (Chion, 1983), propostas por Pierre Schaeffer⁸. A espectromorfologia refere-se à evolução do conteúdo espectral de um som ao longo do tempo — como é explícito na justaposição das palavras espectro e morfologia⁹ — e propõe um léxico abrangente que é comumente utilizado na análise da música electroacústica¹⁰. A separação entre o conteúdo (espectro) e a forma (morfologia) é, segundo o próprio Denis Smalley, artificial e traduz uma necessidade conceptual para efeitos discursivos e de análise. A definição de gesto musical utilizada neste documento parte da anterior definição genérica de gesto, incorporando uma síntese da perspectiva espectromorfológica para a definição de movimento como a variação ao longo do tempo (morfologia) da amplitude em função da frequência (espectro) de um som. Assim: gesto musical é a variação ao longo do tempo da morfologia espectral de um som que é identificada como significante por um agente.

Se é inerente a esta definição o desvincular entre a intenção do compositor e a percepção do gesto musical feita pelos ouvintes¹¹, ela não fecha totalmente a porta à existência de uma relação entre a intenção criadora e a cognição dos receptores. Assume, como acontece noutros domínios do estudo da comunicação, que os factores externos à mensagem são relevantes na percepção e interpretação da informação que é veiculada. Por centrar a identificação da intencionalidade na cognição do receptor, esta definição abre lugar à análise da interferência de factores externos sobre a intenção criadora da morfologia do gesto musical. Do ponto de vista da espacialização, esta questão é particularmente importante: sendo a morfologia dependente de variações de amplitude no espaço espectral e a espacialização tradicionalmente conseguida por variações de amplitude na colocação do som no espaço físico, o gesto espacial pode ter

⁶ “Across cultural, aesthetic and terminological differences, however, most scholarship on musical gesture makes a grounding assumption, broadly semiotic in nature: a gesture is a movement or change in state that becomes marked as significant by an agent.”, no original (Gritten & King, 2006 p. xx).

⁷ O que, no caso da música, remete para um preponderância da escuta que é particularmente coerente com a visão de Pierre Schaeffer sobre os objectos sonoros e com o processo de composição da *musique concrète*.

⁸ A escuta reduzida é inerente à música acusmática, na qual o próprio Smalley se insere enquanto compositor.

⁹ No original, *spectromorpholy*, a justaposição de *spectro* e *morphology* (D. Smalley, 1986).

¹⁰ Para uma análise da tipo-morfologia de Schaeffer e da espectromorfologia de Smalley no contexto da definição do gesto musical na música electroacústica consultar Bachratá (2010, pp. 55-66).

¹¹ Uma análise desta desvinculação no caso concreto da espacialização é o modelo “Fonte – Meio – Receptor” (Begault, 1986), que será apresentado no capítulo 3.

como consequência a modelação ou articulação da morfologia do gesto musical. É assim importante definir separadamente o gesto musical e o gesto espacial, condição necessária à análise da interacção entre ambos na perspectiva da criação musical. No entanto, importa salientar que esta segregação é também ela uma necessidade conceptual, dada a simultaneidade e interdependência da chegada de ambos ao receptor.

Central ao conceito de gesto é a ideia de movimento, i.e., a alteração de uma posição no espaço em relação a um referencial e ao longo de um período tempo. Assim, e se a colocação do som no espaço sem movimento pode ser tornada significativa pela sua análise do ponto de vista conceptual ¹², a sua identificação enquanto gesto espacial implica a existência de movimento. É naturalmente na referência ao espaço físico que reside a mais comum utilização do termo movimento, o que torna escorregia a sua aplicação: gesto espacial é a variação ao longo do tempo da posição face a um referencial que é identificada como significativa por um agente.

2.2 O Gesto Espacial na Difusão do Gesto Musical

A *musique concrète* nasce pelas mãos de Pierre Schaeffer, que utiliza a expressão como designação para o trabalho que realiza a partir do final década de 1940 ¹³ nos estúdios da *Office de Radiodiffusion-Télévision Française* (ORTF), em Paris (Schaeffer, 1952). O material sonoro é a manipulação de sons gravados, com ênfase em sons tradicionalmente considerados como *não musicais* ou ruídos. É assim possível identificar uma herança conceptual de experiências futuristas como os *Intronarumori*, de Luigi Russolo (1906), ou o *Ballet Mécanique* [1923-1924], de George Antheil ¹⁴. Não obstante, é com Schaeffer que se inicia o processo de sistematização da utilização destes materiais sonoros na composição musical, partindo da escuta reduzida dos objectos sonoros para uma abordagem experimental conducente à criação de um vocabulário para a sua manipulação (Schaeffer, 1966). Este processo de descoberta das possibilidades abertas pelo novo material sonoro é descrito por Pierre Schaeffer nos seus diários dos anos subsequentes à Segunda Guerra Mundial, coligidos no livro *À la Recherche d'une Musique Concrète* ¹⁵ (Schaeffer, 1952). Neste, a *musique concrète* é apresentada como um processo que se move dos sons concretos para a abstracção musical, em contraste com a tradicional transição da abstracção musical pensada e notada por compositores para a concretização sonora feita pelos instrumentistas (Dhomont, 1995). No início da década de 1950, o compositor Pierre Henry e o engenheiro Jacques Poullin juntam-se a Pierre Schaeffer e é formado o *Groupe de Recherche de Musique Concrète* (GRMC).

¹² Como, e.g., na *Arquitectura Aural*, que será apresentada no subcapítulo 2.4.1.

¹³ O primeiro concerto de *musique concrète*, o *Concert des Bruits* (literalmente, Concerto de Ruídos), tem lugar a 5 de Outubro de 1948, em Paris (Menezes, 1996a).

¹⁴ Partitura originalmente escrita para o filme homónimo de Fernand Léger e Dudley Murphy, que acaba por ser utilizada de forma autónoma.

¹⁵ Literalmente, à procura de uma música concreta.

Pela própria natureza da *musique concrète*, ela não pode ser concebida e apresentada de outro modo que não através de meios electroacústicos: os objectos sonoros gravados são escutados, classificados e manipulados para a concepção de gestos musicais que são por fim difundidos através de altifalantes. Não obstante a preponderância da gravação e reprodução neste processo, são desde os primeiros concertos utilizados elementos manipulados ao vivo por Schaeffer e Henry, no que serão certamente as primeiras experiências do que hoje designaríamos como electrónica ao vivo (Harrison, 1998). A mudança de suporte de reprodução do gira-discos para a fita magnética, logo nos primeiros anos da década de 1950, facilita a sincronização de várias pistas, o que permite a Pierre Schaeffer imaginar um dispositivo para a espacialização de sons ao vivo. Este dispositivo, a que chama *pupitre d'espace*¹⁶, é desenvolvido por Jacques Poullin (Harrison, 1998).

Na estreia da versão com 11 andamentos da *Symphonie pour un homme seul* [1950-1951], de Pierre Schaeffer e Pierre Henry, cinco canais de fita magnética são distribuídos por quatro altifalantes: um par estéreo no palco, um altifalante no fundo da sala (no centro, atrás do público) e outro altifalante no tecto. Quatro canais são atribuídos de forma directa a cada um destes altifalantes e o quinto é distribuído ao vivo por um intérprete¹⁷ utilizando o *pupitre d'espace* (Emmerson, 2007). Este dispositivo de controlo tem quatro antenas que mimetizam a posição dos altifalantes em torno do performer (figura 2.3). Este intérprete, por sua vez, controla uma bobine transmissora cuja proximidade a cada uma das antenas determina a amplificação do quinto canal no altifalante respectivo (Poullin, 1999). Esta dualidade de abordagens à colocação do som no espaço é consentânea com a seminal divisão proposta por Schaeffer entre relevo estático¹⁸ — fontes sonoras fixas no interior de um espaço de reprodução — e relevo cinemático¹⁹ — fontes sonoras virtuais colocadas em movimento por um intérprete durante a reprodução — (Harrison, 1998; Poullin, 1999), que terá eco numa parte significativa do posterior pensamento sobre a espacialização e a difusão.

¹⁶ Em parte da bibliografia é referido com *pupitre d'espace* (Chadabe, 1997; Ouzounian, 2007) e noutra como *potentiomètre d'espace* (Harrison, 1998; Zvonar, 2004). Apesar da segunda ser a mais comum, optou-se pela utilização da primeira pelo facto de a palavra *pupitre* remeter de forma mais clara para a questão da performance, pela semelhança com, e.g., *pupitre de chef d'orchestre*.

¹⁷ Nos primeiros concertos, o papel de intérprete do *pupitre d'espace* era desempenhado ora por Pierre Schaeffer, ora por Pierre Henry.

¹⁸ “*relief statique*”, no original (Poullin, 1999, p. 41).

¹⁹ “*relief cinématique*”, no original (Poullin, 1999, p. 43).

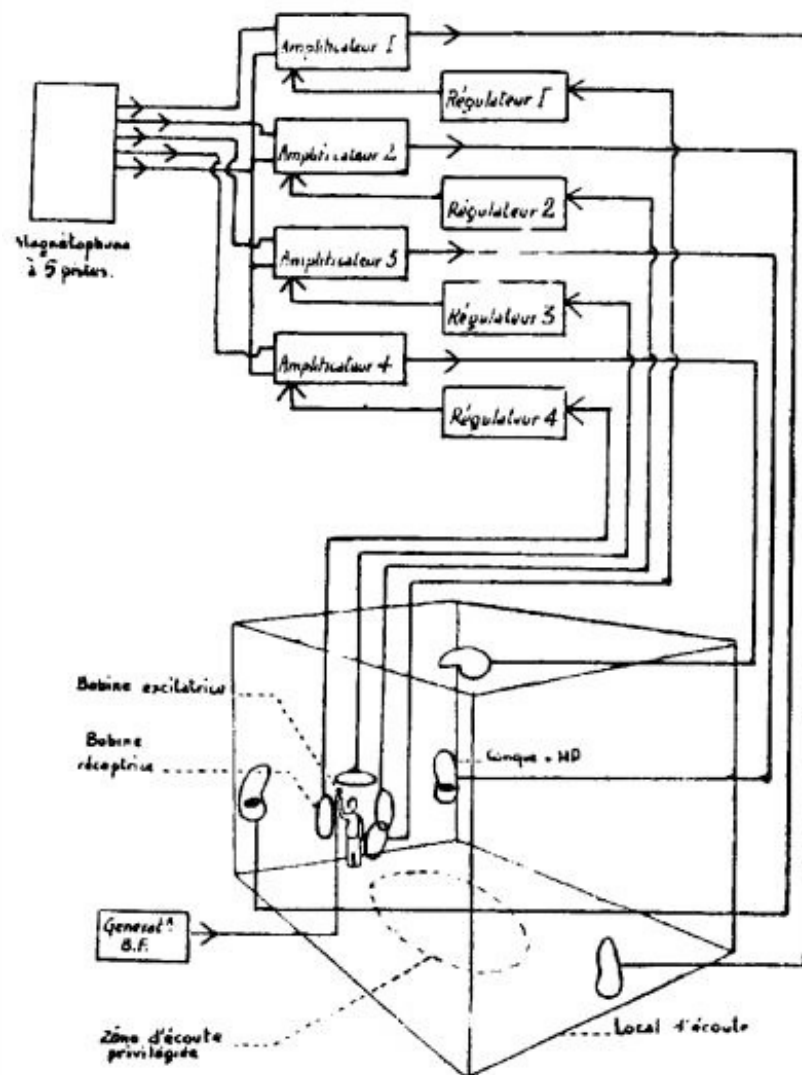


Figura 2.3. Esquema do pupitre d'espace (Poullin, 1999).

Esta forma de controlo da difusão faz corresponder o movimento das fontes virtuais a um gesto que é não apenas visível, como também facilmente reconhecível pelos espectadores do concerto. O objectivo de Pierre Schaeffer é o de “estabelecer um contacto directo com o público e restituir uma presença humana à execução das obras [...], imprimindo trajectórias sonoras a partir de gestos descritos directamente em frente do auditório”²⁰ (Poullin, 1999). O tratamento dado ao “objecto espacial” — identificável pela sua introdução no momento da performance — contrasta assim com o tratamento dado ao objecto sonoro — condição atingida pela escuta reduzida no processo de composição. A difusão sonora aparece então desde cedo como elemento importante da apresentação em público das obras que se filiam na tradição da *musique concrète*.

²⁰ “[...] pour établir un contact direct avec le public, et restituer une présence humaine au cours de l'exécution des œuvres, P. Schaeffer a imaginé un dispositif qui permet à un opérateur-exécutant d'imprimer des trajectoires sonores à partir des gestes qu'il décrit directement devant l'auditoire.”, no original (Poullin, 1999, p. 43).

2.2.1 A Orquestra de Altifalantes

No final da década de 1950, o GRMC dá lugar ao *Groupe de Recherches Musicales* (GRM), cuja actividade se prolonga até hoje ²¹. François Bayle, que assume a sua direcção entre 1966 e 1997, abandona a designação de *musique concrète* em favor da de *música acusmática*, expressão originalmente proposta por Pierre Schaeffer e que se refere à audição de um som sem a visão da sua origem ²² (Schaeffer, 1966). É neste contexto que, em 1974, estreia o Acousmonium, inaugurando a era da orquestra de altifalantes, instrumento determinante na história da difusão ²³ da música electroacústica.

A orquestra de altifalantes expande a ideia da interpretação ao vivo da música acusmática, utilizando várias dezenas de altifalantes para difundir obras reproduzidas a partir de um suporte comumente com dois canais, standardização que se deve ao facto de a estereofonia se ter tornado dominante nos meios de reprodução (Harrison, 1998). A panorâmica de amplitudes ²⁴ é então utilizada no momento da composição para segregar os sons, para focar ou tornar difusas as fontes sonoras virtuais ou ainda para articular a morfologia dos sons e dos gestos musicais utilizando o movimento. Como a imagem estereofónica funciona de forma óptima apenas para os ouvintes que se encontrem no *sweet spot* ²⁵, a utilização de vários pares de altifalantes ajuda a que ouvintes em diferentes posições da sala de concertos possam ter a possibilidade de ouvir a imagem estéreo adequada (Smalley em Austin, 2000).

No caso do Acousmonium, os altifalantes têm também comportamentos acústicos diversos, o que faz com que a uma alteração de posição corresponda também uma alteração tímbrica e de relação acústica com o espaço do concerto (Tutschku, 2002). Embora este seja um elemento importante de aproximação ao conceito de orquestra, poucas orquestras de altifalantes posteriores replicarão tão ampla diversidade tímbrica como a que é possível encontrar no Acousmonium. Tal como acontecia no caso da *musique concrète*, podemos identificar nesta abordagem uma ligação aos Intonarumori futuristas, já que também estes projectavam no espaço sons com timbres diferentes de forma direccional. Mais próxima é a relação com o também francês Ondes Martenot, instrumento musical da década de 1920 no qual o som é difundido através de vários altifalantes (denominados difusores) que, pelas suas características como, e.g., cordas para vibração por simpatia, imprimem diferentes timbres ao som do instrumento.

²¹ <http://www.inagrm.com>

²² Tem origem na palavra grega *akousmatikoi*, utilizada para designar os alunos de Pitágoras que o ouviam atrás de uma cortina, forçando-os assim a concentrarem-se unicamente nas suas ideias (Schaeffer, 1966).

²³ O termo utilizado por François Bayle é *projecção*, no sentido em que os sons são intencionalmente projectados no espaço como a imagem no cinema (Bayle, 1993). Jonty Harrison argumenta que o som é percebido de forma difusa no espaço, pelo que prefere o termo *difusão* (Harrison, 1998). Como se referem à mesma actividade, a da espacialização ao vivo enquanto interpretação da música electroacústica, optou-se pela utilização sistemática do segundo, mais comum nas fontes consultadas.

²⁴ Panorâmica que será apresentada no subcapítulo 4.5 e que utiliza a diferença de amplitude entre dois canais estereofónicos para a colocação de fontes sonoras virtuais no espaço.

²⁵ Ponto de convergência dos altifalantes, conceito que será apresentado no subcapítulo 4.2.

Durante a difusão da obra, o intérprete manipula as amplitudes de endereçamento do som com uma mesa de mistura, enviando o som para os diferentes pares de altifalantes e manipulando, em simultâneo, as envolventes dos sons gravados. Esta prática obriga a uma articulação entre o movimento no espaço enquanto parâmetro de composição — “o espaço interno da obra”²⁶ (Gorne, 2002) — e enquanto elemento de interpretação — “o espaço externo [...] gerado pelo intérprete”²⁷ (Gorne, 2002). A grande disseminação da prática da difusão nos concertos de música electroacústica, sobretudo na mais próxima da tradição acusmática, acaba por influenciar o vocabulário espacial que é aplicado no espaço interno, não raras vezes antecipando a sua tradução no espaço externo pelo intérprete. Este intérprete é, aliás, muitas vezes o próprio compositor, que assim finaliza ao vivo a componente espacial da sua obra. A facilidade de disseminação de obras em formato estereofónico, em comparação com formatos multicanal, e a vantagem do elemento performativo constituem incentivos adicionais para que tantos compositores adoptem o hábito de interpretar as suas obras ao vivo através da difusão (Harrison, 1998; Gorne, 2002).

Anette Vande Gorne distingue-se não só como compositora, mas também como intérprete de música electroacústica, pelo que o seu pensamento sobre a espacialização é informado tanto na concepção do espaço interno como na definição do espaço externo através da difusão. É responsável pela identificação e definição de um importante vocabulário de figuras para a interpretação espacial: a dissolução²⁸, o desmascaramento, a acentuação, a cintilação²⁹, a oscilação, o balanço, a onda, a rotação, a espiral, o ressaltado, a inserção / ruptura, o aparecimento / desaparecimento, a explosão, a acumulação e a invasão³⁰ (Gorne, 2002). Estas figuras do espaço são definidas não só pelo seu modo de execução, como também pela função musical que cumprem, estando sempre presente o seu papel de interpretação, i.e., de veiculação de uma leitura do gesto musical cristalizado na composição. Vande Gorne identifica ainda quatro categorias do espaço quanto à sua utilização musical (Gorne, 2002):

- o espaço envolvente³¹, no qual não é possível localizar a fonte sonora real — quer pelo seu carácter difuso, quer em virtude do seu papel na veiculação de fontes sonoras virtuais cuja posição não coincide com a dos altifalantes, tipicamente dispostos em círculo, em abóbada ou em esfera —, que identifica

²⁶ “*L’espace interne de l’œuvre*”, no original (Gorne, 2002, p. 13).

²⁷ “*L’espace externe [...] généré par l’interprète*”, no original (Gorne, 2002, p. 4).

²⁸ Transição suave entre sons, vulgarmente designada através do termo inglês *cross-fade*.

²⁹ Estabelecimento de uma textura aleatória, próxima da micro-montagem ou da síntese granular, por manipulação da amplitude e do espectro.

³⁰ “*Figures d’espace — L’interprétation des œuvres stéréo à la console de spatialisation: le fondu enchainé, le démasquage, l’accentuation, le scintillement, l’oscillation, le balancement, la vague, la rotation, la spirale, le rebond, l’insertion/rupture, l’apparition-/disparition, l’explosion, l’accumulation, l’envahissement*”, no original (Gorne, 2002, p. 9-11).

³¹ Tradução não literal de “*L’espace ambiophonique*” (Gorne, 2002, p.2).

com o Pavilhão de Osaka [1970], imaginado por Karlheinz Stockhausen, e com o Pavilhão da Philips [1958], imaginado por Iannis Xenakis ³²;

- “o espaço fonte” ³³, no qual é possível localizar a fonte sonora real — que pode existir em mais do que um canal espalhado pelo espaço, mas que não pode ser estereofónica (no sentido da veiculação de fontes virtuais não coincidentes com as fontes reais, como acontece no caso do espaço envolvente) —, que identifica com os exemplos históricos de espacialização na música instrumental e com o trabalho de Pierre Henry;
- “o espaço geometria” ³⁴, aquele que define linhas, planos e volumes no espaço, ligando-o à forma e ao tempo e tornando-o num parâmetro de som equivalente à altura, à duração, à intensidade e ao timbre;
- “o espaço ilusão” ³⁵, aquele que transforma o objecto sonoro numa representação dele mesmo em consequência do seu modo de projecção no espaço — utilizando, e.g., altifalantes com características espectrais idiomáticas que alteram o timbre do som gravado —, que identifica com o Acousmonium.

A oposição entre o espaço envolvente e o espaço fonte sugere um reflexo do contraste entre, respectivamente, as visões da *elektronische Musik* e da *musique concrète*, no sentido em que, no primeiro caso ³⁶, os meios electroacústicos são utilizados como forma de veicular uma abordagem abstracta ao movimento no espaço e, no segundo, os meios electroacústicos são organizados por forma a permitir a exploração da geografia do espaço de concerto através do movimento do som. É possível identificar ainda uma relação de proximidade entre o espaço ilusão e o espaço fonte, já que ambos põem em evidência as qualidades próprias de uma dada colocação dos altifalantes no espaço. O mesmo acontece entre o espaço geometria e o espaço envolvente, já que ambos são beneficiados pela autonomia possível face às idiosincrasias dos meios de difusão. É particularmente interessante o contraste entre a “função ornamental ou metafórica no apoio expressivo dos sons aos quais [o movimento no espaço fonte] oferece um suporte espacial” ³⁷ e o espaço geometria enquanto “objecto musical real e abstracto que conduz a audição e estrutura a percepção pela sua evolução no tempo” ³⁸ (Gorne, 2002).

³² Exemplos que serão analisados, respectivamente, nos subcapítulos 2.3 e 2.4.

³³ “*L’espace source*”, no original (Gorne, 2002, p. 3).

³⁴ “*L’espace géométrie*”, no original (Gorne, 2002, p. 5).

³⁵ “*L’espace Illusion*”, no original (Gorne, 2002, p. 6).

³⁶ Que será analisado no subcapítulo 2.3.

³⁷ “*Cet espace mouvement, s’il n’est pas gratuit, aurait donc surtout une fonction ornementale ou métaphorique à l’appui expressif des sons eux-mêmes auxquels il offre un support spatial.*”, no original (Gorne, 2002, p. 5),

³⁸ “*L’espace géométrie n’est donc pas un support, c’est un objet musical réel et abstrait qui conduit l’écoute et structure la perception par son évolution dans le temps.*”, no original (Gorne, 2002, p. 5).

Várias orquestras de altifalantes dedicadas à interpretação da música electroacústica surgem na esteira do Acousmonium ³⁹, em abordagens mais ou menos distintas da orquestra do GRM. Em 1970, os compositores Françoise Barrière e Christian Clozier fundam o *Groupe de Musique Expérimentale de Bourges* (GMEB), mais tarde conhecido como *Institut International de Musique Electroacoustique / Bourges* (IMEB). Este instituto, extinto em 2011, tem um papel determinante na disseminação da música electroacústica através do seu *Festival Synthèse* e do *Concours Internationaux de Bourges*, um dos mais relevantes da área. A difusão das obras no *Festival Synthèse* é feita com o Gmebaphone, um instrumento que consiste em elementos de amplificação e altifalantes, como o Acousmonium, aos quais se juntam um sistema de processamento e controlo da difusão desenhado para a performance (figura 2.4) (Clozier, 2001). No Gmebaphone, os altifalantes são divididos em altifalantes de referência, dispostos como pares estereofónicos, e altifalantes com respostas de frequência específicas, permitindo uma difusão simultaneamente espacial e espectral (Wishart, 1996). A necessidade de uma interface controlo surge já que, não obstante a sua ubiquidade, a mesa de mistura conseguida a partir da replicação de *channel strip* ⁴⁰ não foi concebida como uma interface ergonómica para difusão de música electroacústica com dezenas de altifalantes. O Gmebaphone evolui ao longo de duas décadas em várias versões, terminando, no início da década de 1990, com a implementação em ambiente digital da sexta versão, que passa a ser designada como Cybernéphone (Clozier, 2001).

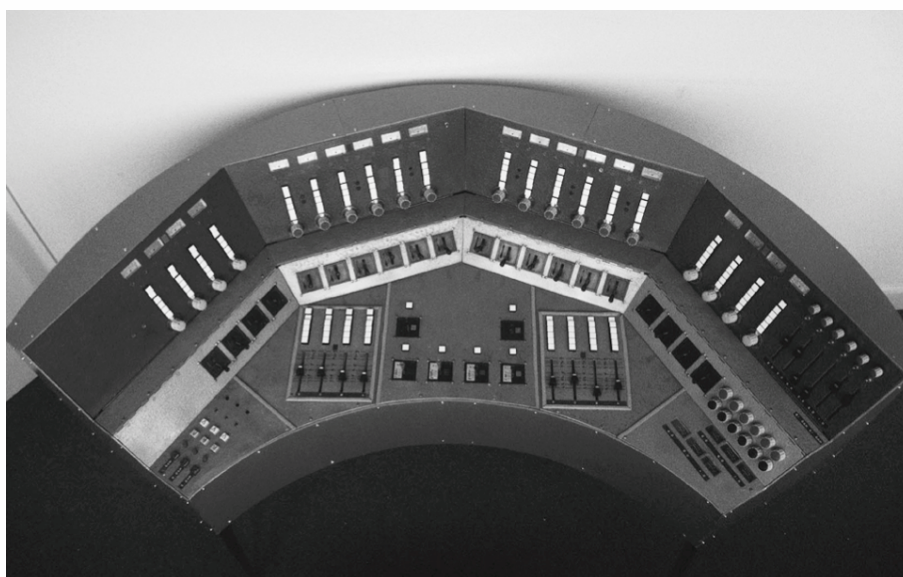


Figura 2.4. Consola de controlo do Gmebaphone 2 (Clozier, 2001).

³⁹ Incluindo, em Portugal, a Orquestra de Altifalantes da Miso Music.

⁴⁰ Literalmente, tiras de canais, referindo-se à disposição tradicional dos controlos nas mesas de mistura analógicas.

2.2.2 O Espaço Enquanto Parâmetro Composicional

Uma das novidades introduzidas pelo Cybernéphone é a possibilidade de preparar e automatizar a difusão em estúdio (Clozier, 2001). Esta opção desvirtua a visão da difusão enquanto elemento performativo da música electroacústica (Harrison, 1998), tal como explicitamente entendido pelo IMEB (Clozier, 2001) e central ao caminho iniciado por Pierre Schaeffer e trilhado por François Bayle. No entanto, é fácil verificar que, desde o início da década de 1990, compositores próximos desta tradição como, e.g., Annette Vande Gorne e Francis Dhomont, começam a trabalhar em obras nas quais o movimento espacial é definido durante a composição em mais do que dois canais. Em *Terre* [1989-1991], de Anette Vande Gorne, o movimento no espaço torna-se parte inseparável do gesto musical durante o processo de composição (Zelli, 2009). Apesar disso, e não obstante a sua cristalização em oito canais, a sua difusão em concerto multiplica estes canais por vários altifalantes (figura 2.5), numa abordagem que permanece assim mais próxima do espaço fonte do que do espaço envolvente. *Terre* é a última peça do ciclo *TAO*, que inclui ainda *Eau* [1984], *Feu* [1985], *Bois* [1986] e *Métal* [1983], quatro peças estereofónicas que incluem instruções para a interpretação na difusão com múltiplos altifalantes (Gorne, 2002).

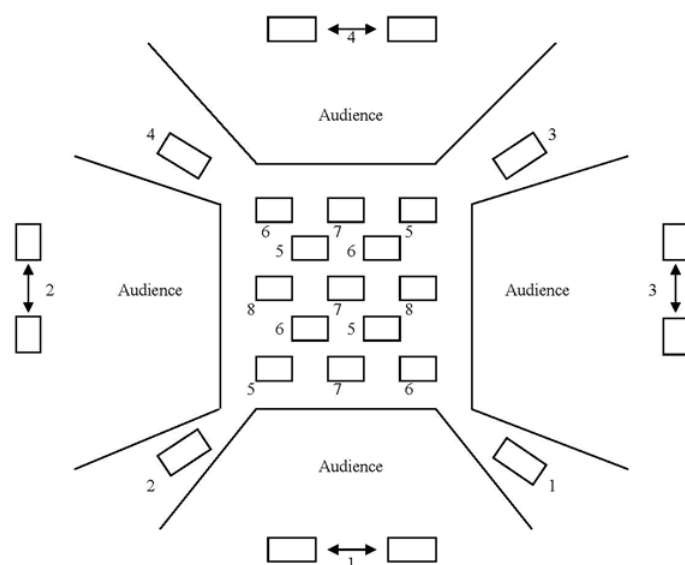


Figura 2.5. Disposição dos altifalantes na obra *Terre* [1989-1991], de Annette Vande Gorne (Zelli, 2009).

Em obras como *Tangram* [1994], de Robert Normandeau, ou *Vol d'Arondes* [1999], de Francis Dhomont, no entanto, o formato multicanal escolhido para a gravação da espacialização é igual ao número de altifalantes utilizados para a difusão em concerto. No caso da peça de Normandeau, os sons electroacústicos são colocados num espaço fonte que é muito próximo do que acontece na espacialização com instrumentos acústicos: cada um dos 16 canais da fita magnética é reproduzido por um altifalante independente, sem qualquer manipulação, num espaço que funciona como meio de fusão do material

sonoro. “A mistura é, então, conseguida de forma acústica e não electrónica”⁴¹. Os gestos espaciais são inscritos na articulação do material musical do mesmo modo como o seriam caso se tratassem de 16 instrumentos acústicos independentes. A versão estereofónica para gravação em CD foi feita gravando a difusão da peça com microfones e técnicas de captação estereofónica convencionais, como se de uma obra acústica se tratasse.

No caso de *Vol d’Arondes*⁴², para oito altifalantes dispostos em octógono, a evocação de elementos da paisagem sonora de uma noite de Verão na Provença inclui a “estridente dança de alimentação em constante mudança”⁴³ das andorinhas. A abordagem técnica inscreve-se aqui no espaço envolvente definido por Vande Gorne, já que o objectivo é veicular um movimento externo à geografia do espaço de difusão. No entanto, este movimento é baseado na utilização de elementos sonoros conotativos que procuram convocar no ouvinte elementos de uma memória sobre o movimento das andorinhas que será predominantemente visual. O objectivo é assim o da identificação das características expressivas do movimento e não o da envolvência ou imersão, como a que é procurada, e.g., na *soundscape composition* proposta por R. Murray Schaeffer e Barry Truax (1996tl), na qual a espacialização é utilizada como forma de mimetizar a natural imersão auditiva das paisagens sonoras (Truax, 1999). Em *Vol d’Arondes*, os movimentos que transportam os sons mimetizam a dança frenética das andorinhas e são dirigidos à cognição do ouvinte: nas palavras do compositor, “também o espaço pertence à memória”⁴⁴.

A maior definição espacial necessária à cristalização dos movimentos espaciais destas obras leva à utilização do máximo número de canais disponíveis no meio de gravação e reprodução escolhido, o que explica a crescente afirmação da octofonia (Lyon, 2008; Otondo, 2008) como consequência da disponibilidade dos gravadores digitais sobre fita magnética de oito canais (Gorne, 2002) e, mais tarde, das interfaces de áudio digital para computador de oito canais. Se, nalguns casos, a octofonia é entendida como como um octógono de 8 altifalantes (e.g., no caso de *Vol d’Arondes*, de Dhomont), noutros é apenas um meio de reprodução para altifalantes noutras disposições (e.g., em *Terre*, de Vande Gorne). Em qualquer um dos casos, a obra já não se encontra completa na sua versão estereofónica, aguardando a sua interpretação pela difusão. Antes, a sua reprodução em formatos de disseminação limitados a dois canais, como, e.g., o CD, é regularmente acompanhada da indicação de que se trata de uma *redução estereofónica*, indicando a perda de um elemento fundamental do pensamento composicional⁴⁵: os gestos espaciais que evoluem de forma simbiótica com os gestos musicais que carregam.

⁴¹ “*Mixing, therefore, is accomplished acoustically and not electronically.*”, nas notas de programa de *Tangram* [1994].

⁴² Literalmente, Voo de Andorinhas. É dedicada a Annette Vande Gorne.

⁴³ “*Through this deep, blemishless blue, the flight of swallows: a strident, constantly changing feeding dance.*”, nas notas de programa de *Vol d’Arondes* [1999].

⁴⁴ “*The space, too, belongs to memory.*”, nas notas de programa de *Vol d’Arondes* [1999].

⁴⁵ Uma redução que será análoga à redução para piano de uma partitura de orquestra, na qual se perde informação tímbrica.

D. Smalley identifica esta relação intrínseca entre o gesto musical — anteriormente definido através da sua relação com a espectromorfologia — e gesto espacial no que nomeia como “espaçomorfologia” ⁴⁶ (D. Smalley, 1997):

Spatial perception is inextricably bound up with spectromorphological content, and most listeners cannot easily appreciate space as an experience in itself. Spatial appreciation can be acquired by consciously listening to the spaces in works as distinct from regarding space only as spectromorphological enhancement. I use the term spatiomorphology to highlight this special concentration on exploring spatial properties and spatial change, such that they constitute a different, even separate category of sonic experience. In this case spectromorphology becomes the medium through which space can be explored and experienced. Space, heard through spectromorphology, becomes a new type of ‘source’ bonding ⁴⁷. (D. Smalley, 1997, p. 122).

João Pedro Oliveira ⁴⁸ é um exemplo paradigmático desta crescente utilização gestual do espaço na música electroacústica. Já nas suas obras da década de 1990 o espaço se começa a afirmar como um elemento determinante na construção do seu estilo pessoal (Pombo, 2003), incluindo a utilização deste para a articulação dos meios electroacústicos com os instrumentos acústicos ⁴⁹ em *Requiem* [1994] (Melo, 2003). É, contudo, no ciclo de peças octofónicas inspiradas pelas representações dos quatro elementos no Antigo Testamento — até ao momento constituído por *Et Ignis Involvens* [2005], *Aphâr* [2007] e *Hydatos* [2008] — que se torna particularmente clara a simbiose entre a morfologia no espaço espectral (i.e., a espectromorfologia) e a morfologia no espaço físico (i.e., a espaçomorfologia) dos gestos musicais. A utilização da síntese granular está, nestas obras electroacústicas de Oliveira, muito distante das moléculas de gás de Xenakis ⁵⁰: aqui, os grânulos de cada gesto musical sujeitam-se a uma envolvente estruturante que torna explícita a intencionalidade da sua colocação. A possibilidade de controlo minucioso sobre um “infundável arsenal de subtilidades” deste processo de aglutinação de pequenos sons presta-se assim à veiculação da “energia gestual determinada [...] pela mutação, transformação e desenvolvimento tímbricos”

⁴⁶ “*Spatiomorphology*”, no original (D. Smalley, 1997, p. 122).

⁴⁷ “*I define source bonding as: the natural tendency to relate sounds to supposed sources and causes, and to relate sounds to each other because they appear to have shared or associated origins.*” (D. Smalley, 1997, p. 110).

⁴⁸ Orientador deste trabalho.

⁴⁹ O gesto musical na articulação entre instrumentos acústicos e meios electroacústicos constitui, aliás, outra importante marca do seu trabalho.

⁵⁰ Como acontece, e.g., na obra *Concret Ph* [1958], que será apresentada no subcapítulo 2.4, e, de forma instrumental, em secções da obra *Terretektorh* [1965-1966].

característica de música de Oliveira ⁵¹ (Rudy, 2003, p.84). A sua vontade de compor a electroacústica “de forma instrumental”, i.e., de modo a que “o gesto e o movimento dos sons” tenham “um carácter humano e natural” (Oliveira em Salazar, 2003, p. 95), é então potenciada pela criação de gestos musicais que englobam um gesto espacial.

2.2.3 O Espaço Interno e o Espaço Externo da Difusão

O *Birmingham ElectroAcoustic Sound Theatre* (BEAST), uma das mais activas orquestras de altifalantes da actualidade, é fundada por Jonty Harrison em 1982, com uma filiação explícita no pensamento de Pierre Schaeffer ⁵². Não obstante a sua resistência, por motivos estéticos, à automatização prévia da difusão — argumenta que esta, a existir, deve ser “composta no sistema e no espaço da performance” ⁵³ (Harrison, 1998), i.e., como interpretação diferida —, Harrison admite a necessidade de encontrar uma solução que equilibre o crescente trabalho sobre a espacialização na composição e a capacidade de difusão no espaço performativo. Identifica a composição para configurações fixas de altifalantes ⁵⁴ como um retrocesso, já que se aniquila a possibilidade de interação com a acústica do espaço da sala de concerto. Propõe então que se encontre um novo formato estandardizado, com maior definição espacial do que a estereofonia, que permita uma redistribuição dos altifalantes das orquestras como a BEAST (Harrison, 1998). Utilizando a terminologia de Vande Gorne, propõe que o aumento da resolução do espaço interno seja reflectido nos meios utilizados para a definição do espaço externo, sem que isso implique a cristalização das configurações de altifalantes e o abandono da difusão ao vivo. Como se pode observar pela comparação entre a típica distribuição dos altifalantes da BEAST da década de 1990 e a do início deste século (figura 2.6), a transição da estereofonia para a octofonia nesta orquestra de altifalantes foi cumprida.

⁵¹ O texto que deu origem a estas citações (Rudy, 2003) é a conclusão de uma análise da peça *Íris* [2000], para violino, clarinete, violoncelo, piano e electrónica. A homogeneidade estilística da obra de Oliveira (Salazar, 2003) permite ainda assim a sua aplicação neste contexto.

⁵² Jonty Harrison termina o seu artigo *Sound, space, sculpture: some thoughts on the 'what', 'how' and 'why' of sound diffusion* com as frases “*Fifty years ago, Pierre Schaeffer unleashed a new way of musical thinking. Vive la musique concrète – and all that flows from it!*” (Harrison, 1998, p. 127).

⁵³ “*Ideally, the automation would be composed on the performance system in the performance space, to which (as already mentioned) there is never sufficient access.*”, no original (Harrison, 1998, p. 126).

⁵⁴ Com algum humor, refere-se a esta solução como “*the 'Stonehenge' deployment – an array of eight or sixteen equally spaced, matching loudspeakers at the same height and at equal distances from the central sweet spot.*” (Harrison, 1998, p. 126).

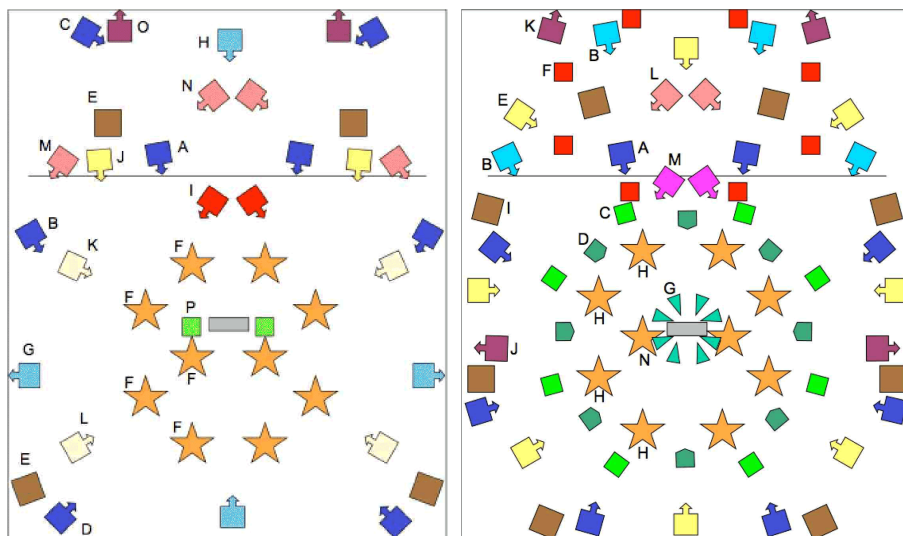


Figura 2.6. Disposição usual da orquestra de altifalantes BEAST na década de 1990 (à esquerda) e distribuição utilizada nos concertos do 20º aniversário, em 2003 (à direita). É notória a transição de um sistema centrado na difusão de obras estereofónicas para um sistema que engloba diversas distribuições octofónicas regulares: A (principal), B (distante, apenas quadrifónica), C (alta), D (próxima), E (galeria elevada), F (palco, com altifalantes inclinados e apontados para a audiência), G (radiando da mesa de mistura para a audiência), H (altifalantes de agudos) e I (altifalantes de graves) (Harrison, 2011).

Em obras que aplicam um pensamento espacial mais próximo do espaço envolvente e do espaço geometria⁵⁵, a interpretação ao vivo com uma orquestra de altifalantes pode romper a veiculação do pensamento espacial. No caso das obras que aplicam um pensamento espacial mais próximo do espaço fonte e do espaço ilusão, a difusão com orquestras de altifalantes baseadas em distribuições octofónicas permite então uma expansão do espaço interno da composição sem que seja posta em causa a capacidade de adaptação aos espaços acústicos da performance pela definição do espaço externo na interpretação. O problema passa então a colocar-se na complexidade que resulta da necessidade de manipular mais do que dois canais na difusão ao vivo, o que leva a que compositores profundamente ligados à tradição acusmática, como, e.g., Denis Smalley, continuem a restringir as suas obras a um par estéreo no momento da composição, mesmo depois de vencidas as dificuldades na reprodução de áudio multicanal (Smalley em Austin, 2000). O BEASTmulch, desenvolvido entre 2006 e 2008, é uma implementação do conceito de difusão ao vivo em *software* (Harrison, 2011), sendo baseado em VBAP⁵⁶ e incluindo o MotorBEAST, uma interface física baseada no paradigma da mesa de mistura.

⁵⁵ Como as que serão apresentadas no subcapítulo 2.3.

⁵⁶ Técnica de espacialização que expande a panorâmica de amplitudes para um número ilimitado de canais e que será apresentada no subcapítulo 4.5.1.

2.2.4 A Espacialização de Fontes Acústicas

Dada a sua filiação no conceito tradicional de orquestra, é expectável a existência de uma influência recíproca entre o pensamento espacial na difusão da música electroacústica e na música instrumental ⁵⁷. É neste contexto que surgem as obras *Répons* [1981-1984] e *Dialogue de l'ombre double* [1985], de Pierre Boulez, nas quais o gesto musical instrumental é colocado em movimento no espaço, em tempo real, com o auxílio de meios electroacústicos. Em *Dialogue de l'ombre double*, o clarinete solo é confrontado com a sua sombra electroacústica — i.e., com sons amplificados ou pré-gravados pelo clarinetista e difundidos de forma espacializada. São também incluídos sons processados em tempo real pela amplificação do clarinete através de um altifalantes colocado debaixo de um piano de cauda. Este, que não deve ser visível pelo público, é mantido com o pedal pressionado para que as cordas livres possam vibrar por simpatia, transformando-o num altifalante idiomático, tal como acontece no Acousmonium. As instruções para a espacialização são desenhadas na partitura, o que, não obstante a sua notação a partir do paradigma da difusão com mesa de mistura (figura 2.7), permite a sua realização de forma independente dos meios tecnológicos disponíveis. Porventura em consequência da técnica e interface comuns, os movimentos sonoros realizados pela espacialização em *Dialogue de l'ombre double* filiam-se no vocabulário da difusão da música electroacústica.

The image shows a musical score for Clarinette/double en solo from Pierre Boulez's *Dialogue de l'ombre double*. The score is written in 3/4 time and consists of seven numbered measures (1-7). Each measure is accompanied by a diagram of a mixing console (mixer) with six faders, numbered 1 to 6. The diagrams show the relative volume levels of each fader, indicating the spatialization of the sound. Measure 1 starts with 'sigle initial' and 'Hâif j=196/200, chuchoté, mystérieux précipité'. Measure 2 has 'précipité' and 'ff tempo'. Measure 3 has 'précipité' and 'ff tempo'. Measure 4 has 'précipité' and 'ff tempo'. Measure 5 has 'précipité' and 'ff tempo'. Measure 6 has 'précipité' and 'ff tempo'. Measure 7 has 'précipité' and 'ff tempo'. The dynamics range from *ppp* to *mp*. The diagrams show various fader settings, such as fader 1 being up and fader 2 being down in measure 1, and fader 2 being up and fader 5 being down in measure 5.

Figura 2.7. Excerto da partitura de *Dialogue de l'ombre double* [1985], de Pierre Boulez, sendo visível a notação da espacialização através do paradigma da mesa de mistura.

⁵⁷ Não será inteiramente por acidente que obras electroacústicas como *Terre* [1989-1991] (figura 2.5), de Anette Vande Gorne, tenham um pensamento espacial análogo ao de obras instrumentais contemporâneas, como *Quodlibet* [1990-1991], de Emmanuel Nunes.

Em *Répons* [1981-1984], por outro lado, a intenção é a de espacializar o som por forma a que “a velocidade com que o som se move em torno da sala dependa directamente da amplitude do som”⁵⁸ (Boulez & Gerzso, 1988) produzido por cada um dos seis solistas: vibrafone, *glockenspiel* + xilofone, harpa, piano, piano + sintetizador e cimbalão. Estes, dispostos junto às paredes do auditório, juntam-se a um ensemble instrumental no centro do espaço e a seis altifalantes colocados nos interstícios entre os instrumentos solistas (figura 2.8). Esta disposição, com o público em torno da orquestra e circunscrito tanto pelos instrumentos solistas como pelos altifalantes, ajuda a convocar a ideia de canto antifonal que será desenvolvida pela articulação entre os solistas e o ensemble instrumental. A cada instrumento solista corresponde uma sequência que define um percurso sonoro pelos altifalantes (figura 2.9).

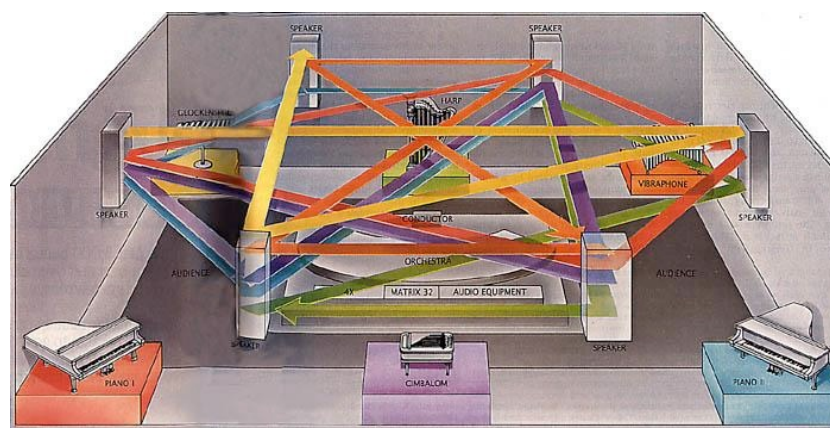


Figura 2.8. Disposição dos instrumentos, altifalantes e trajetórias espaciais em *Répons* [1981-1984], de Pierre Boulez (Boulez & Gerzso, 1988).

A espacialização em tempo real a partir do rastreio da envolvente de amplitude dos sons de instrumentos acústicos é conseguida através de um sistema de espacialização digital concebido no *Institut de Recherche et Coordination Acoustique/Musique* (IRCAM), centro fundado pelo próprio Pierre Boulez em 1977 e que põe em prática as suas ideias sobre os benefícios da colaboração entre cientistas e músicos para o desenvolvimento de soluções tecnológicas para a composição musical (Boulez, 1986). Os técnicos do IRCAM utilizam um sistema constituído pela sua estação de processamento de áudio Sogitec 4X e pela sua matriz de endereçamento de áudio Matrix 32. O sinal captado pelo microfone de cada um dos instrumentos solistas é analisado por um seguidor de envolvente, sendo a amplitude detectada que define, em cada momento, a frequência de iteração entre os vários altifalantes do percurso espacial definido para o som do respectivo instrumento (figura 2.9). Os instrumentos solistas têm em comum o facto de terem uma envolvente sonora que se caracteriza por um ataque rápido seguido de um decaimento natural. A duração deste decaimento é diferente para cada instrumento, cada nota e cada dinâmica, afectando deste modo a distância percorrida e a velocidade de articulação de cada percurso espacial.

⁵⁸ “The speed with which a sound moves around the performance hall depends directly on the loudness of the sound.”, no original (Boulez & Gerzso, 1988, p. 45).

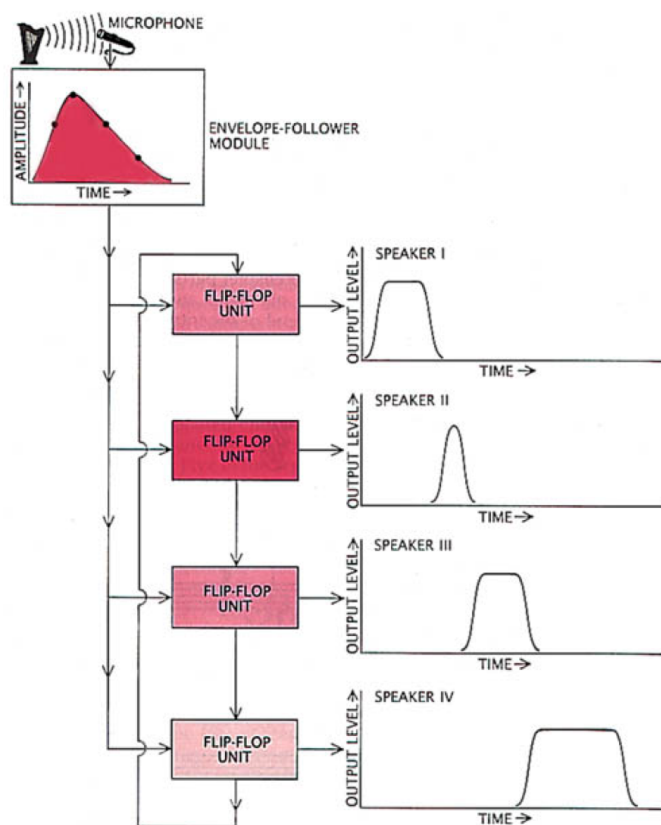


Figura 2.9. Método de espacialização utilizado em *Répons* [1981-1984], de Pierre Boulez (Boulez & Gerzso, 1988).

Répons é uma obra seminal da electrónica em tempo real utilizando sistemas digitais reactivos. Os seus percursos espaciais, definidos de forma geométrica, podem sugerir uma filiação nas ideias de serialização do espaço de Karlheinz Stockhausen: Boulez é, aliás, um dos maestros que dirige a estreia de *Gruppen* [1955–1957], de Stockhausen, pelo que conhecerá bem as suas ideias sobre a espacialização. Não obstante, a total subjugação da espacialização à envolvente original do som espacializado integra de forma inequívoca *Répons* no seio das obras nas quais o gesto espacial é utilizado como expansão e difusão do gesto musical.

A utilização do gesto musical articulado por instrumentos acústicos como fonte do movimento na espacialização em tempo real é explorada em *in many, many ears* [2011]. Nesta obra, a flauta de bisel é amplificada através da colocação de um par de microfones binaurais no interior dos pavilhões auditivos do instrumentista, utilizando deste modo a sua cabeça como obstáculo acústico entre os dois microfones. Os sinais captados pelas cápsulas destes microfones são então amplificados através de um par de altifalantes colocado nos extremos do palco. Pela forma como foram concebidos, os gestos musicais que o performer interpreta têm como consequência a espacialização do som captado, amplificando os seus movimentos até à largura definida pelos altifalantes. Procura-se, desta forma, retomar a espacialização enquanto performance, tal como acontecia nos concertos com o *pupitre d'espace* do GRMC.

2.3 O Gesto Espacial na Articulação do Gesto Musical

A *elektronische Musik* surge no pós-guerra, na *Westdeutscher Rundfunk* (WDR) ⁵⁹. É fundada por Werner Meyer-Eppler, que cunha o termo em 1949 (Menezes, 1996a) referindo-se à possibilidade de criar música utilizando somente a síntese a partir de fontes electrónicas. A Meyer-Eppler juntam-se, logo no início da década de 1950, Robert Beyer, Herbert Eimert (que viria a ser o primeiro director do Estúdio de Música Electrónica da WDR), Gottfried Michael Koenig e, recém-chegado de uma curta experiência nos estúdios liderados por Pierre Schaeffer, Karlheinz Stockhausen. Este grupo de compositores constitui o núcleo daquela que ficou conhecida como a Escola de Colónia, que explora a possibilidade, aberta pelas ferramentas electrónicas, de trabalhar o som a partir dos seus elementos acústicos fundamentais, nomeadamente através da utilização de síntese aditiva a partir da soma de sons puros (i.e., ondas sinusoidais). Expressamente inserida no contexto de um pensamento pós-weberniano (Menezes, 1996a), então em expansão pela Europa, a abordagem destes compositores passa pela aplicação de um pensamento serial à concepção do material musical. Os meios electrónicos são então vistos como os que permitem uma concretização mais precisa e virtualmente ilimitada das ideias dos compositores. Estas são objecto de notação detalhada ainda antes da fase de execução ⁶⁰, como acontece no caso dos *Elektronische Studie I* [1953] e *II* [1954], de Stockhausen, mantendo um processo que parte da abstracção para a concretização, em directa oposição, por isso, ao da contemporânea *musique concrète*.

De entre os compositores da Escola de Colónia, Karlheinz Stockhausen é indubitavelmente aquele que atinge um maior destaque. As suas concepções sobre a espacialização na música electroacústica, como também na música instrumental, não são disso excepção e marcam de forma definitiva a implantação do espaço enquanto elemento relevante para a composição musical. Sara Ann Overholt, na sua tese dedicada às teorias de Stockhausen sobre o espaço (Overholt, 2006), com ênfase nas análises de *Gruppen* [1955-1957] e *Oktophonie* [1990-1991], propõe a divisão do trabalho sobre a espacialização de Stockhausen em três fases distintas ⁶¹: o período inicial (de 1951 a c. 1965), o período intermédio (de c. 1966 a c. 1976) e o período de maturidade (de c. 1977 a 2007 ⁶²).

No período inicial, que inclui as já referidas obras instrumentais *Gruppen* e *Carré*, Stockhausen aborda o espaço enquanto elemento musical integrado num pensamento serial, o que é explícito no seu artigo de

⁵⁹ Até 1955 ainda parte integrante da *Nordwestdeutscher Rundfunk* (NWDR).

⁶⁰ O que permite, e.g., a recriação de obras com meios técnicos actuais, como acontece com a recriação da obra *Elektronische Studie II* [1954], de Karlheinz Stockhausen que acompanha a instalação do *software* Max.

⁶¹ Esta divisão não se reflecte apenas na espacialização, embora seja este o enfoque de Overholt (2006), sendo transversal ao processo de composição de Stockhausen em cada um dos três períodos.

⁶² Na tese em questão (Overholt, 2006), este período aparece como sendo de 1977 até ao presente, dado tratar-se de um trabalho defendido em 2006, antes da morte de Stockhausen em Dezembro de 2007.

1958, *Musik im Raum*⁶³ (Stockhausen, 1958), que nasce de uma comunicação realizada no mesmo ano em Darmstadt. Neste artigo, escrito quando tinha já terminado *Gesang der Jünglinge* [1955–1956] e estaria a começar *Kontakte* [1958–1960], Stockhausen analisa brevemente a história da espacialização na música ocidental como prólogo à descrição do pensamento espacial nas suas obras, apresentando *Gesang der Jünglinge* como uma obra na qual “tentou fazer com que a direcção do som e o seu movimento no espaço abrissem uma nova dimensão da experiência musical”⁶⁴ (Stockhausen, 1958). De facto, a colocação do som nos altifalantes é um parâmetro determinante na articulação dos restantes elementos: na partitura de execução de *Gesang der Jünglinge* encontramos a notação de um discurso musical distribuído por cinco camadas, correspondendo cada linha a um altifalante, de forma análoga à disposição numa linha por instrumento na notação convencional para instrumentos acústicos.

A obra é originalmente pensada para cinco canais, utilizando um leitor de fita magnética de 4 canais para os altifalantes em torno da audiência e um segundo leitor monofónico com o quinto canal, destinado a ser reproduzido por um altifalante suspenso no centro do tecto da sala de concerto. No entanto, limitações técnicas levam a que, na sua estreia em Maio de 1956, o quinto canal seja difundido por um altifalante no centro do palco. A sincronização dos dois leitores de fita magnética, feita manualmente, também não é satisfatória, pelo que o compositor decide misturar o quinto canal nos restantes e transformar *Gesang der Jünglinge* numa obra quadrifónica (J. Smalley, 2000). Apesar destas alterações, a espacialização mantém-se sempre um elemento intrínseco à obra: “de que sítio, por quantos altifalantes em simultâneo, com rotação para a esquerda ou para a direita, em movimento ou parados, os sons e os grupos de sons são projectados no espaço: tudo isto é decisivo para a compreensão desta obra.”⁶⁵ (Stockhausen, 1958). Os altifalantes ainda são, contudo, utilizados no que Vande Gorne designaria por espaço fonte, tal como acontecia com os grupos instrumentais em *Gruppen e Carré*.

Em *Musik im Raum*, Stockhausen mostra ter uma compreensão profunda do fenómeno da percepção do som no espaço⁶⁶, na qual baseia uma proposta para a sua utilização como elemento serializável, tal como havia feito com os restantes parâmetros musicais nos *Elektronische Studie*. Identifica a direcção no plano transversal (i.e., o azimute) como o principal parâmetro espacial serializável e propõe a divisão do espaço em proporções análogas às que são utilizadas na divisão do tempo e na afinação (figura 2.10). Afirma então que a distribuição dos sons no espaço pode ser utilizada para clarificar as relações entre diferentes camadas

⁶³ Literalmente, música no espaço.

⁶⁴ “In der Komposition habe ich versucht, die Schallrichtung und die Bewegung der Klänge im Raum zu gestalten und als eine neue Dimension für das musikalische Erlebnis zu erschließen.”, no original (Stockhausen, 1958, p. 153).

⁶⁵ “Von welcher Seite, mit wie vielen Lautsprechern zugleich, ob mit Links- oder Rechtsdrehung, teilweise starr und teilweise beweglich die Klänge und Klanggruppen in den Raum gestrahlt werden: das alles ist für das Verständnis dieses Werkes maßgeblich.”, no original (Stockhausen, 1958, p. 153).

⁶⁶ A sua descrição sobre a percepção da distância — que faz depender do reconhecimento da fonte sonora, razão pela qual desvaloriza o potencial da sua utilização na *elektronische Musik* — é surpreendentemente próxima da que resulta de investigação mais recente.

musicais ⁶⁷ ou como uma forma adicional de articular frases longas e estruturar o material musical. Esta última acabará por ser a sua mais influente e original contribuição para o pensamento sobre o espaço na música electroacústica: a ideia de que a espacialização pode ser uma forma de articular e dar forma ao material musical. Esta abordagem geométrica à definição de formas e percursos no espaço distingue-se assim da tradição da difusão do gesto musical no sentido em que os gestos espaciais tendem a tornar-se independentes dos gestos musicais que carregam.

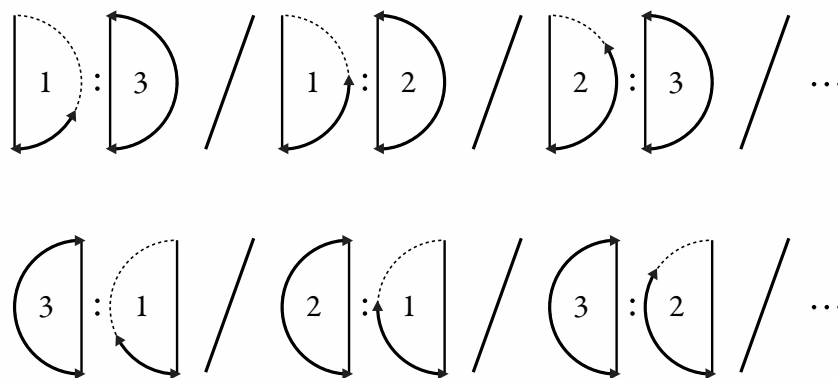


Figura 2.10. Exemplos de proporções espaciais propostas por Karlheinz Stockhausen em *Musik im Raum* (Stockhausen, 1958).

Se *Gesang der Jünglinge* é a primeira obra na qual Stockhausen mistura sons electrónicos com sons gravados ⁶⁸, *Kontakte* [1958-1960] é a primeira obra na qual mistura sons electrónicos e instrumentos reais. Escrita para piano, percussão e quatro altifalantes em torno da audiência ⁶⁹, Stockhausen utiliza, em *Kontakte*, “seis formas de movimento espacial, com diferentes velocidades e direcções, [que] se contactam mutuamente [...]: rotações, movimentos cíclicos, alternâncias, fontes díspares fixas (sons diferentes de cada um dos quatro altifalantes), fontes idênticas fixas (os mesmos sons em todos os altifalantes) e pontos espaciais isolados.” ⁷⁰ (Stockhausen citado por Miller, 2009). Estas indicações estão presentes na partitura de execução (figura 2.11) e revelam a materialização da proposta de exploração experimental das características do movimento (Stockhausen, 1958).

⁶⁷ Num raro ponto de contacto com as ideias de Henry Brant (M. A. Harley, 1997).

⁶⁸ A voz do adolescente citando o texto de origem bíblica, entre outros sons gravados, levando a que alguns partidários da *musique concrète*, incluindo Pierre Schaeffer, a procurem classificar como tal (Menezes, 1996a).

⁶⁹ Embora exista também em versão apenas para meios electroacústicos.

⁷⁰ “Six forms of spatial movement, with differentiated velocities and directions, contact each other in ever changing ways: rotations, looping movements, alternations, disparate fixed sources (different sounds from each of the 4 loudspeakers), connected fixed sources (the same sounds in all the loudspeakers), isolated spatial points.”, no original (Stockhausen citado por Miller, 2009).

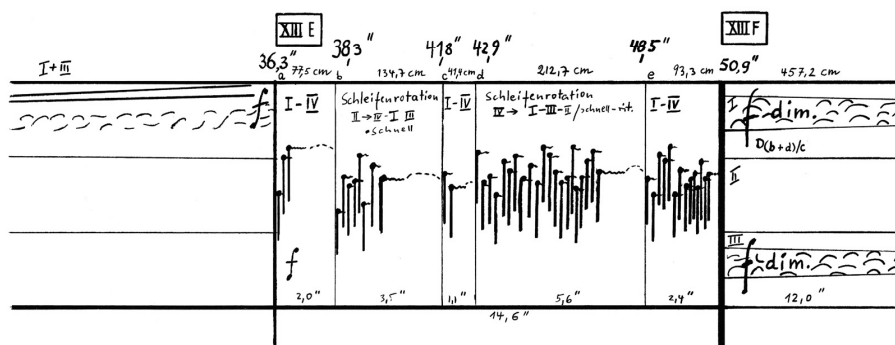


Figura 2.11. Excerto da partitura da *Kontakte* [1958-1960], de Karlheinz Stockhausen. São visíveis indicações espaciais abaixo da linha horizontal superior: a numeração romana indica o altifalante (I - esquerdo, II - frontal, III - direito, IV - traseiro), *Schleifenrotation* indica uma rotação cíclica, ora rápida (*schnell*), ora em desacelerando (*rit.*).

Para a concretização dos movimentos de rotação de *Kontakte*, Stockhausen desenvolve uma solução técnica peculiar: um altifalante é colocada sobre uma plataforma rotativa, com um cone servindo como guia para as ondas sonoras reproduzidas pelo altifalante (figura 2.12). Quatro microfones, ligados a um gravador magnético de quatro canais, são montados em torno da plataforma e o som a espacializar é reproduzido pelo altifalante enquanto o intérprete das indicações espaciais (neste caso o próprio compositor) gira a plataforma.

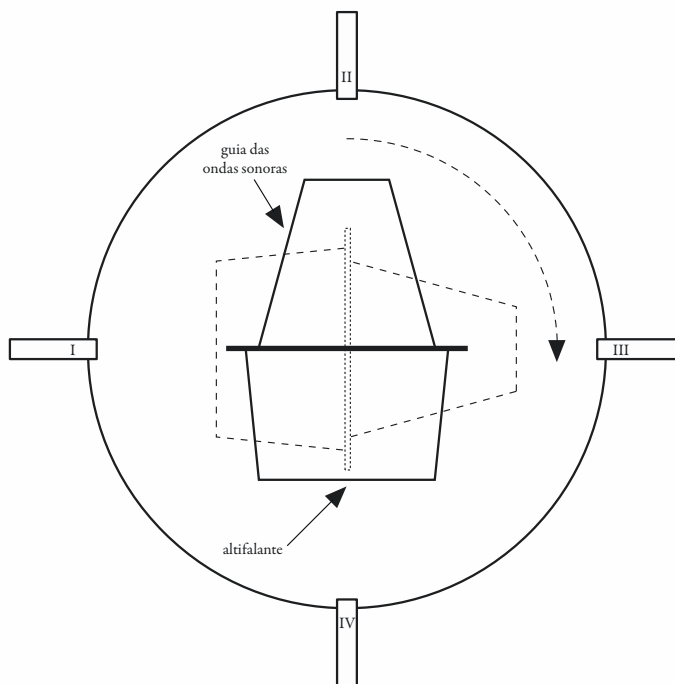


Figura 2.12. Esquema da mesa de espacialização utilizada para a concepção de *Kontakte* [1958-1960], de Karlheinz Stockhausen.

Esta mesa rotativa permite a gravação de sinais que incluem tanto diferenças de intensidade como diferenças de tempo de chegada aos vários microfones. Dado que a mesa rotativa pode atingir velocidades angulares da ordem das sete rotações por segundo ⁷¹, estas diferenças de tempo de chegada provocam desfasamentos e efeito de Doppler ⁷² (Maconie, 1990). Estes efeitos, que surgem a altas velocidades angulares, são impossíveis de replicar apenas com a tradicional espacialização baseada na manipulação de amplitudes. A rotação física de um altifalante havia sido anteriormente utilizada no desenvolvimento do altifalante Leslie para os órgãos Hammond ⁷³, e foi posteriormente implementada, em maior escala, por Edwin van der Heide e Marnix de Nijs na instalação interactiva *Spatial Sounds (100 dB at 100km/h)* [2001]. A solução de Stockhausen distingue-se, no entanto, por ser uma ferramenta de espacialização destinada não à difusão mas ao processo de composição da obra. O altifalante rotativo, que será reutilizada em *Sirius* [1975-1977], é então uma das mais importantes marcas originais de Stockhausen na abordagem à espacialização neste primeiro período da sua produção (Miller, 2009), tendo só recentemente sido conseguida a sua completa implementação em ambiente digital ⁷⁴ (Peters, Braasch, & McAdams, 2011a).

O movimento das massas sonoras no espaço — que, neste caso, é independente do aspecto performativo em concerto, não obstante o seu modo de execução em estúdio — torna-se assim num parâmetro musical de importância idêntica à dos movimentos harmónico, melódico, tímbrico e rítmico, sendo a sua percepção interdependente da destes. Indo além das articulações entre fontes estáticas — como as que acontecem, e.g., em *Antiphony I* [1953], de Henry Brant ou *Gruppen* [1955–1957], do próprio Stockhausen —, são, em *Kontakte*, as interferências do movimento nos restantes parâmetros musicais que os articulam e lhes dão forma. Nas palavras do próprio compositor:

Our perspective of musical space is utterly frozen and has led to a music in which the movement and direction of sound in space has no function. But the moment we have the means to move sound with any given speed in a given auditorium, [...] movement in space of music becomes as important as the composition of its melodic lines and its rhythmic characteristics. (Stockhausen, 1989, pp. 102-103)

O período intermédio da produção de Stockhausen (de c. 1966 a c. 1976) é caracterizado por uma simplificação dos processos de composição e tem como eixo a Exposição Mundial de Osaka, em 1970. A participação da Alemanha Ocidental neste evento centra-se na construção de um auditório esférico, sob a

⁷¹ Acima do limite de percepção da localização neste tipo de movimentos, em consequência do efeito de persistência da localização, que será descrito no subcapítulo 3.7.3.

⁷² Variação da frequência dos sons emitidos por fontes sonoras em movimento face ao ouvinte, efeito que será apresentado no subcapítulo 3.6.1.

⁷³ <http://hammondorgan.co.uk/page5/page5.html>

⁷⁴ Utilizando o ViMiC, uma técnica de espacialização baseada na colocação de microfones virtuais num espaço também ele virtual. Será apresentada no subcapítulo 4.6.4.

forma de um domo geodésico ⁷⁵, utilizado durante os seis meses da exposição para a difusão de obras de vários compositores da herança musical germânica. Tendo sido construído sob a sua direcção (Stockhausen, 1989), a programação inclui cinco horas e meia diárias com música de Stockhausen. São instalados 50 altifalantes, distribuídos por sete elevações diferentes, em círculos de cinco no par superior e inferior e círculos de dez nas três elevações intermédias (figura 2.13). Entre a terceira e a quarta elevação, de baixo para cima, uma plataforma acusticamente transparente suporta o público (Stockhausen, 1971). Este pavilhão torna assim possível a materialização de algumas das ideias que Stockhausen havia lançado uma década antes (Stockhausen, 1958).

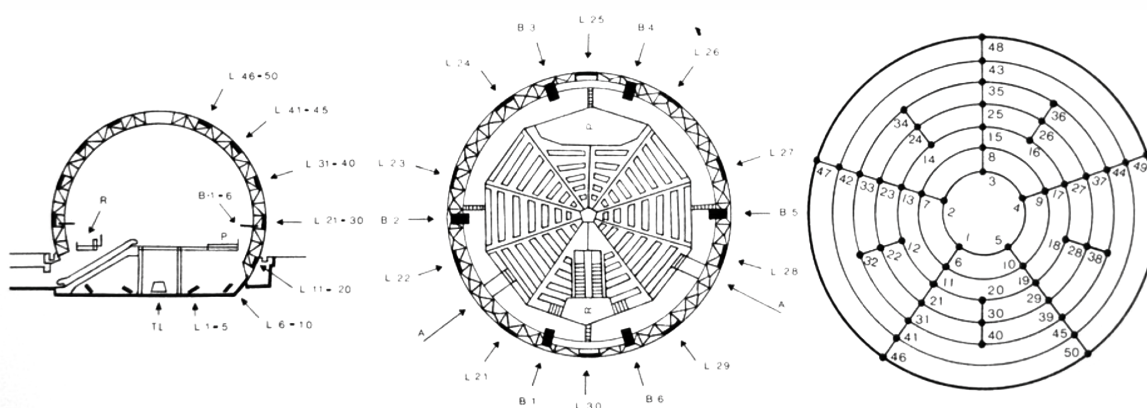


Figura 2.13. Esquema do Pavilhão da Alemanha Ocidental em Osaka'70. Legenda: A - saída; L - altifalante; B - balcão do solista; P - pódio dos músicos; R - mesa de controlo; TL - altifalante de baixa frequência. Na partitura de *Spiral* [1968], de Karlheinz Stockhausen.

Para controlar o movimento dos sons no espaço do pavilhão, a Siemens ⁷⁶ desenvolve um controlador da direcção do som no espaço conhecido como *sound mill*. Este é usado para distribuir um sinal monofónico por um círculo de dez altifalantes através da rotação de uma pequena roda semelhante à de um moinho de café, o que permite atingir velocidades angulares de até cinco rotações por segundo ⁷⁷. Em conjunto com a mesa de mistura, este dispositivo torna assim possível, e.g., colocar uma voz captada por um microfone a descrever “um movimento em espiral ascendente por dois ou três minutos [...], enquanto o som de outro intérprete é colocado em movimento circular por outro *sound mill* e um terceiro som cruza o espaço numa linha recta, utilizando apenas dois potenciómetros” ⁷⁸ (Stockhausen, 1989).

⁷⁵ O domo geodésico é uma marca da arquitectura da época, sobretudo depois da construção, pelo arquitecto Buckminster Fuller, do pavilhão americano da Exposição Mundial de Montréal, em 1967, hoje conhecido como *Montréal Biosphère*.

⁷⁶ Grande fabricante Alemão de equipamentos electrónicos, entre outros.

⁷⁷ Próximas, como tal, do limite de percepção da localização neste tipo de movimentos, em consequência do efeito de persistência da localização, que será descrito no subcapítulo 3.7.3.

⁷⁸ “For example, I could decide to make a voice go in an upward spiral movement for two or three minutes, either clockwise or anti clockwise, while at the same time another player’s sound moved in a circle using the other soundmill, and a third crossed in a straight line, using just two potentiometers.”, no original (Stockhausen, 1989).

Hinab-Hinauf [1968], uma grande obra multimédia para ensemble, meios electroacústicos, filme e projecção de luzes, é pensada propositadamente para o pavilhão de Osaka (Stockhausen, 1971). Não chega, contudo, a ser concretizada por ser preterida pelo comité de organização da participação alemã em favor da difusão de outras obras com meios menos complexos (Maconie, 1990). No entanto, o seu título — literalmente, *para baixo-para cima* — ilustra a importância da abertura, pelo novo auditório, da dimensão vertical que havia sido frustrada em *Gesang der Jünglinge*. Esta dimensão expande grandemente o vocabulário geométrico na abordagem ao espaço, permitindo, e.g., a transformação de rotações circulares em espirais ascendentes ou descendentes.

Várias obras de Stockhausen são difundidas no auditório de Osaka no decorrer da exposição. Entre elas está *Telemusik* [1966], composta nos estúdios da rádio do Japão (NHK), na qual Stockhausen usa pela primeira vez meios electrónicos para controlar a espacialização, outra marca deste período intermédio (Overholt, 2006). Este período inclui ainda *Mantra* [1970], para dois pianos e modulação em anel, e uma série de obras processuais sobre sons difundidos por rádios de ondas curtas⁷⁹. Desta série, *Spiral* [1968] será a mais notável e aquela cujo título mais fortemente remete para a questão espacial e, em concreto, para a introdução da sua componente vertical. A espiral é, aliás, uma figura que marcará profundamente o seu pensamento composicional posterior (Overholt, 2006). *Spiral* é interpretada mais de 1300 vezes no decorrer da exposição por vários intérpretes, incluindo o próprio compositor (Stockhausen, 1971). Não existe, contudo, uma documentação precisa sobre a forma como a difusão desta e de outras obras é pensada, já que ela é improvisada pelo próprio Stockhausen e por um grupo de intérpretes que o rodeiam nesta época (Stockhausen, 1971). Esta comparativa falta de documentação contrasta com a profusa cristalização do pensamento sobre a espacialização de obras anteriores, como, e.g., *Kontakte* [1958-1960], ou posteriores, como, e.g., *Oktophonie* [1990-1991]. É possível perceber, contudo, através da análise da evolução do seu pensamento espacial posterior, que a utilização da espacialização como articulação do material musical se mantém um elemento central da sua produção. Rolf Gehlhaar, compositor que acompanha Stockhausen durante o período de residência em Osaka, confirma a natureza geométrica da improvisação do movimento espacial neste pavilhão: a articulação da componente espacial ao vivo permite a imposição de uma morfologia sobre fontes de material sonoro imprevisível, tal como o que é gerado pelo intérprete em *Spiral*⁸⁰.

Poucas experiências terão tido um impacto tão significativo na carreira de Stockhausen como a de Osaka, consequência da oportunidade única de ter um auditório construído, segundo as suas especificações, para

⁷⁹ Fonte de imprevisibilidade sonora anteriormente utilizada por John Cage em *Imaginary Landscape No. 4* [1951], para doze aparelhos de rádio.

⁸⁰ Este testemunho de Rolf Gehlhaar foi recolhido pessoalmente, no decorrer de várias conversas pessoais sobre música, composição e sobre a figura de Karlheinz Stockhausen.

interpretação das suas obras durante um total de cerca de 1000 horas ⁸¹ concentradas num curto período de seis meses. O edifício foi destruído depois da exposição, apesar das tentativas de Stockhausen para o trazer para a Europa (Stockhausen, 1989). Apesar disso, parte das ideias inerentes à sua construção estão hoje presentes em auditórios construídos para a difusão de música electroacústica como, e.g., o *Sonic Lab* do *Sonic Arts Research Centre* (SARC), em Belfast. Este auditório, inaugurado pelo próprio Stockhausen em 2004, inclui uma plataforma acusticamente transparente e círculos de altifalantes dispostos em vários níveis, tanto acima como abaixo do local destinado ao público.

O período de maturidade (de c. 1977 a 2007) de Karlheinz Stockhausen é marcado pela composição de *Licht* [1977-2003], um ciclo de sete óperas que totalizam 29 horas de música. Partes significativas de *Licht* podem ser interpretadas como obras independentes. Destas, Sara Ann Overholt identifica *Oktophonie* [1990-1991] e *Helikopter-Streichquartett* [1992-1993] ⁸², como exemplos paradigmáticos do pensamento espacial deste período (Overholt, 2006). Como o próprio nome indica, em *Oktophonie* Stockhausen utiliza oito altifalantes, que são todavia dispostos em cubo (figura 2.14) e não na comum disposição octogonal, que o próprio havia utilizado em secções anteriores de *Licht* como, e.g., *Sirius* [1975-1977] (Stockhausen, 1993).

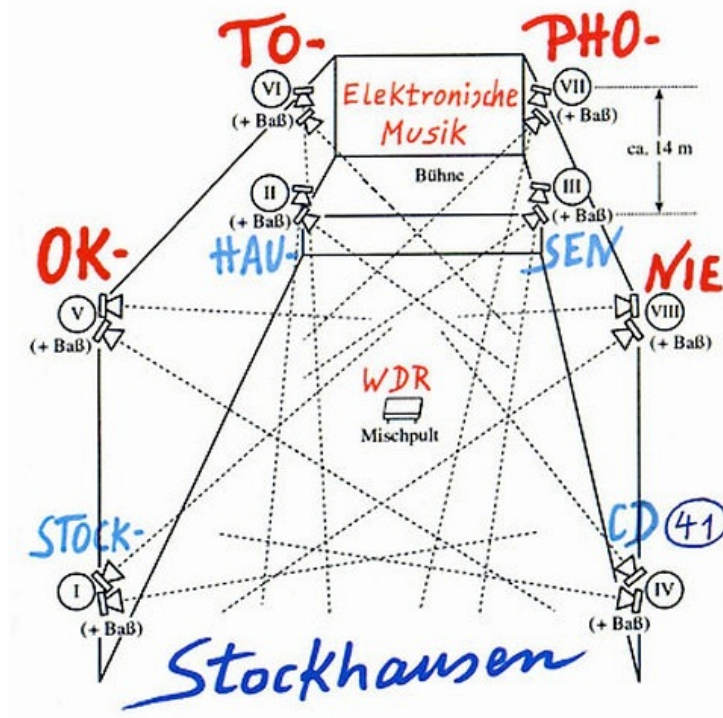


Figura 2.14. Trajectórias espaciais de *Oktophonie* [1990-1991], de Karlheinz Stockhausen. Na capa do CD com a redução estereofónica da mesma obra.

⁸¹ 5 horas e meia por dia, durante 183 dias (Wörner, 1973).

⁸² Respectivamente, partes de *Dienstag* e *Freitag*.

Esta disposição permite a composição de “movimentos verticais e diagonais” que, segundo o compositor, são aqui “compostos pela primeira vez, em conjunto com os movimentos horizontais da anterior música electrónica para 4 e 8 canais”⁸³ (Stockhausen, 1993). Utilizados para retratar a batalha cósmica entre o arcanjo *Michael* e *Lucifer*, este tipo de movimentos já tinha, na realidade, sido utilizado em obras de outros compositores como, e.g., em *Archipelago* [1982-1983], de Roger Reynolds⁸⁴. Contudo, os gestos espaciais ganham em *Oktophonie* a importância de elemento primordial, em função dos quais todos os outros se articulam (Overholt, 2006). “Sobrepondo várias camadas” de gestos espaciais, “cada uma com o seu movimento espacial complexo, Stockhausen cria uma rica polifonia de movimento espacial”⁸⁵ (Clarke & Manning, 2008). A quase totalidade do seu artigo sobre a concepção da obra (Stockhausen, 1993) é, aliás, dedicada à espacialização. Este elemento é, contudo, o último a ser concretizado no processo de composição da obra, tendo lugar apenas após a concepção de todo o material sonoro. Segundo o próprio:

The simultaneous motions [...] make it clear that with Octophony a new dimension of musical-spatial composition has opened. In order to be able to hear such motions — above all, simultaneous ones — the musical rhythms must be drastically slowed down; the pitches must change only very occasionally, and only in small steps or with glissandos; amplitude composition is completely bound up with the audibility of the individual layers — and therefore is dependent on the tone colors of the layers and on the tempo of their motions; tone-color composition primarily serves the clarification of these motions. (Stockhausen, 1993, p. 163)

Esta perspectiva expande o pensamento espacial anterior de Stockhausen e inaugura, de facto, o que parece ser uma nova forma de ver a espacialização enquanto parâmetro musical: já não confinada nem ao papel de veículo de intenções musicais que lhe são alheias, nem ao de elemento articulante (ou mesmo disruptivo) dos restantes parâmetros musicais, a espacialização emancipa-se e torna-se o elemento estruturante do discurso musical, em torno do qual circulam — ou para o qual confluem — os parâmetros tradicionais. Não obstante, as suas obras espaciais estão disponíveis em versões estereofónicas, reflectindo a limitação do ubíquo CD, privilegiando neste caso o potencial de disseminação em detrimento da inteligibilidade da componente espacial.

Na obra *Cosmic Pulses* [2006-2007], parte do seu último ciclo *Klang* [2004-2007], um processo análogo ao de *Oktophonie* é aplicado à espacialização para uma octofonia, desta feita horizontal⁸⁶. Só depois de

⁸³ “*In this music there have been composed for the first time vertical and diagonal movements, alongside the horizontal movements of previous four- or eight-channel electronic music.*”, no original (Stockhausen, 1993, p. 151).

⁸⁴ Obra que será apresentada no subcapítulo 2.3.1.

⁸⁵ “*By superposing several layers each with their own complex spatial movement, Stockhausen creates a rich polyphony of spatial movement.*”, no original (Clarke & Manning, 2008, p. 186).

⁸⁶ I.e., oito colunas dispostas em octógono.

concretizado o material sonoro das 24 camadas sobrepostas desta peça electroacústica é que Stockhausen desenvolve 241 trajectórias no espaço (figura 2.15) para as espacializar. Estas trajectórias são definidas como cadeias de segmentos de recta, com os elos em pontos definidos pelos altifalantes, e são percorridas em ciclo, mimetizando a órbita de corpos celestes.

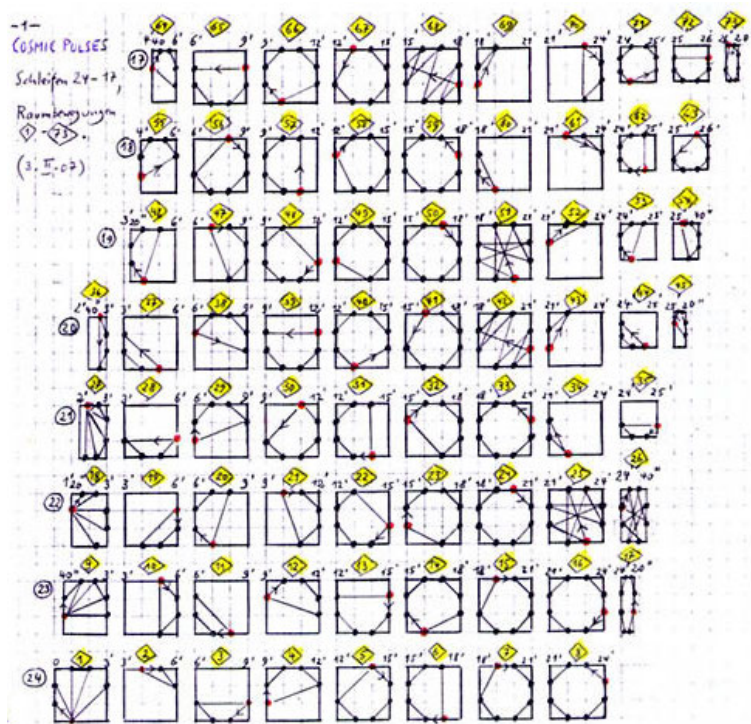


Figura 2.15. Primeira página das 241 trajectórias no espaço definidas por Karlheinz Stockhausen para *Cosmic Pulses* [2006-2007]. No CD com a redução estereofónica da mesma obra.

Esta espacialização — concretizada por Joachim Haas e Gregorio Karman, do *Experimental Studio for Acoustic Art*, de Freiburg — é assim feita entre pares de altifalantes para cada segmento da cadeia, colocando em evidência a sua posição. É desenvolvida uma ferramenta de espacialização personalizada, que recebe o nome de Okteg e que reflecte a história das contribuições de Karlheinz Stockhausen para a espacialização na música electroacústica, quase cinquenta anos volvidos sobre *Musik im Raum* (Stockhausen, 1958):

The OKTEG [...] merges different ideas present in former devices such as the QUEG, the Rotationsmühle⁸⁷, or the Rotationstisch⁸⁸, all related to previous works composed by Stockhausen. The QUEG (Quadrasonic Effects Generator), a four-channel

⁸⁷ Referido neste documento como *sound mill*.

⁸⁸ A mesa de espacialização utilizada para a concepção de *Kontakte* [1958-1960] e mais tarde adaptada como altifalante rotativo para *Sirius* [1975-1977].

spatialization unit - designed by Tim Orr and manufactured by EMS in 1975 - was used by Stockhausen in OKTOPHONIE (1990/1991). The OKTEG resembles the QUEG for being a spatial step sequencer, as well as in its LED-based visual feedback system. [...] Like in the Rotationsmühle [...] the OKTEG provides the performer with manual control of rotation velocity, and different routings are accomplished by means of matrix programs. The Rotationstisch, first used as a spatialization instrument in KONTAKTE, was later further developed for exploring the artifacts, which appeared at very high rotation speeds. Following this idea, the OKTEG provides with sample accurate trajectories and arbitrary high rotation speeds, assisting the exploration of a continuum linking space and timbre. (García-Karman, 2007, pp. 2-3)

2.3.1 A Programação no Processo de Composição

Vários compositores se interessam pelo potencial da música por computador desde os seus desenvolvimentos pioneiros na década de 1950 ⁸⁹. Este terreno fértil de oportunidades para a criação de novos sons e de novas abordagens à composição exige, contudo, que os compositores dediquem uma parte substancial do seu tempo não só a aprofundar os seus conhecimentos sobre assuntos já familiares à composição — como, e.g., a acústica e a matemática —, mas também a explorar novos territórios — como o processamento de sinais digitais e a programação de computadores. Estes novos conhecimentos levam vários compositores a integrar a criação das suas próprias ferramentas digitais como parte do seu processo de composição ⁹⁰.

Reconhecido pela invenção da síntese por modulação de frequência (FM) (Chowning, 1973), John Chowning pertence a este grupo de compositores que alia de forma profunda as suas demandas estéticas com a investigação e o desenvolvimento de novas técnicas. O seu trabalho, pioneiro na espacialização do som através da manipulação de áudio digital em computador, abre o caminho para uma generalização da abordagem à espacialização, materializada na concepção de um *software* capaz de manipular a percepção da direcção, da distância e da velocidade de uma fonte sonora ⁹¹ (Chowning, 1971). Chowning identifica, aliás, a espacialização do som como um dos elementos primordiais do seu interesse pela computação musical, origem de “um número de perspectivas sobre a percepção que levaram não apenas à [sua]

⁸⁹ Entre os quais se destaca a série de linguagens de programação para síntese digital de áudio MUSIC-N (hoje conhecida como Csound), iniciada por Max Mathews nos Bell Laboratories em 1957 e determinante na disseminação da música por computador. O seu artigo seminal *The Digital Computer as a Musical Instrument* (Mathews, 1963) é um marco responsável pela atracção de vários compositores para a música por computador como, e.g., Jean-Claude Risset e John Chowning.

⁹⁰ Razão que leva a que seja hoje comum a integração de disciplinas ligadas à programação musical nos cursos superiores de composição.

⁹¹ Este *software* será apresentado no subcapítulo 4.6.1.

descoberta da síntese FM”, como também “enriqueceram a [sua] forma de pensar a música desde então” ⁹² (Chowning, 2011). Reflexo disto mesmo é *Sabelithe* [1971], a sua primeira obra feita com meios informáticos e, simultaneamente, tanto a estreia em música da síntese FM como a primeira utilização da espacialização por computador.

A obra que Chowning identifica como aquela em que as duas linhas de investigação confluem de forma decisiva é, contudo, *Turenas* [1972] (Chowning, 2011). É também esta a obra na qual introduz o efeito de Doppler como elemento da composição. Este é um elemento importante não apenas na percepção da velocidade das fontes sonoras, como também na percepção da sua distância, dado que a variação de frequência ajuda a pôr em evidência a reverberação (Chowning em Zelli, 2010), também simulada pelo *software*. A possibilidade de simulação da distância e velocidade das fontes sonoras permitem assim a exploração de movimentos complexos que se aproximam e afastam dos ouvintes descrevendo curvas de Lissajous (figura 2.16). Não obstante o facto de o efeito de Doppler ser uma consequência inevitável da técnica de espacialização utilizada por Stockhausen em *Kontakte* [1958-1960], *Turenas* é, ainda hoje, a principal referência na utilização deste efeito na espacialização da música electroacústica. Embora se mantenha como o seu principal estudo sobre a espacialização, Chowning continuará a utilizar elementos deste *software* e a espacialização com recurso a quadrifonia em obras subsequentes como, e.g., *Stria* [1977] e *Phoné* [1980-1981].

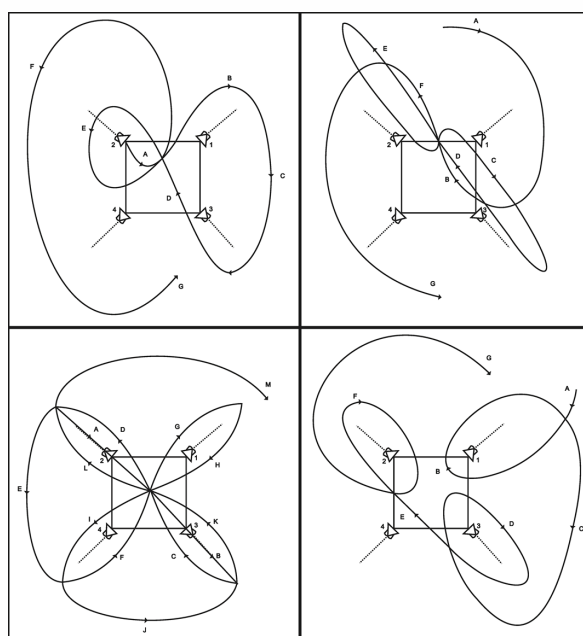


Figura 2.16. Curvas de Lissajous utilizadas no movimento espacial do primeiro minuto de *Turenas* [1972], de John Chowning (Zelli, 2009).

⁹² “Illusory motion of sound in space was a musical goal from the very beginning of my work with computers, a goal that led to a number of perceptual insights that not only set up my discovery of FM synthesis but insights that have enriched my thinking about music ever since.”, no original (Chowning, 2011, p. 1).

Para poucos compositores será a espacialização um elemento tão definidor do seu trabalho como para Roger Reynolds, em cujas notas biográficas as questões do espaço e do áudio multicanal aparecem, de modo geral, em lugar de destaque. Se desde cedo trabalha a espacialização na música instrumental (Gabel, 1985) — como, e.g., na obra *Threshold* [1968] — é na década de 1970 que começa a trabalhar a espacialização na música electroacústica, compondo a sua série de obras conhecidas como *Voicespace* [1975-1986]⁹³. Estas obras utilizam a voz como elemento primordial, já que, dado o nosso conhecimento profundo sobre “o comportamento da voz — sussurros íntimos, raiva à distância —”, esta se torna “um veículo ideal para ilusões espaciais auditivas”⁹⁴.

As duas primeiras obras do ciclo — *Still* [1975] e *A Merciful Coincidence* [1976] — são concretizadas com meios analógicos nos estúdios da *University of California, San Diego* (UCSD). Só depois da visita a John Chowning, em Stanford, no final da década de 1970, é que Reynolds começa a investigar o potencial do processamento digital de sinal e do controlo por computador na espacialização (Zvonar, 2004). Esta linha de investigação dará origem não só às restantes obras do ciclo e a outras obras com espacialização, como também mais tarde, na década de 1990, ao projecto *Toward Real-time Audio Spatialization Tools* (TRAnSiT), no qual colaboram outros investigadores da UCSD (Licata, 2009), como, e.g., Miller Puckette, conhecido como o criador de ambientes de programação como o Max⁹⁵ e o Pure Data⁹⁶.

Da ferramenta desenvolvida por John Chowning, Reynolds retém a importância de elementos relevantes para a psicoacústica da audição espacial, como, e.g., a reverberação, a absorção atmosférica e a direccionalidade das fontes sonoras. Porventura mais importante para o seu próprio pensamento composicional, retém também uma visão geométrica dos movimentos no espaço, concretizada pela manipulação em simultâneo dos parâmetros referidos em função de um caminho desenhado num espaço que transcende o circunscrito pelos altifalantes (figura 2.17).

⁹³ *Still* (*Voicespace I*) [1975], *A Merciful Coincidence* (*Voicespace II*) [1976], *Eclipse* (*Voicespace III*) [1979], *The Palace* (*Voicespace IV*) [1980] e *The Vanity of Words* (*Voicespace V*) [1986].

⁹⁴ “Since each of us knows so much about the behavior of the voice - intimate endearments, rage at a distance - it is an ideal vehicle for auditory spatial illusions (all the more when in the service of language and its powers of invocation).”, nas notas de programa do CD *Voicespace* (1993).

⁹⁵ <http://cycling74.com/products/max/>

⁹⁶ <http://puredata.info>

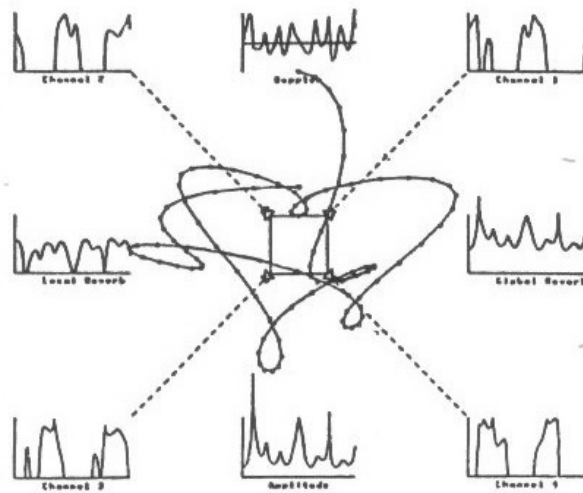


Figura 2.17. Exemplo da movimento espacial de *The Palace* (*Voicespace IV*) [1980], de Roger Reynolds (Gabel, 1985).

É esta visão geométrica que informa a sua urgência na criação de ferramentas que possam servir como modelos para a exploração da espacialização (R. Reynolds, 1978). Se, no final da década de 1970, existe já “o equipamento e muita da informação perceptual” necessárias à exploração da “geometria do som”, falta uma “estratégia informada”, dado não existir ainda uma “gramática [...] para o movimento dos sons em espaços” ⁹⁷ (R. Reynolds, 1978). A articulação entre o desenvolvimento de um vocabulário para o tratamento geométrico do espaço e o desenvolvimento de ferramentas para a sua concretização é então uma marca do trabalho de Roger Reynolds nas décadas seguintes.

Parte deste trabalho será desenvolvido no IRCAM, onde Reynolds chega no início da década de 1980, tendo a oportunidade de acompanhar os desenvolvimentos técnicos para a obra *Répons* [1981-1984], de Pierre Boulez. Em *Archipelago* [1982-1983], Reynolds utiliza o mesmo sistema de espacialização desenvolvido para *Répons*, todavia sem a espacialização em tempo real e com uma configuração de altifalantes tridimensional: uma disposição quadrifônica no tecto e outra no chão, com uma rotação em 45° entre ambas (figura 2.18). A este sistema junta-se uma orquestra de câmara com 32 elementos.

⁹⁷ “The equipment and much of the perceptual information that would allow an orderly examination of the geometry of sound already exists; what is lacking is informed strategy. Moreover, no grammar is on hand, however rudimentary, for the movement of sounds in spaces.”, no original (R. Reynolds, 1978, p. 183).

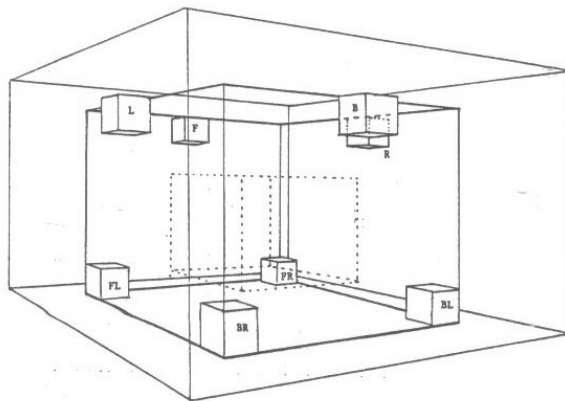


Figura 2.18. Disposição dos altifalantes em *Archipelago* [1982-1983], de Reynolds. As três caixas representam três distâncias: próxima, normal ou distante (Gabel, 1985).

A espacialização em *Archipelago* é centrada em sons que cruzam o espaço partindo de e para um ponto distante. O sistema de espacialização é expandido por forma a incluir o controlo em tempo real da reverberação, permitindo assim a manipulação da percepção da distância dos sons entre três categorias: próxima, normal ou distante. A figura 2.19 ilustra o movimento de um som que se traduz na chegada de um som distante vindo de cima, a sua queda no chão, à frente, e a sua saída pelo meio da parede de trás. Nas palavras do compositor, “a metáfora líquida que adoptei permite a visão do som como um meio fluído que emana de um ponto espaço, se espalha — porventura envolve o ouvinte — e depois se contrai novamente para uma posição final diferente”⁹⁸ (Reynolds citado por Gabel, 1985).

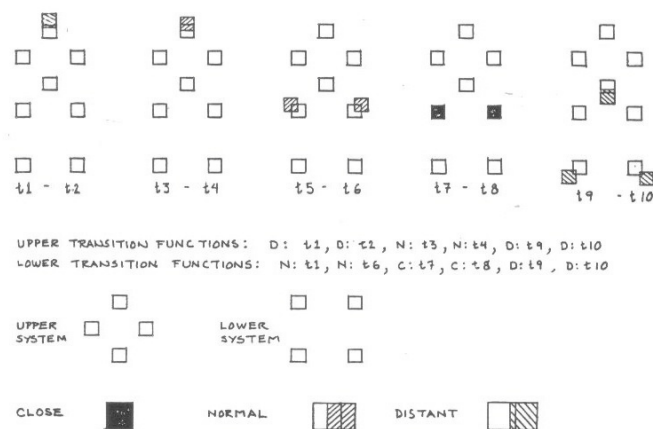


Figura 2.19. Notação de um percurso sonoro de *Archipelago* [1982-1983], de Roger Reynolds. Da esquerda para a direita: o som aparece em F distante; aproxima-se de F; aproxima-se de FL e FR; é próximo em FL e FR; é distante em B, BR e BL (Gabel, 1985).

⁹⁸ “The liquid metaphor I adopted allows one to view sound as a fluid medium that can emanate from one point in space, spread out - perhaps surrounding the listener - and then contract again into a different final position.”, no original (Gabel, 1985, p. 13). Citação indirecta dado tratar-se de uma citação a partir de um manuscrito não publicado.

Este método de criação de percursos espaciais permite o desenvolvimento de um vasto vocabulário de gestos espaciais que, por sua vez, podem ser utilizados para a criação de um contraponto de cruzamentos no espaço (Gabel, 1985). Assim, se o ponto de partida de *Archipelago* é próximo do de *Répons*, pela utilização do mesmo sistema e pela equipa de desenvolvimento em comum, o pensamento sobre o movimento no espaço tem uma clara origem na geometria deste último, em contraste com a articulação do espaço pela envolvente dos sons acústicos na obra de Boulez.

Watershed IV [1995], para percussão e espacialização em tempo real, é uma obra paradigmática por ser a primeira utilização da espacialização em tempo real com o TRAnSiT. Este projecto nasce da vontade de dotar um *software* análogo ao desenvolvido por John Chowning da possibilidade de controlo em tempo real introduzida pelo sistema do IRCAM. Nesta época, o TRAnSiT consiste, aliás, num computador capaz de controlar uma matriz de endereçamento de áudio em tempo real (Zvonar, 2004), mimetizando o sistema desenvolvido no IRCAM. Em *Watershed IV*, as diversas famílias de instrumentos de percussão são dispostas não no sentido tradicional (i.e., o de tornar mais fácil a execução), mas, pelo contrário, no sentido de obrigar o instrumentista a descrever movimentos no espaço que servem, através da sua geometria, como elemento gerador e aglutinador dos gestos musicais (Licata, 2009). Retomando uma forma que já havia inspirado tanto Stockhausen, no pavilhão de Osaka, como Xenakis, em *Terretektorh* [1965-1966], a espiral é aqui um elemento central a toda a obra, incluindo na divisão formal em duas grandes secções, uma descrevendo uma espiral ascendente e outra descrevendo uma espiral descendente, numa relação definida pela proporção áurea⁹⁹ (Licata, 2009).

Durante a execução de *Watershed IV*, os instrumentos de percussão são captados por diversos microfones, cujos sinais são endereçados para altifalantes em torno do público (figura 2.20). Esta abordagem permite uma projecção do som no espaço enquanto amplificação do gesto do instrumentista, numa abordagem que só não é idêntica à do *pupitre d'espace* de Pierre Schaeffer porque é a própria definição do movimento espacial que informa a criação da morfologia sonora e porque o mapeamento da posição não é uma expansão directa do gesto do intérprete. Não obstante, o benefício para a audição espacial dos ouvintes, conseguido pela simultaneidade com a visualização do gesto do instrumentista, é também um dos objectivos desta abordagem (Licata, 2009). A espacialização em tempo real é utilizada sobre esta difusão para a criação de uma ou mais camadas de contraponto espacial, utilizando não só a rotação e a permutação de canais de endereçamento, mas também a criação de trajectórias que ligam os altifalantes (Licata, 2009).

⁹⁹ Proporção utilizada na arte desde a antiguidade, designada pela letra ϕ , que dita que o tamanho de duas partes a e b se deve relacionar de modo a que $(a + b) / a = a / b$.

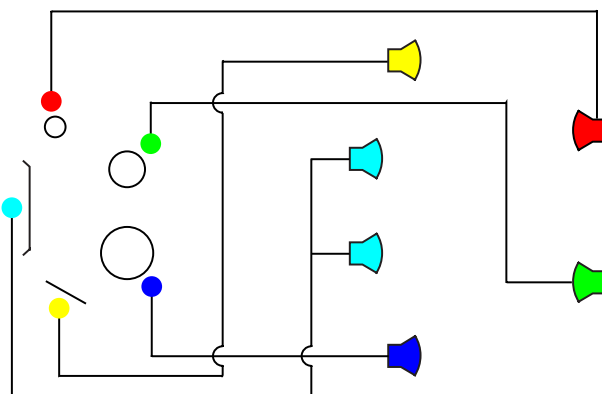


Figura 2.20. Esquema de endereçamento dos microfones (círculos coloridos) em torno dos instrumentos de percussão para os altifalantes em torno do público na obra *Watershed IV* [1995], de Roger Reynolds.

Um dos pontos de partida de *auditorium* [2012], para um improvisador com pequenos instrumentos de percussão e electrónica em tempo real, é também a criação de camadas de contraponto espacial utilizando a rotação e trajectórias que ligam os altifalantes, sobrepondo um espaço externo ao espaço interno dos gestos musicais gravados ao vivo pelo performer. Nesta peça, o performer utiliza um par de microfones binaurais colocados no interior do seu pavilhão auditivo para, tal como em *in many, many ears* [2011], captar gestos musicais que são depois amplificados por um sistema multicanal disposto em torno do público. No entanto, esta difusão acontece aqui de forma diferida: os sons ténues dos instrumentos são primeiro gravados — enquanto o público praticamente só vê a performance — e depois difundidos pelos altifalantes — altura em que público apenas ouve o resultado da performance. Este processo, que vai sendo alterado ao longo da peça, reflecte a construção em diferido dos gestos musicais e dos gestos espaciais que acontece em muitas das obras nas quais o espaço é abordado de forma geométrica, como, e.g., em *Oktophonie* [1990-1991] e *Cosmic Pulses* [2006-2007], de Karlheinz Stockhausen. Como nestas peças de Stockhausen, o resultado final de *auditorium* consiste na difusão simultânea de várias camadas sonoras que são articuladas e segregadas pelos seus diferentes movimentos no espaço.

2.3.2 O Vocabulário do Movimento Espacial

Trevor Wishart destaca-se entre os compositores que utilizam a geometria do espaço pelo facto de “não apenas incluir o movimento como um elemento primordial no seu trabalho composicional, mas também por tentar categorizá-lo teoricamente”¹⁰⁰ (Zelli, 2009), respondendo assim ao repto lançado por Roger Reynolds (R. Reynolds, 1978). O início desta construção de uma linguagem musical para articulação do espaço dá-se, como antes acontecera com Reynolds e as suas *Voicespace* [1975-1986], com a composição do

¹⁰⁰ “Trevor Wishart is perhaps the only composer who not only includes movement as a main element in his compositional work, but also tries to categorize it theoretically.”, no original (Zelli, 2009, p. 7).

seu ciclo de seis peças sobre a voz humana: *Vox 1* [1980-1982], *Vox 2* [1982-1984], *Vox 3* [1985-1986], *Vox 4* [1987], *Vox 5* [1979-1986] e *Vox 6* [1988]. Destas, *Vox 1* e *Vox 5* têm uma importante componente de espacialização, sendo a primeira centrada na utilização da espacialização como elemento adicional de articulação e segregação do material musical. *Vox 1* “inicia-se com uma corrente indistinta de sons vocais [...] que se divide em 2, e depois 4, tanto sonoramente como [...] espacialmente, evoluindo para um contraponto de articulações detalhadas destes sons e a emergência gradual da fala”¹⁰¹.

É a este movimento no espaço como forma de criar variação sobre o material musical que Wishart dedica a parte mais significativa do capítulo sobre movimento espacial do seu livro *On Sonic Art* (Wishart, 1996, pp. 191-235). Assumindo uma grelha de nove posições que um ouvinte no centro do espaço consegue distinguir (figura 2.21), Wishart inicia então uma minuciosa análise qualitativa dos tipos de movimentos que, por serem facilmente percebidos pelos ouvintes, podem ser utilizados pelos compositores como forma de articular o material sonoro.

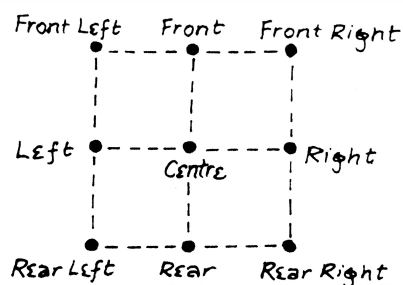


Figura 2.21. Grelha com nove posições espaciais distinguíveis (Wishart, 1996).

Os movimentos mais simples são os directos, ligando qualquer uma das nove posições a qualquer uma das outras em linha recta e num período de tempo finito. Quando passam pelo centro sem se deter e sem manter a mesma direcção¹⁰², são, segundo Wishart, percebidos como arcos. Os movimentos circulares são “o primeiro tipo de movimento que é (potencialmente) cíclico”¹⁰³ (Wishart, 1996) e que permite a combinação com outros movimentos para criar classes diferentes de movimento. Wishart distingue ainda os movimentos circulares dos movimentos oscilatórios — i.e., que descrevem um movimento cíclico entre dois pontos alternando sentidos —, dos movimentos em espiral e dos movimentos em figura de 8. Quando são combinados dois tipos movimentos, gera-se um movimento duplo cuja morfologia depende do facto de o segundo elemento ser interno ou externo ao primeiro (figura 2.22).

¹⁰¹ “It begins with a seamless stream of vocal sounds, emerging from the tape sounds. This divides into 2, then 4, both sonically and (in the live version) spatially, leading to the counterpointing of detailed articulations of these sounds, and the gradual emergence of speech.”, nas notas de programa do CD *The Vox Cycle* (1990).

¹⁰² Ligando, e.g., a posição *front left* (literalmente, frente esquerda) à posição *rear left* (literalmente, traseira esquerda) passando pelo centro.

¹⁰³ “Next we must consider circular motion. This is the first example of a motion type which is (potentially) cyclic.”, no original (Wishart, 1996, p. 206).

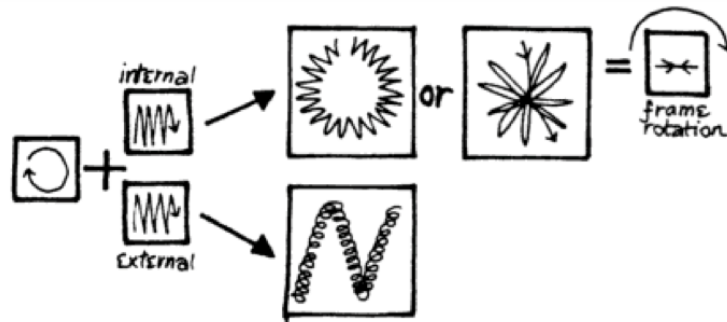


Figura 2.22. Movimentos duplos: adições de movimentos internos ou externos a um movimento inicial (Wishart, 1996).

A percepção da qualidade do movimento é dependente da sua velocidade: de movimentos lentos que são percebidos como meras deslocações até movimentos rápidos que sugerem urgência. Sendo um movimento uma deslocação tanto no espaço como no tempo, Wishart debruça-se de seguida sobre a questão do tempo, identificando três tipos de propriedades: as de primeira ordem — que dizem respeito às diferentes velocidades do movimento —, as de segunda ordem — que dizem respeito à aceleração do movimento — e as de terceira ordem — que dizem respeito às mudanças da aceleração no tempo. A sua visão sobre a aceleração é particularmente interessante, no sentido em que a identifica como responsável por uma maior sensação de intencionalidade no movimento — no caso da aceleração — ou de resolução espacial¹⁰⁴ — no caso da desaceleração. As seis classes de movimento que identifica são então: constante (i.e., sem aceleração), acelerando, desacelerando, acelerando-desacelerando, desacelerando-acelerando e irregular. Estes contornos temporais permitem a concretização de movimentos elásticos (figura 2.23), que Wishart, curiosamente, descreve de forma dinâmica (i.e., tendo em consideração as forças que causam o movimento), ao invés de cinemática: “como se o objecto sonoro fosse atirado do seu ponto de origem preso a um elástico cuja tensão faz abrandar o movimento e depois o acelera de novo em direcção à fonte”¹⁰⁵ (Wishart, 1996). A unicidade é conferida ao gesto espacial pelo contorno temporal (i.e., pela aceleração), já que o “simple movimento com velocidade constante ao longo destes percursos iria ser segregado pela nossa percepção em dois movimentos separados”¹⁰⁶ (Wishart, 1996), um em cada uma das direcções.

¹⁰⁴ No mesmo sentido de *resolução harmónica*, i.e., concludo o movimento anterior.

¹⁰⁵ “It is as if the sound-object is thrown out from its point of origin on an elastic thread whose tension slows down its motion and then causes it to accelerate back towards the source.”, no original (Wishart, 1996, p. 223).

¹⁰⁶ “Simple constant speed motion along any of these paths would usually break down in our perception into two separate motions, one in the outward and the other in the inward direction.”, no original (Wishart, 1996, p.223).

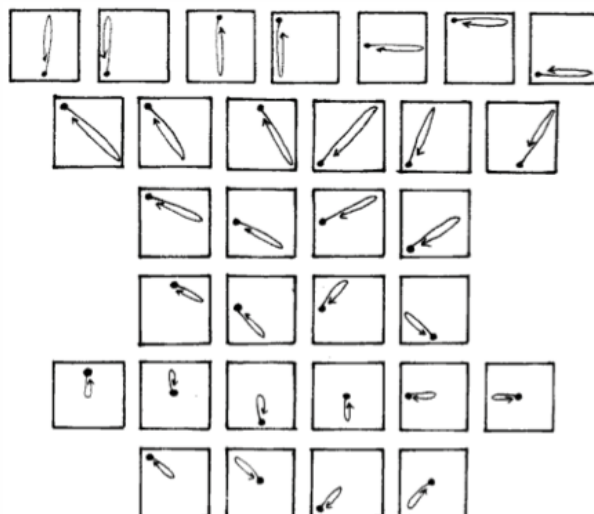


Figura 2.23. Movimentos com contorno de tempo: elásticos (Wishart, 1996).

O contraponto espacial surge por fim, e tal como no trabalho de Roger Reynolds, pela articulação simultânea de várias camadas de gestos espaciais ¹⁰⁷.

2.4 A Definição do Espaço Arquitectural

No contexto da relação entre a música e a arquitectura, é inevitável a análise do trabalho de Iannis Xenakis. Compositor, arquitecto de formação e assistente de Le Corbusier após a 2ª Guerra Mundial, é nas mãos de Xenakis que o gabinete de arquitectura parisiense confia a concepção do pavilhão encomendado pela Philips ¹⁰⁸ para a Exposição Mundial de Bruxelas, em 1958. Neste edifício, Xenakis explora a função geométrica conhecida como parabolóide hiperbólico, que alguns anos antes o havia inspirado a escrever os *glissandi* de *Metastaseis* [1953–54]. O pavilhão é destinado a albergar o *Poème Électronique*, uma visão de obra de arte total proposta por Le Corbusier, que parte da peculiar arquitectura para a concepção de componentes audiovisuais sincronizadas.

O elemento com maior longevidade desta pioneira instalação multimédia é a homónima obra musical encomendada a Edgard Varèse. Este *Poème Électronique* [1958] utiliza como material musical a manipulação de gravações de vários instrumentos de percussão, máquinas, vozes e *glissandi* sintetizados. É difundido através de um sistema de espacialização que conduz os sons gravados numa fita com três canais por percursos pré-definidos, utilizando para isso cerca de 400 altifalantes ¹⁰⁹ colocados no espaço. Estes

¹⁰⁷ A polifonia espacial de Mario Mary está relacionada com este contraponto espacial e será apresentada no subcapítulo 2.6.1.

¹⁰⁸ Grande fabricante Holandês de equipamento de luz e som, entre outros.

¹⁰⁹ Há referencias contraditórias na bibliografia, de 350 (Valle et al., 2010) até 425 (Zvonar, 2004).

percursos de espacialização guiam o caminho, também ele pré-definido, percorrido pelos visitantes no interior do pavilhão, ajudando a pôr em evidência o espaço definido pela arquitectura (figura 2.24).

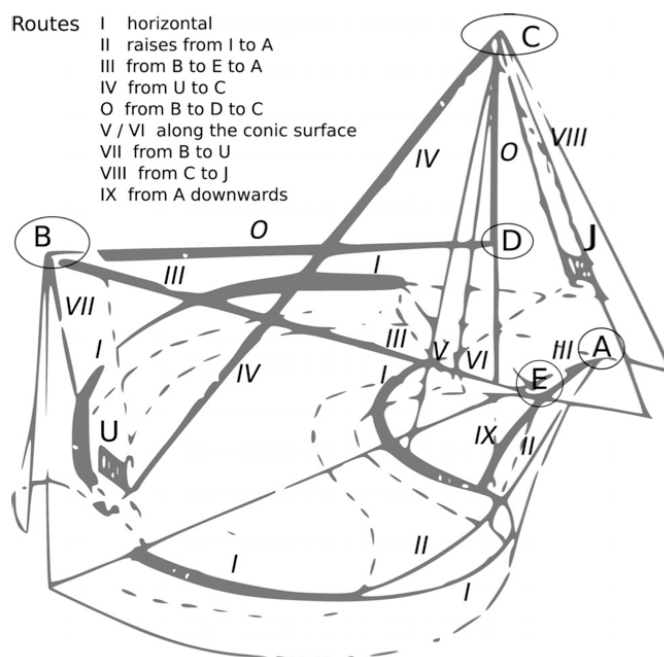


Figura 2.24. Percursos de espacialização definidos por Xenakis para o Pavilhão Philips (Valle et al., 2010).

No início e no fim de cada visita, é ouvida a obra *Interlude*, do próprio Xenakis, hoje conhecida como *Concret PH* [1958]. Xenakis, num texto publicado sobre o pavilhão Philips (Xenakis, 1996), descreve os pontos sonoros (i.e., altifalantes enquanto fontes pontuais) como sendo capazes de definir espaços numa geometria do espaço acústico, através de duas abordagens distintas: a que define áreas no espaço através da difusão de um som em simultâneo por vários altifalantes ¹¹⁰ — a que chama estereofonia estática —, e a que define linhas no espaço pelo movimento do som entre altifalantes, introduzindo a velocidade e aceleração acústicas — que apelida de estereofonia cinemática. Estes conceitos são então uma reformulação dos conceitos de relevo estático e cinemático, propostos por Pierre Schaeffer. A sua relação com os altifalantes está próxima do conceito de espaço fonte, mais tarde definido por Vande Gorne, no sentido em que a relação com o espaço definido pelo altifalante é estabelecida pela correcta localização da fonte sonora real face ao referencial do ouvinte.

Concret PH é um estudo sobre uma técnica de manipulação sonora que antecipa o que é hoje conhecido como síntese granular. Utiliza assim partículas relativamente indiferenciadas de som, uma matéria sonora cujo frenético nível de actividade microscópico contrasta com a comparativa estaticidade textural da curta

¹¹⁰ Xenakis dá o exemplo da definição de uma “*droite acoustique*” (literalmente, direita acústica) pela difusão de um som por todos os altifalantes (pontos emissores) à direita de um referencial.

obra de menos de 3 minutos. Esta técnica é uma aplicação prática das ideias originais de Dennis Gabor (Roads, 2001) e permite ao compositor a distribuição estocástica de micro elementos sonoros tanto no tempo como no espaço. A relação da síntese granular com a ocupação do espaço acontece assim como se os grãos sonoros fossem moléculas de um gás cujo movimento é circunscrito pelo volume do espaço, acabando por, ao tomar a sua forma, o definir (Valle, Tazelaar, & Lombardo, 2010). O comportamento das moléculas de gás é, aliás, algo que já interessara Xenakis enquanto sistema estocástico utilizado, e.g., na composição de *Pithoprakta* [1955-1956] (Xenakis, 1992).

Xenakis, que preterirá a arquitectura em favor da composição, continuará a explorar a criação de obras com espacialização: na mesma Exposição Mundial de Osaka em que Stockhausen constrói o seu pavilhão, Xenakis apresenta *Hibiki-Hana-Ma* [1969-1970], uma obra para 12 canais composta na NHK e difundida através de um sistema de 800 altifalantes dispostos em 250 posições em torno da audiência (J. Harley, 2002). Parte significativa do seu trabalho na década de 1970 gira em torno da *Unité Polyagogique Informatique de CEMAMu* (UPIC), um exemplo pioneiro de interface gráfica para síntese digital que utiliza na composição e na educação musical (J. Harley, 2002). Xenakis não verá a profusão de técnicas para a espacialização com síntese granular tornadas possíveis pela implementação digital desta técnica, impulsionada por Curtis Roads (Roads, 2001). Não obstante, algumas destas técnicas reflectem de forma inequívoca a herança do pensamento composicional de Xenakis, como o controlo da posição de cada grânulo de som através de sistemas estocásticos que mimetizam o comportamento de bandos ou enxames (Kim-Boyle, 2005; Davis & Karamanlis, 2007; Wilson, 2008; Mariette, 2009; Schacher, Bisig, & Neukom, 2011).

2.4.1 A Arquitectura Aural

No final da década de 1960, o compositor Alvin Lucier põe em evidência os modos de ressonância de um espaço enquanto elemento transformador do material musical numa das suas obras mais conhecidas: *I am sitting in a room* [1969]. Esta obra consiste na gravação de um texto falado no interior de uma sala, sendo depois gravada a reprodução deste por um altifalante dentro da mesma sala em várias iterações. Este processo de retroalimentação ¹¹¹ mediada pelo desfasamento temporal repete-se até que da frase original subsistam apenas as ressonâncias impostas pelos modos da sala e articuladas pelo texto gravado (Lucier, 2012). Não obstante a afirmação explícita, no texto recitado na obra, de que o compositor vê “esta actividade não tanto como uma demonstração de um facto físico, mas como uma forma de suavizar as irregularidades que a sua fala possa apresentar” ¹¹², esta obra acaba por se transformar num exemplo paradigmático da exploração das particularidades tímbricas de um espaço através de meios electroacústicos.

¹¹¹ Mais comumente designado pelo termo inglês *feedback*.

¹¹² “I regard this activity not so much as a demonstration of a physical fact, but more as a way to smooth out any irregularities my speech might have”, texto recitado por Alvin Lucien na obra *I am sitting in a room* [1969].

As abordagens exploratórias, ora à fenomenologia da percepção auditiva, ora a uma dada peculiaridade tímbrica ou ainda a um fenómeno acústico posto em evidência através de meios electrónicos constituirão, aliás, marcas dominantes do subsequente trabalho de Alvin Lucier.

A utilização da retroalimentação é também um elemento recorrente no trabalho de Nicolas Collins, aluno de Alvin Lucier. É durante os seus estudos com Lucier que compõe *Pea Soup* [1974, r. 2002-2011], uma peça que explora as diferentes frequências de retroalimentação de um sistema colocado num dado espaço. Um circuito — analógico, na versão original (figura 2.25), e digital, na versão revista — altera o atraso introduzido no sinal em função da envolvente de amplitude do sinal captado. Este efeito é análogo à alteração da distância do microfone em relação ao altifalante e estimula a estabilização da retroalimentação numa nova frequência. Um limitador e um equalizador contribuem, respectivamente, para evitar uma subida excessiva da amplitude do sinal e para controlar as frequências de resposta do sistema. Deste modo, três canais de retroalimentação criam “padrões instáveis de sons crus, um raga específico do espaço que reflecte a personalidade acústica da sala”¹¹³. O desenvolvimento da peça, apresentada tanto em modo instalação como em formato concerto, é influenciado pelo movimento de pessoas na sala ou pela utilização de instrumentos musicais e outros sons para estimular respostas em determinadas frequências. A retroalimentação proposta por Lucier é assim transformada num elemento performativo.

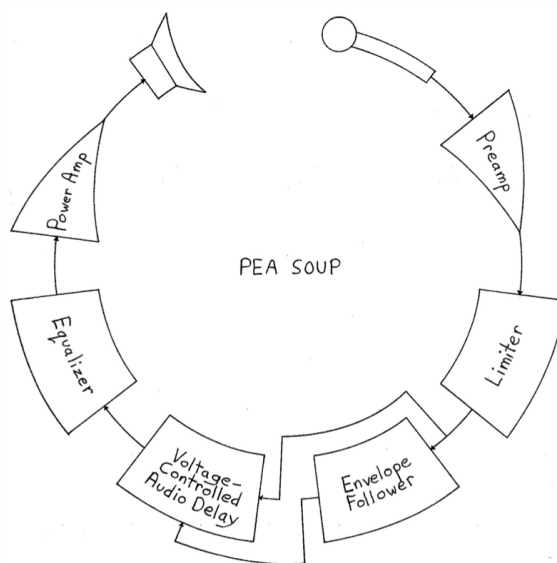


Figura 2.25. Instruções para *Pea Soup* [1974, r. 2002-2011], de Nicolas Collins.

Este elemento performativo da retroalimentação é também explorado em *Bird and Person Dying* [1975], de novo pelas mãos de Alvin Lucier. Para a performance desta peça, Lucier coloca um gerador electrónico que imita o chilrear de um pássaro num dado espaço acústico. Caminha depois lentamente pelo espaço

¹¹³ “The familiar shriek is replaced with unstable patterns of hollow tones, a site-specific raga reflecting the acoustical personality of the room.”, nas notas de programa da obra *Pea Soup* [1974, r. 2002-2011].

com um par de microfones binaurais colocados nos ouvidos que são, por sua vez, amplificados por dois altifalantes, criando retroalimentação. Ao movimentar-se pelo espaço, a frequência de estabilização da retroalimentação é alterada e interage com os sons do chilrear electrónico produzindo batimentos, num processo análogo ao de um heteródino ¹¹⁴, razão para a grafia de *dyning* no título da peça ¹¹⁵. Estando no arbítrio do compositor, neste caso também enquanto performer, a escolha entre a imobilidade e diferentes tipos de movimento e sendo o som resultante directamente dependente da forma como orienta a sua audição, *Bird and Person Dyning* é uma obra na qual o público ouve o resultado do ponto de audição do performer. Esta perspectiva é idêntica à que é criada, também através da colocação de microfones binaurais nos ouvidos do performer, em *in many, many ears* [2011] e, sobretudo, em *auditorium* [2012]. Uma secção desta última peça é mesmo preenchida pela criação em tempo real de morfologias sobre a retroalimentação, numa inspiração directa em *Bird and Person Dyning*.

A arquitectura aural, como definida por Blesser & Salter (2007), refere-se ao reconhecimento da morfologia do espaço através da sua resposta acústica, incluindo elementos relevantes para a capacidade de navegação no seio deste. Embora tenha uma forte relação com a acústica, a arquitectura aural não se refere às propriedades acústicas do espaço *per se*, mas ao potencial que elas apresentam à percepção dos ouvintes do espaço. Engloba assim elementos culturais, sociais e cognitivos: a psicoacústica e a “acústica cultural” ¹¹⁶ (Blesser & Salter, 2007). O arquitecto aural é assim aquele que identifica, projecta ou põe em evidência determinadas características acústicas do espaço com um objectivo específico de percepção por parte de um ouvinte. Neste sentido, *I am sitting in a Room* e *Bird and Person Dyning* são apenas duas entre várias obras de Alvin Lucier que podem ser analisadas enquanto exemplos seminais de arquitectura aural. Estas incluem desde obras compostas na década de 1960 — como, e.g., *Vespers* [1968], na qual os performers-ouvintes são convidados a navegar o espaço ¹¹⁷ utilizando dispositivos de ecolocalização — até obras mais recentes — como, e.g., *Ever Present* [2002], na qual dois osciladores produzem ondas sinusoidais em constantes *glissandi* lentos enquanto três instrumentistas (flauta, saxofone alto e piano) sustentam sons que interagem com os anteriores.

O impacto da publicação de *Spaces Speak, Are You Listening?* (Blesser & Salter, 2007) e do conceito transdisciplinar que propõe pode medir-se pelo crescente número de trabalhos que informam a sua abordagem ao espaço na perspectiva da arquitectura aural ¹¹⁸. A instalação *Sonoridades Líquidas* [2007],

¹¹⁴ “oscilador de alta frequência regulável que, incorporado num receptor, permite obter uma oscilação de batimentos de frequência audível”, em <http://www.infopedia.pt/lingua-portuguesa/heterodino>

¹¹⁵ Do inglês *heterodyning*.

¹¹⁶ “[...] *cultural acoustics* [...]”, no original (Blesser & Salter, 2007, p. 5).

¹¹⁷ Navegar “o” espaço, já que o objectivo é a compreensão do espaço através da navegação e não o movimento *per se*.

¹¹⁸ Como, e.g., as propostas de David Letellier — e.g., *Tessel* [2010] e *Versus* [2011] — e de Filipe Lopes — e.g., *Numa Sala com Cortiça e Som* [2012] e *Vexations* [2012], sobre a obra homónima de Erik Satie.

contemporânea da primeira edição do livro, filia-se no mesmo tipo de abordagem e pode ser analisada enquanto exemplo de arquitectura aural. Tal como em *I am sitting in a Room* e em *Pea Soup*, os modos do espaço no qual foi instalada (o Foyer Nascente da Casa da Música, no Porto) definem todo o campo harmónico da instalação. No entanto, e ao contrário do que acontece nestas obras, a acústica do espaço não é aqui tratada como um *objet trouvé* que — quer enquanto filtro, quer revelada por fenómenos de retroalimentação — altera o campo harmónico da obra em cada apresentação. Antes, a resposta acústica do espaço a um estímulo difundido pelo sistema electroacústico montado foi estudada na fase inicial do processo de composição, tendo sido depois concebida uma progressão harmónica dentro das suas ressonâncias como ponto de partida para a composição. Esta instalação é então específica deste espaço e a sua harmonia particular, ao invés de ser revelada pelo processo de composição, está na origem do pensamento composicional.

2.4.2 Dinâmica na Espacialização

Na mesma época em que Lucier compõe *I am sitting in a room* [1969], o arquitecto austríaco Bernhard Leitner inicia uma série de abordagens exploratórias à definição de espaço através do som. A “arquitECTURA sonora”, como o próprio a define, consiste na “criação de espaços através do movimento do som”¹¹⁹ (Leitner, 1998). Sentindo que a relação entre o som e o espaço tinha até então sido negligenciada na arquitectura, a sua abordagem é voluntariamente distinta da música e da abordagem ao espaço musical. Antes, explora o som como um material de construção, tratando a “intensidade do som como a intensidade de luz”¹²⁰ (Leitner, 1998). O corpo de instalações que nasce do seu trabalho inicial baseia-se assim na definição de espaços através de linhas criadas pela reprodução de som em movimento por uma série de pontos-altifalantes. Estas linhas sonoras definem um espaço arquitectural que adquire características do próprio som: velocidade, intensidade, ritmo ou repetição. Leitner explora ainda a criação de situações em que o espaço momentaneamente desaparece e reaparece, tanto com geometrias semelhantes como diferentes. Se no caso da obra de Lucier, a presença do som no espaço põe em evidência as propriedades acústicas deste último e as utiliza para construir uma forma sobre o primeiro, no trabalho de Leitner o espaço é neutro ou inexistente até que a colocação do som lhe dá uma forma. São identificáveis reminiscências da estereofonia cinemática de Xenakis nos percursos desenhados por Leitner, criando, e.g., percursos curvilíneos percorridos por fontes sonoras virtuais dentro de prismas rectangulares definidos pela configuração das fontes sonoras reais (i.e., os altifalantes) (figura 2.26).

¹¹⁹ “*Sound Architecture: Space created through traveling sound*”, no original (Leitner, 1998, p. 38).

¹²⁰ “*Sound intensity like light intensity*”, no original (Leitner, 1998, p. 23).

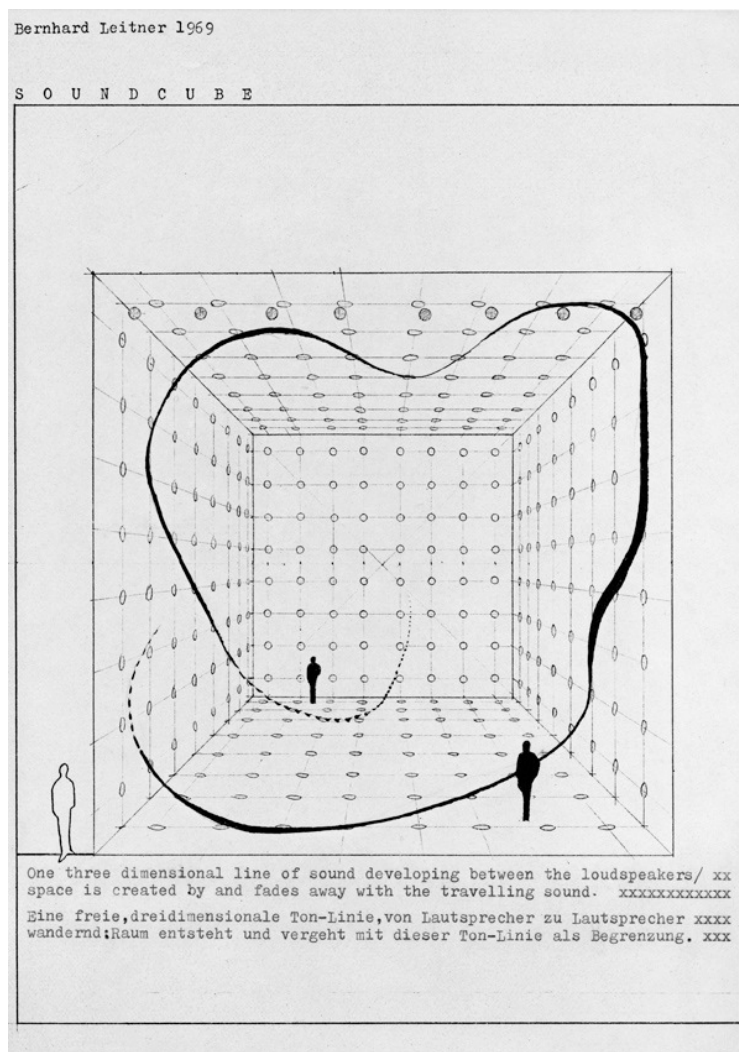


Figura 2.26. Um dos percursos sonoros de *Soundcube* [1969], de Bernhard Leitner (2008).

O trabalho de Leitner explora também os fenómenos acústicos e, sobretudo, os seus efeitos na percepção do espaço, no equilíbrio e na orientação. Em alguns trabalhos, como a longa série de cadeiras sonoras *Ton-Liege* [1975-1991]¹²¹, as reacções fisiológicas dos utilizadores são mesmo objecto de investigação no Departamento de Neurofisiologia Clínica da Universidade de Bonn, na Alemanha Ocidental (Leitner, 1998), revelando a capacidade de indução de um relaxamento próximo do dos dois primeiros estágios do sono. Apesar da voluntária distância ao universo da composição musical, o material sonoro utilizado nas instalações é, em grande parte, oriundo de instrumentos musicais tradicionais, como, e.g., os sons de trombone em *Kneten I* [1980], sons de violoncelo e trompa em *Ton-Liege II* [1976] ou o violoncelo *martellato* em *Pendel-Liege II* [1995]. Por vezes, utiliza ainda relações descritas através do seu significado musical, como a que estabelece entre a anacruse e o tempo forte na articulação entre pontos diferentes do espaço em vários trabalhos da década de 1970 (Leitner, 1998).

¹²¹ Literalmente, Som-Divã.

Uma das ideias que Leitner explora ao longo de alguns anos é a definição do espaço pelo movimento de pêndulos, que se inicia com uma série a que chama *Raum-Wiege* [1975-1980] ¹²² (figura 2.27) e que é continuada na série *Pendel-Liege* [1992-1995] ¹²³. A manipulação da amplitude dos sons é pré-programada manualmente tendo em vista a imposição de uma morfologia externa ao material sonoro pré-gravado (figura 2.28). A familiaridade do visitante com o tipo de movimento permite uma sensação de continuidade e de equilíbrio, apesar da cíclica suspensão do som em cada um dos lados do movimento pendular (Leitner, 1998). O gesto espacial — simultaneamente definidor do gesto sonoro e definido pelo seu preenchimento com som —, em conjunto com a sua colocação escultórica, convocam assim a representação da gravidade e do movimento pendular presente na cognição do ouvinte, envolvendo-o no seio do espaço-berço.



Figura 2.27. *Grosse Raum-Wiege* [1980], de Bernhard Leitner (1998).

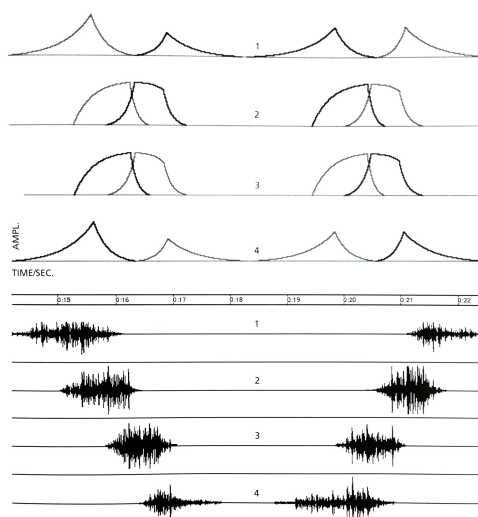


Figura 2.28. Envolventes de áudio de *Pendel-Liege II* [1995], de Bernhard Leitner (1998).

¹²² Literalmente, Espaço-Berço.

¹²³ Literalmente, Pêndulo-Divã.

Um ano antes de *I am sitting in a room* [1969], de Alvin Lucier, e de *Soundcube* [1969], de Bernhard Leitner, Steve Reich compõe *Pendulum Music* [1968], uma peça processual na qual alguns microfones são suspensos sobre altifalantes e largados a alguma distância, por forma a descreverem movimentos pendulares sobre estes. Quando se aproximam dos altifalantes, os microfones entram em retroalimentação, que se atenua quando se afastam. Com o tempo, e em consequência do atrito, o movimento pendular dos microfones tende a parar. A retroalimentação torna-se então constante e a peça termina com o desligar da tomada dos amplificadores. Nesta peça, que partilha com *I am sitting in a room* a utilização da retroalimentação e com *Raum-Wiege* o movimento pendular, a morfologia do gesto sonoro é definida por um processo dinâmico e, embora não exista movimento do som no espaço, é o gesto espacial visível que modela o gesto sonoro. Fossem os altifalantes a oscilar sobre os microfones e ao gesto espacial visual corresponderia um gesto espacial sonoro, tal como acontece em *Speaker Swinging* [1982], do compositor canadiano Gordon Monahan. Nesta obra, três performers giram um par constituído por um altifalante e uma lâmpada em torno da cabeça (figura 2.29), provocando uma projecção no espaço que transforma o conceito de altifalante rotativo, anteriormente utilizado por Stockhausen, num elemento performativo.



Figura 2.29. Performance de *Speaker Swinging* [1982], de Gordon Monahan. Foto de Dwight Siegner.

Na peça *pendulum* [2012], para flauta, clarinete baixo, piano, violino, violoncelo, vídeo e electrónica em tempo real, é explorada a co-geração, a partir de movimentos dinâmicos, do gesto espacial, tanto visual como auditivo, e da morfologia do gesto musical. Modelos físicos, em ambiente digital, de pêndulos simples, pêndulos de ondas, sistemas gravitacionais com muitos corpos e sistemas elásticos são utilizados para gerar um vídeo que é projectado durante a performance. Este vídeo é controlado em tempo real pelo pianista e os movimentos nele veiculados controlam, por sua vez, tanto a espacialização como a morfologia dos gestos musicais.

2.5 A Ressonância no Espaço

David Tudor é sobretudo reconhecido pelo seu papel como pianista, tendo, no período pós-segunda guerra mundial feito a estreia e divulgação de obras de compositores como, e.g., Karlheinz Stockhausen, Pierre Boulez, Morton Feldman e John Cage. A colaboração com este último foi especialmente frutífera, sendo reconhecida por Cage como fundamental (Cage, 1991) e identificável como influência no trabalho subsequente de Tudor como compositor. A série de obras intituladas *Rainforest*, desde a primeira *Rainforest I* [1968] até à mais disseminada *Rainforest IV* [1973], é certamente a mais reconhecida das suas composições e revela a influência de obras como *Cartridge Music* [1960], de Cage¹²⁴. É o resultado de várias experiências sobre uma ideia que o próprio descreve como o “sonho-visão de uma orquestra de altifalantes, na qual cada altifalante é tão único como um instrumento musical”¹²⁵ (Tudor citado por Driscoll & Rogalsky, 2004). Tudor põe em prática esta ideia utilizando transdutores de contacto¹²⁶ acoplados a diversos objectos que, vibrando, imprimem a sua assinatura sonora ao som difundido. São realizadas várias versões, sendo *Rainforest IV* o nome escolhido por Tudor para uma versão que toma a forma de uma instalação sonora, realizada em conjunto com o grupo *Composers Inside Electronics*¹²⁷, formado para a ocasião por John Driscoll, Phil Edelstein, Linda Fisher, Martin Kalve, Greg Kramer, Susan Palmer, Bill Viola e o próprio David Tudor (Driscoll & Rogalsky, 2004). Nesta quarta versão, sons sintetizados e gravações em fita magnética são difundidos através de 16 a 40 esculturas sonoras, construídas pelos membros do grupo seguindo as instruções de Tudor (figura 2.30). Cada uma destas esculturas é baseada num objecto — elemento ressonante — ao qual são acoplados um transdutor de contacto, para reprodução dos sons, e um microfone de contacto, para amplificação das suas frequências de ressonância (Collins, 2006). São então suspensas no espaço onde os visitantes são convidados a circular, podendo tocar nas esculturas para sentir a sua vibração, interferindo deste modo no seu comportamento acústico.

¹²⁴ Um trabalho pioneiro na electrónica ao vivo, que utilizava como fonte sonora uma série de objectos (e.g., palitos e penas) introduzidos no orifício destinado à agulha de uma cabeça de gira-discos, em conjunto com outros elementos amplificados com recurso a microfones de contacto. Era assim revelada, através da amplificação, uma perspectiva invulgar sobre os sons acústicos.

¹²⁵ “*dream-vision of an orchestra of loudspeakers, each speaker being as unique as any musical instrument*”, no original (Tudor citado por Driscoll & Rogalsky, 2004). Citação indirecta, já que a referência *online* da entrevista não se encontra disponível.

¹²⁶ I.e., altifalantes sem um cone, capazes de colocar em vibração os objectos aos quais são acoplados, como os utilizados para fazer vibrar os instrumentos de percussão em *Music for Solo Performer* [1965], de Alvin Lucier. Para um exemplo de construção deste tipo de altifalantes consultar Collins (2006, pp. 41-46).

¹²⁷ http://composers-inside-electronics.net/cie/cie/cie_home.html

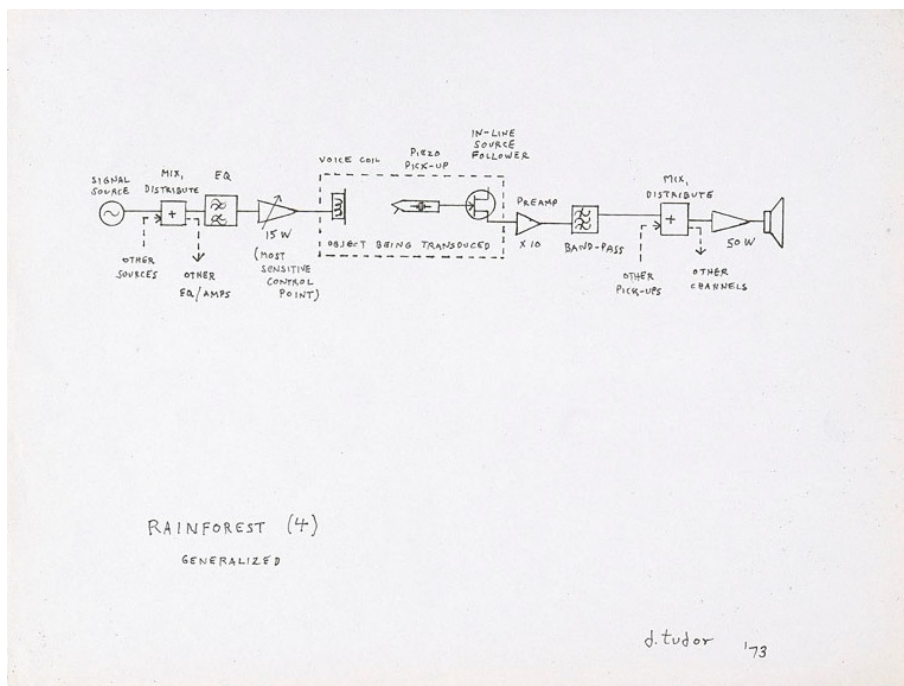


Figura 2.30. Instruções para *Rainforest IV* [1973], de David Tudor.

Se a ideia de uma orquestra de altifalantes idiomáticos é semelhante ao conceito do contemporâneo Acousmonium, a exploração das ressonâncias dos objectos pela alimentação com sons externos e retroalimentação aproxima *Rainforest IV* do trabalho, também contemporâneo, de Alvin Lucier e Nicolas Collins. No caso das obras de Lucier e Collins, o elemento dominante é resposta da acústica idiomática de cada sala ao sistema electroacústico montado. No caso do trabalho de Tudor, é o modo de colocação do som no espaço que é posto em evidência. Ao contrário da diversidade tímbrica como elemento interpretativo da difusão acusmática, em *Rainforest IV* as diferenças tímbricas entre os altifalantes constituem elas mesmas a génese do pensamento musical. Novas versões de *Rainforest IV* continuam a ser actualmente postas em prática pelo grupo *Composers Inside Electronics* (Driscoll & Rogalsky, 2004), no que se torna assim um caso raro de longevidade no universo das instalações sonoras. Os próprios membros do grupo, com ênfase em John Driscoll, continuam a linha de trabalho lançada por Tudor, desenvolvendo, e.g., altifalantes desenhados para focar o som difundido num ponto específico do espaço e altifalantes robóticos capazes de alterar a sua difusão direccional ¹²⁸.

O conceito de *instrumento protésico* ¹²⁹, desenvolvido pelo compositor português Pedro Rebelo, está filiado nas ideias que presidiram à concepção de *Rainforest IV*, aplicando-as a instrumentos acústicos tradicionais. Este tipo de instrumento vai buscar às próteses humanas “metáforas para a relação entre partes naturais e

¹²⁸ <http://composers-inside-electronics.net/jdriscoll/home/BIO.html>

¹²⁹ “*prosthetic instrument*”, no original.

artificiais de um organismo”¹³⁰ (Vriezenga & Rebelo, 2011), aplicando-as à instalação de meios electroacústicos capazes de intervir no comportamento de instrumentos acústicos como uma conga (Walstijn & Rebelo, 2005) ou uma *mbira* (Vriezenga & Rebelo, 2011). A intervenção na conga protésica utilizada em *Music for Prosthetic Congas* [2004] consiste na colocação de um altifalante na abertura inferior e de um microfone de contacto na parte inferior da membrana, ambos ligados a um computador capaz de processar e sintetizar sinais de áudio (figura 2.31). O circuito assim obtido é utilizado não como um altifalante idiomático, como acontecia em *Rainforest IV*, mas como forma de tornar possível a manipulação das propriedades acústicas da conga, que é tocada pelo intérprete do modo tradicional (Walstijn & Rebelo, 2005). Este é obrigado a ajustar continuamente a sua forma de tocar, adaptando-se a um instrumento interactivo que pode reagir de forma expandida — e.g., prolongando a ressonância natural do instrumento — ou mesmo com um comportamento diferente do normal — e.g., suprimindo ressonâncias naturais. A cuidadosa integração dos componentes electrónicos e o desenho do processamento contribuem para a ambiguidade na percepção do que é natural e do que é protésico, elemento central da metáfora explorada.

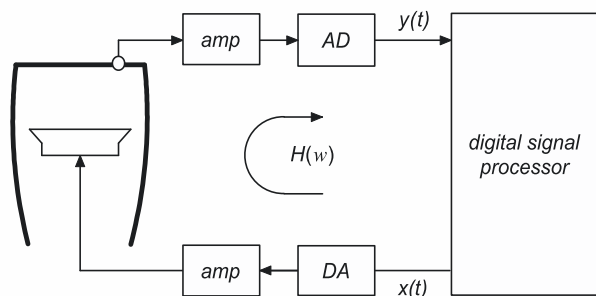


Figura 2.31. Modelo e fluxo de sinal da conga protésica utilizada em *Music for Prosthetic Congas* [2004], de Pedro Rebelo (Walstijn & Rebelo, 2005)

Em *Shadow Quartet* [2007], para quarteto de cordas e electrónica, Pedro Rebelo explora de novo o conceito de instrumento protésico, mas desta feita sem que o instrumento tocado pelos intérpretes coincida com o utilizado como prótese. Em *Shadow Quartet*, o comportamento ressonante de quatro violinos é analisado e serve como base para a afinação dos instrumentos do quarteto e para as estruturas harmónicas exploradas na peça. Em concerto, os quatro violinos são suspensos sobre os músicos (figura 2.32) e utilizados, através da colocação de transdutores de contacto, como altifalantes idiomáticos para a difusão da componente electroacústica da peça. A relação protésica entre os instrumentos do quarteto e os violinos suspensos vai, neste caso, da “ambiguidade à contradição tanto estendendo como reagindo contra o material tocado pelo quarteto”¹³¹.

¹³⁰ “The use of prosthesis in the human body provides us with potent metaphors for the relationship between natural and artificial parts of an organism.”, no original (Vriezenga & Rebelo, 2011, p. 697).

¹³¹ “The relation between the quartet and the four prosthetic violins ranges from ambiguity to contradiction by both extending and reacting against the material played by the quartet.”, nas notas de programa da obra *Shadow Quartet* [2007].



Figura 2.32. Smith Quartet na estreia de *Shadow Quartet* [2007], de Pedro Rebelo. Os violinos ressonantes, utilizados para a difusão dos sons electroacústicos, são visíveis suspensos sobre os músicos. Foto de Miso Music Portugal.

A difusão omnidireccional de grande parte dos instrumentos acústicos tradicionais contrasta com a difusão unidireccional dos altifalantes comuns ¹³². Pelas características da sua construção, muitas vezes intencionais, instrumentos acústicos como o violino ou o piano emanam som em múltiplas direcções, cada uma com o seu comportamento espectral específico (Henrique, 2002), o que se torna particularmente relevante aquando da sua captação para gravação. De forma análoga, a interacção dos altifalantes idiomáticos de *Rainforest IV* e *Shadow Quartet* com o espaço é substancialmente diferente da que acontece na difusão com altifalantes, sendo mais próxima da dos instrumentos tradicionais.

A peça *eCaro* [2011], para dois improvisadores, explora a fusão entre os sons acústicos de um piano (incluindo técnicas expandidas) e várias fontes de sons electrónicos através da sobreposição do seu meio de colocação no espaço. Nesta peça, os meios electrónicos são amplificados por transdutores de contacto acoplados a um instrumento acústico tradicional, tal como acontecia em *Shadow Quartet*. Contudo, e ao contrário do que acontece na obra de Pedro Rebelo, estes transdutores são colocados no corpo do mesmo instrumento que é utilizado como fonte de sons acústicos graças ao tamanho do piano e à possibilidade de colocar os transdutores de contacto de forma oculta e inócua sobre o tampo harmónico apenas por acção da gravidade. Todos os meios necessários à performance são também colocados no interior do piano, procurando maximizar a percepção deste como um instrumento protésico e eliminar a necessidade de um técnico de som fora do palco. É assim criada uma interdependência entre as várias técnicas de produção sonora, utilizando, e.g., meios acústicos tradicionais como os abafadores para manipular as envolventes dos sons electrónicos.

¹³² Instrumentos como, e.g., o trompete são excepções, já que têm um comportamento comparativamente próximo do unidireccional apresentado pelos altifalantes.

2.5.1 Colunas Multidireccionais

Os diferentes modos de interacção com o espaço das fontes acústicas e electroacústicas contribuem para que seja recorrente existência de problemas de fusão entre estes dois tipos de fontes sonoras nas obras mistas ¹³³. Uma forma usual de resolver estes problemas passa pela amplificação dos instrumentos acústicos através dos mesmos altifalantes utilizados para a difusão da parte electroacústica. Esta solução pode, contudo, contrariar “as qualidades acústicas dos espaços de performance e tornar difícil a localização das fontes acústicas” ¹³⁴ (Trueman, Bahn, & Cook, 2000), sem contribuir positivamente para a perspectiva dos intérpretes sobre o equilíbrio entre as diferentes fontes sonoras, como a que acontece naturalmente em grupos de câmara constituídos exclusivamente por instrumentos acústicos.

Em 1997, Dan Trueman, insatisfeito com as soluções para amplificação do seu violino eléctrico, e Perry Cook dão início à construção de colunas ¹³⁵ esféricas e hemisféricas e à sua utilização na difusão de sons electroacústicos (Smallwood, Cook, Trueman, & McIntyre, 2009). Em paralelo desenvolvem o projecto NBody (Cook & Trueman, 1998), com o objectivo de estudar os padrões de radiação de instrumentos de corda para aplicação, e.g., em síntese por modelação física. Depois da construção de uma série de colunas e instrumentos como o *Bowed-Sensor-Speaker-Array* (BoSSA) (Trueman & Cook, 1999), estas experiências culminam, em 2005, com a construção do conjunto de colunas hemisféricas para a *Princeton Laptop Orchestra* (PLOrk) (Trueman, Cook, Smallwood, & Wang, 2006).

Nesta orquestra de computadores portáteis, cada participante tem o seu próprio meta-instrumento, constituído por um computador portátil, interface de áudio, amplificadores e uma coluna hemisférica com seis altifalantes autonomamente endereçáveis, para além de eventuais interfaces para expressão musical. A PLOrk é responsável pelo estabelecimento do paradigma da orquestra de computadores portáteis enquanto laboratório de investigação (Trueman, 2007), modelo para a composição de repertório de câmara na música electroacústica (Smallwood, Trueman, Cook, & Wang, 2008) e meio para o ensino (G. Wang, Trueman, Smallwood, & Cook, 2008). A sua implementação é rapidamente replicada, notavelmente pela *Stanford Laptop Orchestra* (SLOrk) (G. Wang, Bryan, Oh, & Hamilton, 2009), fundada em 2008 por Ge Wang, ele mesmo um dos membros fundadores da PLOrk. Ao contrário do que acontece com a PLOrk, cujo modelo de coluna hemisférica passivo é objecto de distribuição comercial, o ênfase inicial da SLOrk é colocado na construção de uma coluna hemisférica activa (i.e., auto-amplificada) a partir de materiais fáceis de encontrar em vários locais do mundo (figura 2.33). A estrutura exterior, e.g., é uma saladeira de madeira

¹³³ I.e., para instrumentos acústicos e meios electroacústicos.

¹³⁴ “While good for many applications, this approach usually has the effect of negating the natural acoustic qualities of performance spaces and can make it difficult to localize the acoustic sources”, no original (Trueman, Bahn, & Cook, 2000, p. 1).

¹³⁵ A palavra coluna é aqui utilizada em vez de altifalante, já que estas colunas multidireccionais possuem vários altifalantes individualmente endereçáveis.

da quase omnipresente loja de mobiliário IKEA ¹³⁶. O seu processo de construção é documentado em detalhe no *site* ¹³⁷ e no artigo de apresentação (G. Wang et al., 2009), o que ajuda a transformar estas colunas — que acabam por se tornar a marca distintiva da SLOrk — em ferramentas fáceis de replicar por outros músicos e instituições de investigação e ensino.



Figura 2.33. Réplica, construída para *obra com título longo** [2009], da coluna hemisférica desenvolvida para a SLOrk.

A difusão a partir de colunas hemisféricas levanta uma série de novas questões para a espacialização na música electroacústica. Se há lugar a uma micro-espacialização na distribuição dos sons pelos seis altifalantes individualmente endereçáveis que a constituem, esta não é percebida pelo público da forma tradicional. Um movimento rotativo pelos altifalantes coplanares inferiores, e.g., tem, do ponto de vista do ouvinte distante, implicações apenas na forma como a difusão se relaciona com o espaço e não implicações na percepção do movimento espacial. A relação com os instrumentos acústicos, uma das principais motivações para a concepção destas colunas, é também estreitada pela replicação do seu natural modo de difusão. Estas são as questões exploradas em *obra com título longo* * [2009], que utiliza uma réplica da coluna hemisférica multidireccional da SLOrk. Nesta obra para flauta alto, clarinete, vibrafone, piano e parte electroacústica pré-gravada, os parâmetros harmonia e métrica são concebidos por forma a criar um contraponto contínuo, cerrado e homogéneo. As várias vozes deste contraponto circulam pelos instrumentos dispostos ao redor da coluna hemisférica, tornando-a assim no eixo aglutinador em torno do qual as vozes se movem continuamente. A micro-espacialização da coluna hemisférica é ainda traduzida nos instrumentos em seu redor, que articulam os transitórios de ataque da morfologia sonora por si difundida, expandindo-a para a escala correspondente à área ocupada pelos instrumentos no palco.

¹³⁶ <http://www.ikea.com/pt/pt/>

¹³⁷ <http://slork.stanford.edu>

2.6 Conclusão

As diversas abordagens à espacialização na música electroacústica têm diferentes implicações na forma como os gestos espaciais se interligam com os gestos musicais. A preponderância pode ser dada ao gesto musical — como na tradição que emerge da difusão da música acusmática — ou ao gesto espacial — como na geometria do espaço de Stockhausen e Reynolds. Não obstante, a percepção da intenção — i.e., da significação do gesto — depende em qualquer um dos casos da análise do conjunto.

O termo espacialização é utilizado de forma muito lata para designar diversas aproximações musicais ao espaço e, se excluirmos o termo difusão¹³⁸, não existe uma nomenclatura clara e utilizada de forma consistente para designar as diferentes abordagens à espacialização na música electroacústica. As inúmeras propostas de terminologia associada ao espaço na música são frequentemente fruto das abordagens idiossincráticas dos seus proponentes e, como tal, difíceis de generalizar para outras aplicações¹³⁹. A reflexão informada na leitura dos exemplos anteriormente descritos fundamenta a proposta de uma taxonomia da espacialização, tomando a espacialização como a colocação do som no espaço de forma intencional e significativa, o que não implica a existência de movimento.

Se as *soundscape*¹⁴⁰ já existiam antes da sua nomeação por R. Murray Schafer (1994), é claro o impacto que esta conceptualização teve no subsequente trabalho quer na ecologia acústica, quer na composição musical. A sua preocupação não foi, contudo, a de detalhar pequenas fronteiras: de facto afirma que “podemos falar da composição musical como uma *soundscape*, ou de um programa de rádio como uma *soundscape* ou de um ambiente acústico como uma *soundscape*”¹⁴¹ (Schafer, 1994). A *soundscape* é, então,

¹³⁸ E o seu termo associado projecção.

¹³⁹ Na sua tese *Space in Musical Semiosis*, Juha Ojala (2009) apresenta, com inevitável humor, um levantamento da numerosa terminologia para o espaço musical: “In addition to the complexity of the term ‘musical space’ alone, we are faced with an abundance of terms such as acoustic space (e.g. Schafer 1991; Tohyama, Suzuki and Ando 1995), auditory space (Blauert 1983/1974), composed space (Smalley 1991), compositional space (Morris 1995), conceptual musical space (McDermott 1972), diffused space (Smalley 1991), external space (Smalley 1997), feature space (Tóivainen, Kaipainen and Louhivuori 1995), headspace (Smalley 1991), implied space (Emmerson 1998), informational space (Drew 1968), information-sound space (Barras 1996), instrumental space (Emmerson 1998), internal space (Smalley 1997), listening space (Smalley 1991), literal space (Emmerson 1998), logical space (Morgan 1980), metaphorical space (Emmerson 1998), methodological space (Morton 2005), multidimensional music space (Juhász 2000), notational space (Morgan 1980), parameter space (Feiten and Behles 1994), personal space (Smalley 1991), real space (Emmerson 1998), solution-space (Di Scipio 1995a), sound space (Barras 1996), sonic space (Wishart 1996; Emmerson 1998), spectral space (Smalley 1986), state space (Goguen 2004), superimposed space (Smalley 1991), virtual acoustic space (Wishart 1996) and so on. The confusion is augmented when many terms refer to the same concept (e.g. natural, physical, empirical, external, extrinsic, acoustic, and sound space all referring to the actual space). On other occasions a single term may be used for altogether different concepts (musical space). Furthermore, the list could be continued with space terms pertaining to musical parameters such as pitch space (Lerdahl 1988, 2001), timbre space (Wessel 1979; Grey 1977), melody space (Todd 1992), rhythm space (Desain and Honing 2003), and with other space-related terms such as dimension, axis or distance. Finally, the terms of musical spatiality do not necessarily translate directly from one language to another. It seems that, in so far as words express thoughts, music as a thought process is saturated with spatiality.” (Ojala, 2009, pp. 345-346).

¹⁴⁰ Termo habitualmente utilizado em inglês e que pode ser traduzido como *paisagens sonoras*.

¹⁴¹ “We may speak of a musical composition as a *soundscape*, or a radio program as a *soundscape* or an acoustic environment as a *soundscape*.”, no original (Schafer, 1994, p. 7), um texto originalmente publicado em 1977.

mais do que uma simples paisagem pré-existente: é uma perspectiva, uma atitude perante o som que, firmemente baseada na escuta activa, estabelece um ponto de vista para a sua análise. De um modo análogo, esta taxonomia da espacialização não pretende ser uma a catalogação exaustiva dos espaços *per se*, quer os que são imaginados pelos compositores (Dhomont, 1988; 1991; D. Smalley, 1997; Gorne, 2011), quer os que são revelados pela interpretação (Gorne, 2002) ou ainda os que são percebidos pelo ouvinte (D. Smalley, 1997; Merlier, 2006; D. Smalley, 2007). Antes, procura distinguir as diferentes perspectivas dos compositores nas suas abordagens à espacialização, partindo da existência ou inexistência de um gesto espacial e, no primeiro caso, da sua relação com o gesto musical. Apesar de ser naturalmente o resultado de uma perspectiva individual — tem como primeira função a de servir de base à criação das ferramentas para espacialização e à composição das obras que acompanham este documento —, procura ser generalizável por ser alicerçada na análise de um amplo conjunto de perspectivas de mais de meio século de espacialização na música electroacústica.

2.6.1 Taxonomia da Espacialização na Música Electroacústica

Tomando como ponto de partida as designações de estereofonia estática e estereofonia cinemática, propostas por Iannis Xenakis ¹⁴², podemos começar por definir a *espacialização estática* e a *espacialização cinemática*. A *espacialização estática* refere-se à colocação significativa de sons no espaço sem gesto espacial (i.e., sem movimento), o que pode ser conseguido pela manipulação das características de fontes sonoras reais ou virtuais. Se obras como *I am sitting in a room* [1969], de Alvin Lucier, ou *Rainforest IV* [1973], de David Tudor, não têm espacialização no sentido de movimento do som no espaço, a sua concepção depende em grande parte do seu modo de difusão e da colocação do som no espaço. É explícita em ambas, como noutras obras anteriormente apresentadas, a utilização dos meios electroacústicos de colocação do som no espaço como elemento fundamental da construção do pensamento musical. Também as colunas multidireccionais dos grupos PLOrk e SLOrk são concebidas com o objectivo de tornar possível um modo particular de interacção entre o altifalante e o espaço de difusão e não para beneficiar a reprodução de gestos espaciais externos ao espaço que definem.

São três as obras que, no contexto deste trabalho, exploram a espacialização estática: *Sonoridades Líquidas* [2007] parte dos modos de ressonância de um espaço para a geração do material harmónico que serve de base à composição; *obra com título longo** [2009] explora o modo de difusão e a micro-espacialização com uma coluna hemisférica na interacção com instrumentos acústicos; *eCaro* [2011] explora o conceito de instrumento protésico como forma de promover quer a fusão acústica dos diferentes materiais, quer a integração dos papéis de compositor, construtor de instrumentos e técnico de som na figura do performer.

¹⁴² Que, como referido anteriormente, estão relacionadas com os conceitos de relevo estático e relevo cinemático propostos por Pierre Schaeffer.

É possível encontrar um elemento comum à *Musik im Raum* de Stockhausen, aos percursos de espacialização de Xenakis, às figuras de Lissajous de Chowning, aos vocabulários do movimento espacial de Reynolds e à catalogação dos movimentos de Wishart: tratam-se de abordagens geométricas ao espaço que autonomizam o gesto espacial face ao gesto musical. A *espacialização cinemática* refere-se assim à colocação de sons no espaço pela geração de gestos espaciais a partir da geometria do seu movimento. Os gestos espaciais gerados através da *espacialização cinemática* podem ser impostos sobre os gestos musicais — de modo paralelo, concorrente ou disruptivo — ou eles mesmos articuladores dos gestos musicais, quando a sua morfologia temporal se torna a dominante.

É clara a distinção entre esta espacialização cinemática e a utilização da espacialização como forma de enfatizar, ornamentar ou pôr em evidência os gestos musicais. No caso da difusão, esta acção sobre o movimento é ela mesma resultado de uma manipulação intencional e expressiva de uma interface para espacialização com o objectivo de interpretar no espaço os gestos musicais pré-existentes. O próprio conceito de interpretação convoca a ideia de descodificação e veiculação de uma mensagem pré-existente, o que, na inexistência de uma partitura para a difusão, significa a descodificação do gesto musical para o veicular através do gesto espacial. Mesmo nas obras desta tradição que progressivamente se distanciam da difusão como interpretação em favor da espacialização em estúdio, o pensamento sobre o movimento é focado na articulação de uma morfologia que se desenvolve em paralelo no espaço espectral (i.e., a espectromorfologia) e no espaço físico (i.e., a espaçomorfologia). A *espacialização gestual* refere-se assim à colocação de sons no espaço utilizando gestos espaciais concebidos para enfatizar, ornamentar ou pôr em evidência a morfologia dos gestos musicais.

A abordagem dominante nas interfaces das ferramentas de *software* para espacialização é a cinemática, mesmo quando esta cinemática resulta da automatização de posições estáticas ¹⁴³. Assim, algumas obras com espacialização gestual são inevitavelmente concebidas através da definição de instruções cinemáticas, o que implica um processo de abstracção da imaginação gestual do compositor e sua tradução em notação geométrica ¹⁴⁴. Não obstante, uma análise do processo e das intenções do compositor pode revelar se a origem da espacialização reside numa intenção de definição geométrica do espaço ou se, pelo contrário, parte de uma tradução no espaço da morfologia da intenção musical.

A distinção clara entre estas duas abordagens é também estabelecida por Jonty Harrison, que, no entanto, assume sem rodeios a sua parcialidade estética favorável à que é aqui definida como espacialização gestual.

¹⁴³ Como será analisado no subcapítulo 4.6.

¹⁴⁴ Dando origem a um processo iterativo de audição do retorno e correcção das instruções introduzidas no *software* de espacialização. Este processo é identificado no primeiro elemento do modelo “Fonte – Meio – Receptor”, que liga a imaginação do compositor à cognição espacial do ouvinte (Begault, 1986) e que será analisado no capítulo 3. Na época de publicação desse modelo, uma parte significativa do *software* disponível para, e.g., a síntese sonora exigia também um processo iterativo e em diferido análogo, em virtude da falta de capacidade de processamento para concretizar síntese em tempo real, pelo que esta limitação poderia ser vista como uma consequência intrínseca à composição com computadores.

Na sua alocução à conferência *Australasian Computer Music Conference* (ACMC) de 1999 (Harrison, 2000), opõe o que apelida de visão *quantitativa e arquitectónica* do espaço — aqui designada como espacialização cinemática — à visão *qualitativa e orgânica* do espaço — aqui designada como espacialização gestual. Na primeira, que identifica como historicamente ligada à *elektronische Musik*, o “espaço é imposto sobre material espacialmente neutro na altura da composição, tornando-se assim numa parte fixa e quantificável do discurso musical, em conjunto com a frequência (afinação e timbre), duração e amplitude”¹⁴⁵ (Harrison, 2000). A segunda, historicamente filiada na *musique concrète* e na música acusmática, aplica, pelo contrário, “uma atitude orgânica à organização espacial na altura da composição”, utilizando “procedimentos composicionais que beneficiam e desenvolvem” as “propriedades internas (incluindo as espaciais) dos objectos sonoros”¹⁴⁶, que serão por fim reforçadas na difusão (Harrison, 2000).

Uma perspectiva particularmente interessante, por se encontrar na fronteira entre a espacialização cinemática e a espacialização gestual, é a do compositor Mario Mary. A sua *polifonia do espaço* filia-se numa linha de pensamento análoga ao contraponto espacial de Trevor Wishart: partindo do conceito de *orquestração electroacústica* — que usa para designar a construção de grandes densidades de elementos simultâneos, trabalhando o timbre na óptica dos fenómenos perceptivos da fusão e cisão espectral —, realiza movimentos simultâneos por várias trajectórias espaciais, que divide em trajectórias circulares, espiraladas, diagonais e planos estereofónicos (Mary, 2013). Esta polifonia espacial — presente em obras como, e.g., *Signes émergents* [2003] e *2261* [2009], ambas cristalizadas para uma configuração de altifalantes octogonal — é, segundo o próprio, um dos procedimentos mais importantes do seu processo de composição (Mary, 2013). A clareza na percepção dos movimentos, definidos de forma geométrica, informa a diferenciação espectromorfológica dos sons que serão espacializados em contraponto, o que denota uma abordagem cinemática à espacialização. No entanto, Mary insiste na ideia de que “o movimento de um som deve ser proposto pelo próprio som”, “tem de ser coerente com a sua morfologia e valorizar as suas características mais importantes”¹⁴⁷ (Mary, 2013), numa clara filiação no que foi acima definido como a abordagem gestual à espacialização. *Signes émergents* e *2261* são então obras que estão na fronteira entre a espacialização cinemática e a espacialização gestual.

in many, many ears [2011] explora a espacialização gestual na sua vertente performativa, procurando a convergência do gesto físico do intérprete, do gesto musical e do gesto espacial. *auditorium* [2012] utiliza o

¹⁴⁵ “In this model, [...] ‘space’ is imposed on spatially neutral material at the time of composition, thereby becoming a fixed, quantifiable part of the musical discourse, along with frequency (pitch and timbre), duration and amplitude.”, no original (Harrison, 2000, p. 4).

¹⁴⁶ “By contrast, an organic attitude to spatial organisation at the compositional stage is characteristic of a *musique concrète*-informed acousmatic approach, which builds externalised structures from the internal properties (including spatial ones) of sound objects. The internal space of sound objects is elaborated through compositional procedures which enhance and build on such intrinsic cues, and this, in turn, is elaborated in an analogous way in the performance domain, the ultimate aim being to offer a better rendition of the character of the component objects for more members of the listening audience.”, no original (Harrison, 2000, p. 5).

¹⁴⁷ “Por eso insisto en que el movimiento de un sonido debe ser propuesto por el sonido mismo. Tiene que ser coherente con su morfología y poner en valor sus características más importantes.”, no original (Mary, 2013, p. 14).

carácter tendencialmente iterativo e diferido do processo de definição da espacialização cinemática como o principal elemento de estruturação formal da performance.

Os termos *estática* e *cinemática* designam dois ramos da mecânica clássica: a estática debruça-se sobre o equilíbrio estático de corpos sob a acção de forças e a cinemática estuda as características do movimento de corpos pela sua geometria, sem consideração pelas forças que lhe dão origem. A tradicional divisão da mecânica clássica inclui ainda um outro ramo: a *dinâmica*, que estuda as forças que causam o movimento de um corpo. Quando Wishart escolhe usar uma imagética dinâmica para descrever os movimentos acelerados, em contraste com a linguagem geométrica — i.e., cinemática — utilizada antes disso, sugere que as forças que causam o movimento de um corpo integram o seu imaginário sobre este tipo de movimento. Tal torna-se particularmente relevante quando considera estes movimentos como capazes de transmitir uma maior sensação de intencionalidade ao movimento, sendo, conseqüentemente, *mais gestuais*. A série *Raum-Wiege* [1975-1980], de Bernhard Leitner, é outro interessante exemplo de utilização de um pensamento dinâmico na concepção de gestos espaciais capazes de impor uma articulação reconhecível a objectos sonoros pré-existentes.

A simulação de modelos físicos em ambiente digital permite hoje o seu fácil controlo em tempo real, possibilitando a geração de morfologias sonoras a partir do seu movimento de forma análoga ao que acontece na performance de *Pendulum Music* [1968], de Steve Reich, e *Speaker Swinging* [1982], de Gordon Monahan. Utilizando estes gestos espaciais como ponto de partida para a composição, abrir-se-á a porta à geração de gestos musicais partir de modelos de forças como, e.g., a gravidade, convocando modelos de movimentos e acelerações que fazem parte da observação empírica de qualquer pessoa desde o nascimento. A *espacialização dinâmica* refere-se então à colocação de sons no espaço pela geração de gestos espaciais a partir de modelos físicos das forças que afectam o seu movimento. Tal como acontece com a espacialização cinemática, também na *espacialização dinâmica* os gestos espaciais podem ser impostos sobre os gestos musicais — de modo paralelo, concorrente ou disruptivo — ou eles mesmos articuladores dos gestos musicais, quando a sua morfologia temporal se torna a dominante.

Vol d'Arondes [1999], de Francis Dhomont, é um exemplo de uma obra de espacialização gestual que se encontra próxima da fronteira com a espacialização dinâmica, já que a origem do gesto espacial é a mimetização do comportamento das andorinhas durante o vôo. Não é rara, aliás, a utilização pelos compositores de uma imagética dinâmica para a descrição de movimentos com aceleração dos seus gestos espaciais, como acontece no vocabulário proposto por Trevor Wishart (1996), ou mesmo das morfologias dos seus gestos musicais. O comportamento de tudo o que nos rodeia está inevitavelmente sujeito às leis físicas, pelo que será natural a utilização deste conhecimento empírico sobre o mundo como metáfora para o movimento no contexto musical. No entanto, e no contexto da mecânica clássica, a dinâmica introduz precisamente a interacção entre os corpos, traduzida em forças. A espacialização dinâmica refere-se, então,

à utilização da dinâmica como fonte efectiva do gesto espacial, quer através da interacção com sistemas dinâmicos reais, como acontece em *Speaker Swinging*, quer através da interacção com a sua simulação utilizando modelos físicos em ambiente digital. *pendulum* [2012] é um estudo sobre a espacialização dinâmica enquanto elemento primordial do processo de composição.

A esquema da figura 2.34 ilustra esta taxonomia da espacialização na música electroacústica, partindo da divisão entre a existência ou não de gesto espacial e subdividindo os tipos de abordagem à espacialização com gesto espacial. Para cada tipo de espacialização é especificada a origem do pensamento conducente à definição do gesto espacial e, quando existente, a relação entre o gesto espacial e o gesto musical.

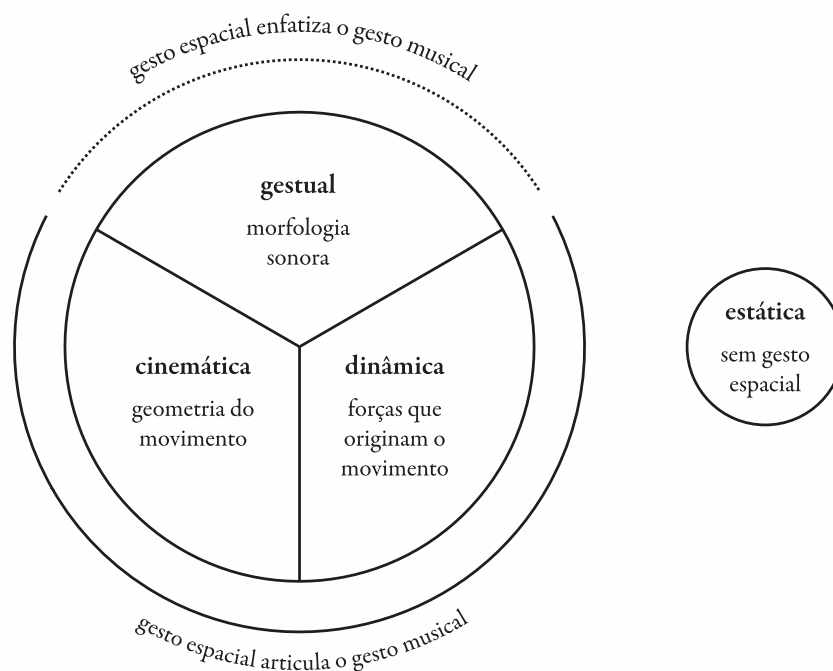


Figura 2.34. Taxonomia da espacialização na música electroacústica.

3. Audição Espacial

There is no “nonspatial hearing”.

Jens Blauert ¹

The space, too, belongs to memory.

Francis Dhomont ²

3.1 Introdução

O principal sentido que usamos de forma consciente para obter informação sobre o mundo exterior é a visão. É através dela que nos guiamos, que evitamos obstáculos no nosso percurso ou que reconhecemos uma cara familiar no meio da multidão. É, contudo, através do som que reconhecemos a aproximação de um perigo que está fora do nosso campo de visão. É a audição o sentido no qual confiamos para descortinar o que se passa para além dos obstáculos visuais ou que bloqueamos quando nos queremos isolar do que se passa à nossa volta. Se, quando percebidos em simultâneo, o estímulo visual tende a dominar o auditivo (Colavita, 1974), é a audição que nos permite uma constante percepção omnidireccional e o sentido no qual confiamos a guarda do espaço que nos rodeia, mesmo enquanto dormimos. Não será assim de estranhar que a percepção das características das fontes sonoras, incluindo a sua localização, seja uma capacidade que começamos a desenvolver desde a primeira infância.

A construção desta percepção é um processo complexo e que depende da análise paralela de diversos dados obtidos através do sistema auditivo. Características físicas e factores cognitivos condicionam a nossa

¹ (Blauert, 1996, p. 3)

² Nas notas de programa de *Vol d'Arondes* [1999].

percepção e o conhecimento sobre estas limitações é relevante para que o compositor seja capaz de encontrar formas de melhor veicular a sua intenção. Esta intenção é condicionada pelas próprias memórias de percepção auditiva, mas também pela imaginação espacial, que pode ter origem em factores não directamente ligados à audição, como, e.g., a geometria. Begault (1986) esquematiza os vários elementos do percurso que liga a imaginação espacial do compositor à cognição espacial do ouvinte, colocando em evidência o facto de serem diferentes, no que intitula como o modelo “Fonte – Meio – Receptor” (figura 3.1). A fonte parte da imaginação do compositor para a abstracção da espacialização sob a forma de instruções, e.g., em partitura ou em curvas de automatização. Através do retorno que lhe é dado pelos altifalantes, o compositor pode alterar as instruções que controlam o comportamento do *software* de manipulação espacial por forma a aproximar o resultado daquilo que imaginou, num processo iterativo de aproximação à intenção original. O meio diz respeito ao espaço de difusão em concerto, com características acústicas e sistema de altifalantes diversos dos do estúdio de composição ³. O receptor é o ouvinte, que analisa os sons transmitidos pelo meio através dos seus próprios mecanismos de percepção, que se podem “investigar em duas grandes categorias: 1) a percepção inicial de um dado som, tal como é percebida pela acústica e psicoacústica, e 2) a cognição de alto nível da manipulação espacial” ⁴ (Begault, 1986).

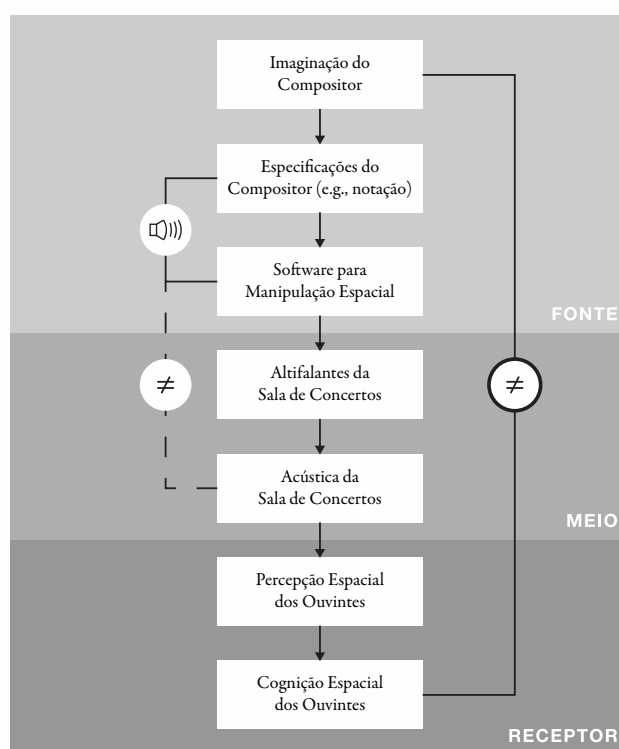


Figura 3.1. O modelo “Fonte – Meio – Receptor”, que liga a imaginação do compositor à cognição espacial do ouvinte, proposto por Begault (1986).

³ Esta diferença é também identificada por Denis Smalley (1997), que divide os dois espaços em *composed space* e *listening space*.

⁴ “*this experience of spatial hearing is investigated as two broad categories: 1) the initial perception of a given sound, as understood by physicists and psychophysicists, and 2) the higher level cognition of spatial manipulation*”, no original (Begault, 1986, p. 1).

Do lado da fonte (i.e., do compositor), Begault identifica o ênfase colocado na psicoacústica da audição espacial quer nos parâmetros utilizados na manipulação do *software* de espacialização, quer na apreciação que guia a concretização iterativa da ideia original. Na sala de concertos, contudo, o meio provoca experiências psicoacústicas diferentes para cada ouvinte, variando consoante a sua localização na sala. Este fenómeno pode ser aproveitado pelos compositores — como acontece, e.g., no caso de alguns trabalhos emblemáticos de Alvin Lucier — mas pode frustrar a expectativa de que a percepção espacial dos ouvintes se aproxime da imaginação espacial do compositor. A psicoacústica é por si só insuficiente, ou mesmo desadequada, na antevisão do efeito que a espacialização cristalizada em estúdio terá na cognição espacial dos ouvintes na sala de concertos. A cognição espacial dos ouvintes, por seu turno, terá alguns elementos comuns com a dos compositores, casos em que contribuirá para uma mais próxima ligação entre a fonte e o receptor, mas, por ser dependente da experiência individual, poderá noutros casos ter um papel disruptivo desta relação. Relacionadas mas nem sempre coincidentes, a psicoacústica e a cognição são então componentes da audição espacial a considerar quer no desenvolvimento das técnicas de espacialização, quer na composição de obras nas quais este elemento tenha um papel relevante.

3.1.1 Sistema de coordenadas

A localização de um evento auditivo coloca-o numa determinada direcção e a uma dada distância no espaço tridimensional em torno do indivíduo. Faz assim sentido a utilização de um sistema de coordenadas esféricas com origem no centro da cabeça do indivíduo para descrever a posição dos eventos auditivos por este percebidos. O sistema de coordenadas escolhido para este documento e para as ferramentas desenvolvidas é o sistema de navegação (figura 3.2), por estar centrado na percepção do indivíduo — com elevação $\phi = 0^\circ$ à altura dos ouvidos e azimute $\theta = 0^\circ$ no centro do campo de visão —, por ter o aumento do azimute no sentido do movimento dos ponteiros do relógio e ainda por ser o utilizado em relevantes sistemas de espacialização anteriores (Schacher, 2010).

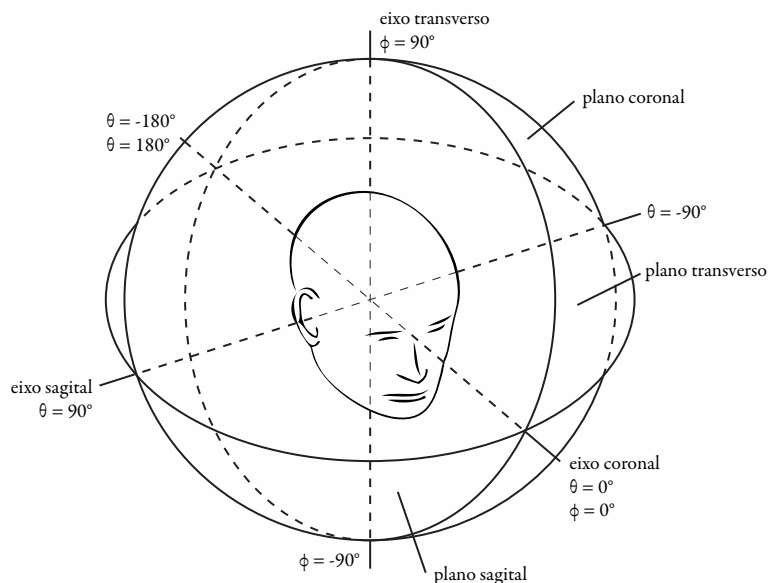


Figura 3.2. Sistema de coordenadas utilizado em todo o documento.

Origem: no interior da cabeça do indivíduo, no centro do segmento de recta que liga os dois ouvidos.

Azimute θ : origem no centro do campo de visão, positivo no hemisfério direito.

Elevação ϕ : origem à altura dos ouvidos, positiva no hemisfério superior.

Plano transversal: plano com $\phi = 0^\circ$; divide o hemisfério superior do hemisfério inferior; equivalente ao plano cartesiano xy .

Plano sagital: plano perpendicular ao transversal, passando por $\theta = 0^\circ$ e $\theta = 180^\circ$; divide o hemisfério direito do hemisfério esquerdo; equivalente ao plano cartesiano yz ; é o plano de simetria da cabeça.

Plano coronal: plano perpendicular ao transversal e ao sagital, passando por $\theta = -90^\circ$ e $\theta = 90^\circ$; divide o hemisfério anterior do hemisfério posterior; equivalente ao plano cartesiano xz .

Eixo transversal: eixo de intersecção dos planos sagital e coronal, perpendicular ao plano transversal; equivalente ao eixo cartesiano z .

Eixo sagital: eixo de intersecção dos planos transversal e coronal, perpendicular ao plano sagital; equivalente ao eixo cartesiano x ; contém o segmento de recta que liga os dois ouvidos.

Eixo coronal: eixo de intersecção dos planos transversal e sagital, perpendicular ao plano coronal; equivalente ao eixo cartesiano y .

3.2 Eventos e Localização

A percepção auditiva da localização espacial está sujeita a erros, em parte por estar dependente da comparação entre as análises paralelas de diversos dados. O evento sonoro, correspondente à componente física do fenómeno da audição, é assim independente do evento auditivo, correspondente à percepção de um determinado indivíduo, tal como proposto por Jens Blauert (1996). Pode então existir um evento sonoro sem que um evento auditivo seja percebido e este último pode acontecer sem um estímulo provocado pelo primeiro: a representação do mundo exterior que o nosso cérebro constrói através da percepção do som, campo de estudo da psicoacústica, não tem, como tal, correspondência directa com este (Shepard, 1999). Se são óbvias as vantagens evolutivas da correcção e acuidade desta representação, é na falta dela que nos baseamos para criar sistemas de espacialização capazes de reproduzir eventos auditivos em localizações diferentes das dos altifalantes que produzem os eventos sonoros.

Blauert (1996) propõe dois conceitos importantes para a análise da audição espacial: a localização — regra pela qual a posição de um evento auditivo se relaciona com atributos específicos de um evento sonoro — e a mancha de localização⁵ — a alteração mínima de um ou mais atributos específicos do evento sonoro para que seja produzida uma mudança na localização do evento auditivo. O conceito de mancha de localização, definido como “a quantidade de deslocação da posição da fonte sonora que é reconhecida por 50% dos indivíduos como uma mudança na posição do evento auditivo”⁶ (Blauert, 1996), reflecte o facto de que a resolução do espaço auditivo é menor do que a do espaço onde existem as fontes sonoras, sendo também menor do que a do espaço visual. Vários estudos mostram que o tamanho mínimo da mancha de localização diz respeito a movimentos no plano transversal e em torno do ponto com $\theta = 0^\circ$, sendo então esta a zona com maior resolução no espaço auditivo, com uma mancha de localização de cerca de 1° em condições ideais (Blauert, 1996).

3.3 Localização no Plano Transverso

A posição dos nossos ouvidos em simetria sagital é determinante na superior resolução da percepção espacial no plano transversal, sendo fácil encontrar as razões para a vantagem evolutiva desta configuração, já que os nossos principais predadores naturais são animais que, tal como nós, caminham sobre a terra. A figura 3.3 representa as variações da mancha de localização neste plano, mostrando que esta é menor em torno dos pontos $\theta = 0^\circ$ e $\theta = 180^\circ$, com especial precisão no primeiro, e maior em torno dos pontos $\theta = -90^\circ$ e $\theta = 90^\circ$.

⁵ Tradução de “*localization blur*”, na versão inglesa (Blauert, 1996, p. 38).

⁶ “[...] *the amount of displacement of the position of the sound source that is recognized by 50 percent of experimental subjects as a change in the position of the auditory event.*”, no original (Blauert, 1996, p. 38).

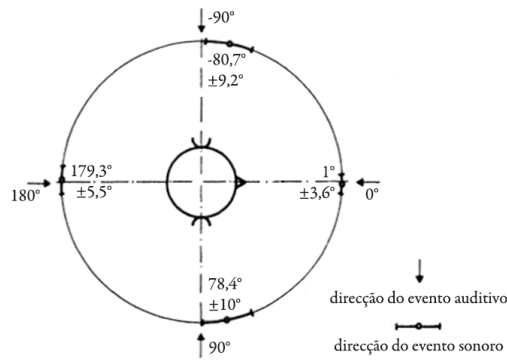


Figura 3.3. Manchas de localização no plano transversal. Adaptada de (Blauert, 1996).

As diferenças na informação que chega aos dois ouvidos — diferenças interaurais — são determinantes na localização de um evento auditivo no plano transversal. Tanto os sons com origem no azimute $\theta = 0^\circ$ como os com origem no azimute $\theta = 180^\circ$ chegam aos dois ouvidos sem diferenças interaurais, já que estão ambos contidos no plano sagital. Ao aproximar-se dos azimutes $\theta = -90^\circ$ e $\theta = 90^\circ$, ambos pertencentes ao plano coronal, as diferenças interaurais acentuam-se e permitem ao cérebro perceber qual o azimute aproximado da fonte sonora. A figura 3.4 representa as principais diferenças interaurais entre a informação que chega ao ouvido ipsilateral (i.e., o que se encontra no mesmo lado da fonte sonora) e a que chega ao ouvido contralateral (i.e., o que se encontra no lado oposto ao da fonte sonora). Estas são: diferença de intensidade interaural, a diferença na intensidade do som consequente ao efeito de sombra provocado pela cabeça; diferença de tempo interaural, a diferença de tempo de chegada do transitório de ataque; desfasamento interaural, provocado pela diferença de tempo de chegada ⁷.

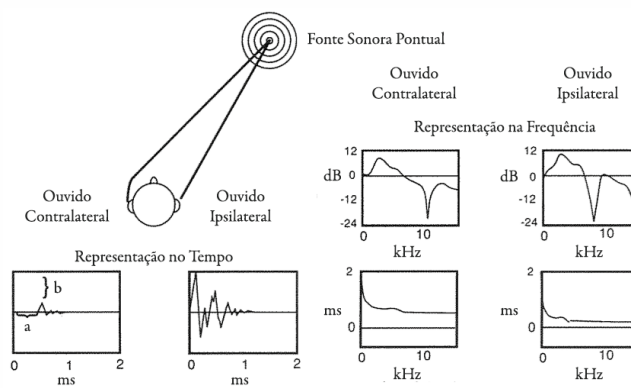


Figura 3.4. Principais diferenças interaurais na audição no plano transversal. Representação no tempo: (a) diferença de tempo interaural e (b) diferença de intensidade interaural. Representação na frequência: em cima, diferenças interaurais de conteúdo espectral; em baixo, desfasamento interaural. Adaptada de (Kendall, 1995).

⁷ Mais comumente designados em inglês como, respectivamente, *ILD - Interaural Level Difference* (por vezes também como *IID - Interaural Intensity Difference*), *ITD - Interaural Time Difference* e *IPD - Interaural Phase Difference*.

3.3.1 Diferença de Intensidade Interaural

Quando uma onda acústica encontra um obstáculo pode ser absorvida, reflectida ou difractada. Se o comprimento de onda é substancialmente inferior ao tamanho do obstáculo, a onda acústica é em parte absorvida e em parte reflectida, dependendo do material do obstáculo e do seu coeficiente de absorção, variável consoante a frequência da onda. Nos casos em que, por outro lado, o comprimento de onda é superior ao tamanho do obstáculo, este cria apenas uma sombra acústica cujas características dependem da difracção da onda acústica pelo objecto.

A difracção consiste na distorção de uma onda acústica por um obstáculo (esquina, objecto ou orifício). Não sendo possível, após a transposição do obstáculo, uma mudança abrupta entre a variação de pressão do ar que transporta a onda acústica e o ar circundante, a interacção entre ambos faz com que a onda acústica contorne o obstáculo, difractando parte da sua energia. Quando o obstáculo é pequeno relativamente ao comprimento de onda, a difracção é grande e cada esquina ou orifício comporta-se-á como uma nova fonte pontual. Quando, pelo contrário, o obstáculo é grande relativamente ao comprimento de onda, a onda sofre menos difracção e a sombra acústica provocada pelo obstáculo é maior (figura 3.5).

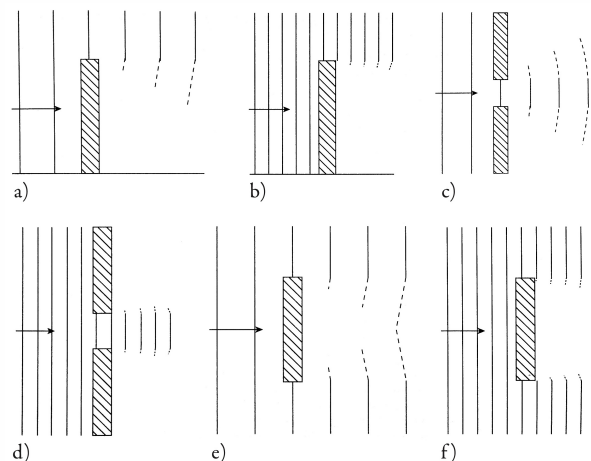


Figura 3.5. Exemplos de difracção e sombra acústica para diversos objectos e frequências: a) difracção de frequências graves por uma esquina; b) difracção de frequências agudas por uma esquina; c) difracção de frequências graves por um orifício; d) difracção de frequências agudas por um orifício; e) difracção de frequências graves por um objecto; f) difracção de frequências agudas por um objecto. Adaptada de (Howard & Angus, 2009).

A cabeça humana provoca uma sombra acústica que faz com que a intensidade do som que chega ao ouvido ipsilateral seja maior do que a que chega ao ouvido contralateral. Se esta sombra acústica começa a ser relevante quando o tamanho do objecto é superior a cerca de 2/3 do comprimento de onda (Howard &

Angus, 2009), isso significa que, para uma cabeça com um diâmetro de 18 centímetros ⁸ e para uma velocidade do som de 343 m/s ⁹, a diferença de intensidade interaural será particularmente eficaz para a localização no plano transverso a partir de cerca de

$$\frac{2}{3} \times \frac{343m.s^{-1}}{0,18m} \approx 1270,37Hz \quad (3.1)$$

embora comece a acontecer já em frequências mais graves (figura 3.6).

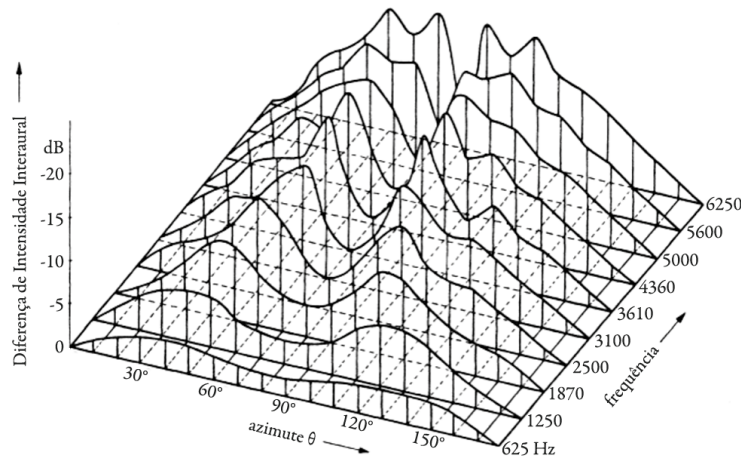


Figura 3.6. Diferenças de intensidade interaural em função do ângulo de incidência, no plano transverso, e da frequência. Adaptada de (Blauert, 1996).

3.3.2 Diferença de Tempo de Chegada e Desfasamento Interaural

O tamanho da cabeça humana e consequente distância entre os dois ouvidos fazem com que o som chegue mais cedo ao ouvido ipsilateral do que ao ouvido contralateral. A distância entre os dois ouvidos inclui o contorno da cabeça provocado pela difracção (figura 3.7) e tem o seu pico para as fontes sonoras que se encontrem no eixo sagital. Nestes pontos, a diferença de tempo de chegada interaural é de

$$\frac{0,18m}{2} \times \left(\frac{\pi}{2} + \sin \frac{\pi}{2} \right) \approx 0,000675s \quad (3.2)$$

⁸ O diâmetro da cabeça humana é variável. Será utilizado, neste documento, o valor de 18 cm para cálculos que utilizem esta variável.

⁹ A velocidade do som no ar varia consoante diversos factores, entre os quais a temperatura, a pressão atmosférica e a humidade. Será utilizado, em todo este documento, o valor de 343 m/s para os cálculos que utilizem esta variável.

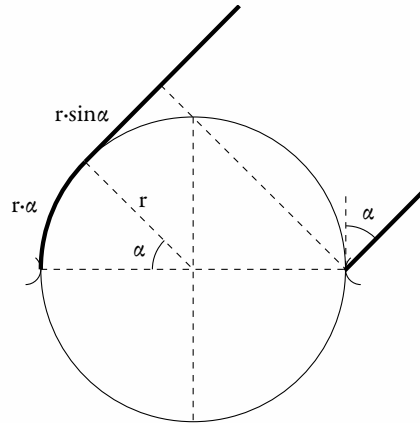


Figura 3.7. Diferença de distância percorrida por um som para chegar aos dois ouvidos.

Tal como a diferença de intensidade interaural, também este valor varia com o azimute da fonte sonora no plano transversal (figura 3.8). A diferença de tempo interaural é eficaz na percepção da localização dos transientes, já que são elementos que se destacam na morfologia sonora, tendo como consequência adicional o facto de fazer com que o som chegue aos dois ouvidos com desfasamento. O desfasamento interaural é eficaz na percepção da localização de frequências para as quais esta informação não seja ambígua, i.e., em frequências cujo desfasamento não ultrapasse π radianos (i.e., metade do período). Isto significa que, para uma fonte sonora no eixo sagital, o desfasamento interaural é relevante até cerca de

$$\frac{1}{0,000675s \times 2} = 740, (740)Hz \quad (3.3)$$

sendo esta frequência maior em ângulos mais próximos do eixo coronal.

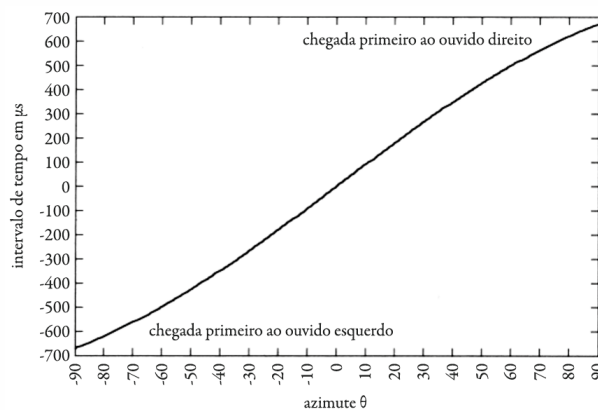


Figura 3.8. Diferença de tempo interaural entre o ouvido direito e o ouvido esquerdo em função do ângulo de incidência, no hemisfério anterior e no plano transversal. Adaptada de (Howard & Angus, 2009).

3.3.3 Duplex Theory e Cone de Confusão

A diferença de intensidade e o desfasamento interaurais são assim, respectivamente, relevantes na localização de frequências agudas e graves, com uma zona de transição entre, aproximadamente, os 700 Hz e os 1600 Hz. A ambivalência destes dois tipos de diferenças interaurais na audição espacial é a base da *Duplex Theory*, proposta por Lord Rayleigh (1907). Esta teoria seminal é uma boa representação da percepção auditiva no plano transverso e informa uma parte significativa dos primeiros desenvolvimentos das técnicas de espacialização, apesar de, na sua formulação original, assumir a cabeça esférica e sem pavilhões auditivos. Apresenta, contudo, algumas limitações, a começar pela já referida ambiguidade na localização das fontes sonoras que se encontram no plano sagital. Se este último é o plano de simetria entre os ouvidos, o plano coronal é o plano de simetria das diferenças de intensidade e tempo interaurais. Isto significa que, e.g., uma fonte sonora com azimute $\theta = 60^\circ$ terá diferenças interaurais inversas às de uma fontes sonora com azimute $\theta = -60^\circ$, mas idênticas às de uma fonte sonora com azimute $\theta = 120^\circ$. Os pontos nos quais as diferenças interaurais são idênticas formam um cone conhecido como cone de confusão (Kendall, 1995; Kapralos, Jenkin, & Milios, 2003) (figura 3.9).

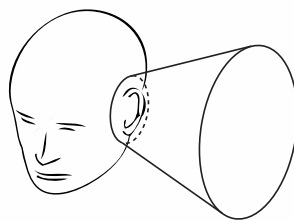


Figura 3.9. Cone de confusão, o conjunto dos pontos com diferenças interaurais idênticas.

A mais simples estratégia que utilizamos para resolver estas ambiguidades é a rotação da cabeça (Thurlow, Mangels, & Runge, 1967). Uma pequena rotação para a direita é suficiente para que, e.g., um som com azimute $\theta = 0^\circ$ e outro com azimute $\theta = 180^\circ$ passem a ter como ouvido ipsilateral, respectivamente, o ouvido esquerdo e o ouvido direito (figura 3.10). A mesma rotação fará com que as diferenças interaurais provocadas por uma fonte sonora com azimute $\theta = 60^\circ$ diminuam enquanto as provocadas por uma fonte sonora com azimute $\theta = 120^\circ$ aumentem.

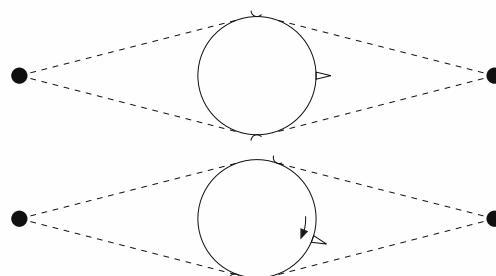


Figura 3.10. Rotação da cabeça para resolver ambiguidades das diferenças interaurais.

3.3.4 Percepção Monaural

A forma da orelha humana provoca reflexões do som que chegam ao tímpano pouco tempo depois do som directo, provocando interferências que resultam num efeito de filtro idiossincrático, eficaz a partir de cerca de 4000Hz (Kendall, 1995) (figura 3.11). A investigação sobre o efeito do pavilhão auditivo na audição (Batteau, 1967), uma revolução no conhecimento sobre a audição espacial (Kistler & Wightman, 1992; Kapralos et al., 2003) ¹⁰, marca o início da investigação sobre a percepção monaural, i.e., a percepção que não depende das diferenças interaurais. As pistas monaurais são relevantes para a resolução de ambiguidades da localização no plano transverso, para a localização no plano sagital e para a localização por pessoas surdas de um ouvido (Slattery & Middlebrooks, 1994). A interferência do pavilhão auditivo é particularmente relevante nas frequências mais agudas, todavia também a cabeça e os ombros provocam alterações tímbricas, com particular incidência abaixo dos 2000 Hz. O pico na região dos 3000 Hz é provocado pela ressonância do canal auditivo ¹¹. O espectro do som que chega a cada um dos ouvidos vindo de uma dada localização varia assim não só em função do ponto de origem, mas também em função da fisionomia do ouvinte. Como o plano de simetria do corpo humano é o sagital e não o coronal, a interferência dos pavilhões auditivos é útil na distinção entre os sons que se encontram no hemisfério posterior dos que chegam do hemisfério anterior, contribuindo para resolver as ambiguidades provocadas pelas diferenças interaurais. O conjunto destas interferências é designado por função de transferência relativa à cabeça, ou, em inglês, *Head-Related Transfer Function* (HRTF). Não obstante o facto de ser uma pista monaural, as diferenças interaurais ao nível do conteúdo espectral podem ser também relevantes para a percepção no plano transverso.

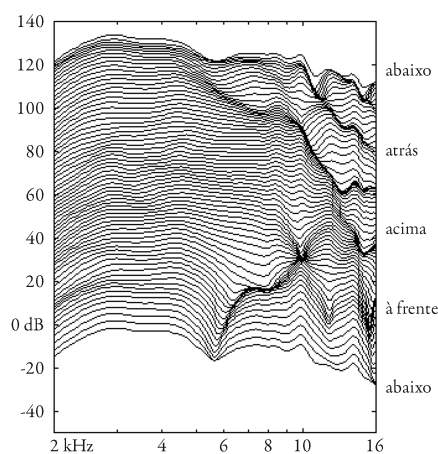


Figura 3.11. Curvas da resposta de frequência, medidas com um manequim KEMAR, para fontes sonoras em diferentes posições no plano sagital. Adaptada de (Duda, 2000).

¹⁰ A inclusão da investigação sobre o efeito do pavilhão auditivo na audição é a principal adenda que motivou a revisão do livro *Spatial Hearing*, de Jens Blauert (1996), originalmente publicado em 1972.

¹¹ Dado que tem, num adulto, entre 2,5 cm e 3 cm de comprimento e que se comporta como um tubo fechado (Henrique, 2002).

3.4 Localização no Plano Sagital

Batteau (1967) refere que quando um ouvinte dobra o pavilhão auditivo perde a capacidade de localização no plano sagital. De facto, a localização de fontes sonoras no plano sagital não pode ser baseada em diferenças interaurais, dado ser este o plano de simetria da cabeça, pelo que a análise espectral do conteúdo monaural de cada HRTF é o factor fundamental na percepção da elevação de um som. O facto de esta ser uma fonte de informação não baseada na comparação de diferenças interaurais faz com que a sua descodificação dependa de factores variáveis como a familiaridade com a fonte sonora — i.e., é mais fácil determinar a interferência espectral num som cujo conteúdo espectral nos é familiar — ou a familiaridade com as HRTFs, já que, e.g., um simples corte de cabelo pode afectar momentaneamente a capacidade de localização dos sons através destas funções de transferência. É então sem surpresa que se verifica que as manchas de localização são substancialmente maiores no plano sagital do que no plano transverso (figura 3.12).

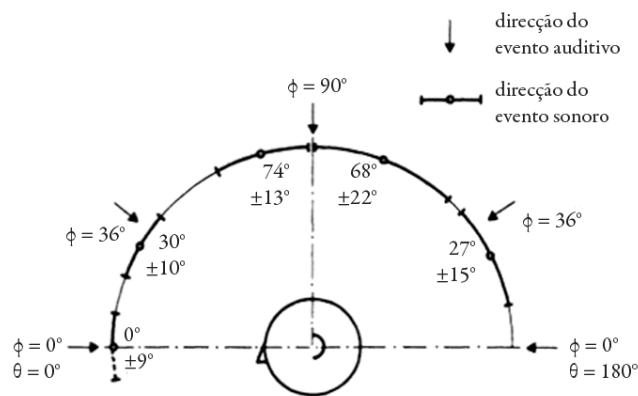


Figura 3.12. Manchas de localização no plano sagital. Adaptada de (Blauert, 1996).

Dado que as HRFTs imprimem uma alteração espectral ao som, com algumas frequências reforçadas e outras atenuadas consoante a direcção da fonte sonora, o próprio timbre do som original pode influenciar a localização no plano sagital. Tal acontece sobretudo no caso de sons que não são familiares ou cuja energia está concentrada apenas numa banda limitada do espectro audível. Neste último caso, e se a largura de banda for inferior a cerca de 2/3 de oitava, a localização no plano sagital passa a depender apenas do conteúdo espectral do evento sonoro e não do seu ponto de origem (Blauert, 1996). A figura 3.13 mostra a variação da localização de um evento auditivo em função da variação da frequência central um ruído de banda estreita que é difundido por um altifalante colocado numa direcção não especificada do plano sagital¹² (Blauert, 1996). Podemos verificar que os sons entre cerca de 200 Hz e 500 Hz são localizados à frente e entre cerca de 500 Hz e 1500 Hz atrás, voltando a ser localizados à frente entre cerca de 1500 Hz e 2000

¹² O autor refere que o altifalante pode ser colocado em qualquer direcção no plano sagital, mas não refere qual ou quais as utilizadas na concretização deste estudo.

Hz. Este teste mostra ainda que um glissando ascendente entre cerca de 2000 Hz até aos cerca de 8000 Hz é localizado como um som ascendente no plano sagital, descendo depois até ser localizado atrás enquanto se aproxima dos cerca de 10000 Hz e voltando a ser localizada à frente quando se aproxima dos cerca de 16000 Hz. Esta variação na localização no plano sagital de sons com energia concentrada na região aguda do espectro audível é muitas vezes referida na literatura e as razões para tal são facilmente visíveis na figura 3.11, já que é nesta região que se encontram os mais profundos efeitos espectrais exercidos pela orelha. O facto de não haver nenhuma frequência central que provoque, neste teste, a localização abaixo do plano transversal parece antecipar uma menor capacidade de localização nesta metade inferior do plano sagital ¹³.

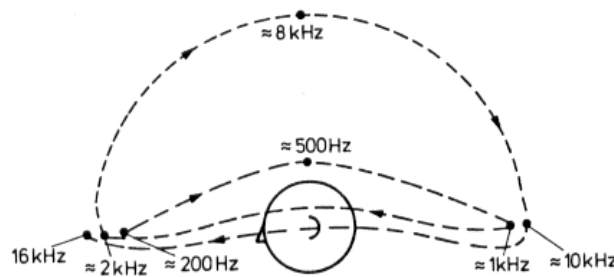


Figura 3.13. Variação da localização de ruído com largura de banda estreita e frequência central variável (Blauert, 1996).

3.5 Percepção da Distância

A percepção da distância de uma fonte sonora, tal como a localização no plano sagital, depende em grande medida das características do evento sonoro e da familiaridade do ouvinte para com estas. A lei do inverso do quadrado da distância (Henrique, 2002) afirma que a intensidade sonora I diminui de forma inversamente proporcional ao quadrado da distância r

$$I \propto \frac{1}{r^2} \tag{3.4}$$

Sendo a intensidade sonora proporcional ao quadrado da pressão sonora, isto significa que, num campo sonoro livre ¹⁴, o nível de pressão sonora é inversamente proporcional à distância e desce aproximadamente 6 dB de cada vez que a distância à fonte sonora duplica (Henrique, 2002). A familiaridade com a fonte sonora é então fundamental para aferir esta distância, sobretudo no caso de fontes paradas, e pode mesmo

¹³ É difícil encontrar referências à localização no hemisfério inferior, o que poderá ser explicado não só pela dificuldade acrescida na colocação de fontes sonoras debaixo do ouvinte para a realização de testes, como também pelo facto de ser uma localização de fontes sonoras comparativamente mais improvável na natureza, dada a relativa proximidade da nossa cabeça ao chão.

¹⁴ I.e., onde as ondas sonoras se propagam em todas as direções sem obstáculos.

provocar um erro de percepção. A figura 3.14 mostra a relação entre a distância do evento sonoro e a distância do evento auditivo para três tipos de sons familiares: fala normal, chamamento em voz alta ¹⁵ e sussurro (Blauert, 1996). Podemos observar que se as distâncias no caso da fala normal — certamente um dos sons que nos é mais familiares — são correctamente percebidas, no caso do chamamento em voz alta a relação também é proporcional mas o evento auditivo é sempre percebido como estando mais distante do que o evento sonoro, certamente porque um chamamento em voz alta é normalmente feito a alguma distância. Mais interessante é o que acontece com o sussurro: começa por ser percebido de forma correcta a curta distância, continua a ser percebido como próximo mesmo quando a distância aumenta até que, próximo dos três metros, ao aumento da distância do evento sonoro deixa de corresponder um aumento significativo da distância do evento auditivo. As razões para isso parecem claramente cognitivas, já que o sussurro é algo que é normalmente ouvido a curta distância da fonte sonora. Este teste mostra assim que a diferença de intensidade de sons familiares é suficiente para uma boa percepção da distância, mas que os factores cognitivos são preponderantes e que a própria familiaridade pode induzir um erro de percepção.

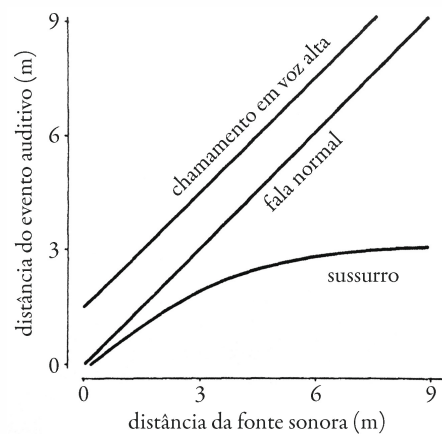


Figura 3.14. Percepção da distância da fala normal em comparação com a do chamamento em voz alta e a do sussurro. Adaptada de (Blauert, 1996).

A perspectiva auditiva com base nas diferenças de intensidade sonora é um fenómeno substancialmente diferente da perspectiva visual com base nas diferenças de tamanho, desde logo porque a própria intensidade sonora pode variar rapidamente ao longo do tempo por outros motivos que não a distância (Chowning, 1999). Como o nível da intensidade sonora diminui de forma inversamente proporcional ao quadrado distância, isto significa que, para grandes distâncias, a diminuição do nível de intensidade sonora se torna progressivamente menos relevante. A partir de distâncias superiores a cerca de 15 m, a distorção provocada pelo ar entre uma fonte sonora pontual e o ouvinte começa a ser relevante (Blauert, 1996). Se a absorção atmosférica, provocada pela fricção entre moléculas de ar, é naturalmente maior nas frequências agudas do que nas graves, um som mais distante terá menos intensidade na zona aguda do espectro audível

¹⁵ No sentido de maior intensidade.

(figura 3.15). Novamente, a percepção desta diferença espectral implica a familiaridade com as características da fonte sonora.

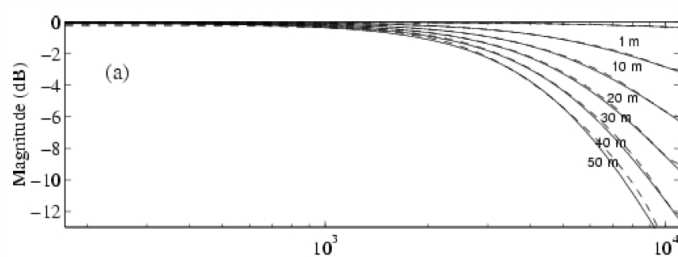


Figura 3.15. Absorção atmosférica em função da frequência para 6 distâncias diferentes, a uma temperatura de 20° C e humidade relativa de 20% (Savioja, Huopaniemi, Lokki, & Väänänen, 1999).

Para fontes sonoras pontuais a distâncias muito curtas ¹⁶, a curvatura da frente de onda começa a ser relevante quando comparada com o comprimento de onda. Isto faz com que as frequências graves sejam acentuadas, num efeito conhecido como efeito de proximidade. O decaimento da intensidade a distâncias muito próximas da fonte sonora também é mais acentuado, dada a sua natureza exponencial, pelo que as diferenças interaurais começam a ser relevantes na percepção desta diferença. Num campo sonoro livre, a percepção da distância depende da familiaridade e é então predominantemente baseada: no efeito de proximidade e nas diferenças de intensidade interaural, no caso de fontes muito próximas; no nível da pressão sonora, no caso de fontes a uma distância intermédia; na absorção atmosférica, no caso de fontes distantes.

3.5.1 Reverberação

Num espaço acústico fechado, como, e.g., uma sala de concertos, o som directo que chega da fonte ao ouvinte não é a única frente de onda que chega ao ouvido, sendo seguido pelas frentes de onda das primeiras reflexões ¹⁷ e depois pelo som difuso da reverberação. A definição mais comum de reverberação é o tempo que as reflexões consequentes à produção de um som curto, dentro de um dado espaço, demoram a decair 60 dB (Pierce, 1999). Embora este tempo de reverberação seja importante, nomeadamente na adequação às características das actividades musicais que se realizarão dentro de um dado espaço, outras características como, e.g., a direcção e tempo de chegada das primeiras reflexões são mais relevantes para a localização das fontes sonoras em espaços fechados.

¹⁶ Blauert (1996) refere 3 metros, mas outra bibliografia refere valores mais pequenos.

¹⁷ O facto de não ouvirmos estas frentes de onda como novas fontes sonoras está relacionado com o Efeito de Precedência, que será apresentado no subcapítulo 3.7.2.

A figura 3.16 mostra a relação entre o tempo de chegada de uma frente sonora directa e o tempo de chegada da reflexão provocada por uma parede paralela à deslocação da fonte sonora quando a distância entre a fonte sonora e o ouvinte varia entre 1 m e 20 m. Podemos verificar que as diferenças de tempo de chegada entre o som directo e as primeiras reflexões diminui com o aumento da distância à fonte sonora. Numa sala com características acústicas familiares, esta relação pode ser relevante para a determinação da distância a uma fonte sonora, mesmo que esta seja desconhecida.

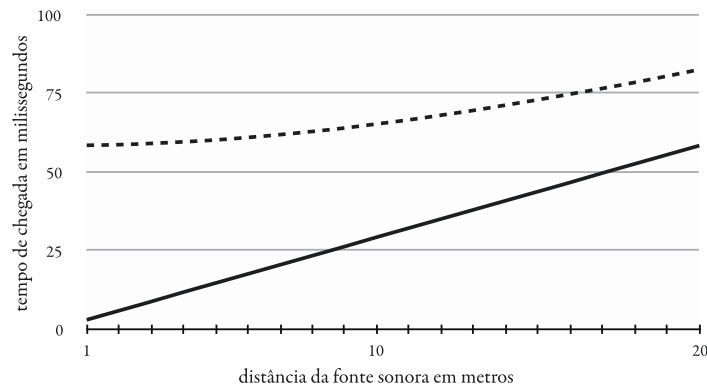


Figura 3.16. Tempo de chegada da frente sonora directa (a cheio) e da reflexão provocada por uma parede a 10 m (a tracejado), paralela à deslocação da fonte sonora, para uma variação da distância entre a fonte sonora e o ouvinte de 1 m a 20 m.

Numa sala com suficiente difusão, a intensidade sonora do som reverberante tenderá, após as primeiras reflexões, a estar uniformemente distribuída em todas as direcções, mantendo-se relativamente constante e independente da distância entre a fonte sonora e o ouvinte. Consequentemente, o rácio entre a intensidade do som directo e a intensidade da reverberação difusa varia também em função da distância.

A importância da reverberação na percepção da distância foi demonstrada por uma experiência realizada por Mark Gardner (M. B. Gardner, 1968). Dentro de uma câmara anecóica ¹⁸, uma voz era difundida por apenas um de uma sequência de altifalantes visíveis a diferentes distâncias dos sujeitos. Com a amplificação dos altifalantes ajustada de modo a que a intensidade sonora no ponto de audição se mantivesse constante, os sujeitos identificavam sempre o altifalante mais próximo como sendo a origem do som.

3.6 Percepção do Movimento

A percepção do movimento de fontes sonoras é, em primeira instância, feita através da variação no tempo dos elementos que permitem a sua localização, discutidos anteriormente. Um movimento circular no plano transversal em torno do ouvinte, e.g., irá provocar uma alteração contínua das diferenças interaurais e do

¹⁸ Sala acusticamente isolada e na qual se procura anular todas as reflexões.

conteúdo espectral do som recebido. A variação da intensidade sem alteração das diferenças interaurais, por seu turno, sugerirá uma variação da distância da fonte sonora sem mudança da sua localização. O movimento das fontes sonoras pode inclusivamente contribuir para a localização, como vimos no caso dos movimentos da cabeça ¹⁹ que ajudam a clarificar o cone de confusão, e para a sedimentação de uma familiaridade com a fonte sonora que beneficie a localização no plano sagital e a percepção da distância.

3.6.1 Efeito de Doppler

Quando uma fonte sonora está em movimento e se afasta ou se aproxima do ouvinte, a percepção da sua frequência é alterada, num efeito conhecido como efeito de Doppler, em referência a Christian Doppler, que o descreveu em meados do século XIX. Como se pode ver na figura 3.17, quando uma frente sonora se aproxima do ouvinte, as frentes de onda comprimem-se, diminuindo o comprimento de onda e aumentando a frequência. O inverso acontece quando a fonte sonora se afasta (Henrique, 2002).

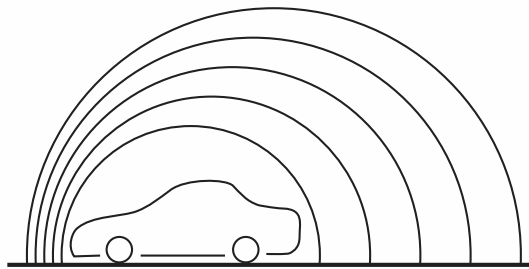


Figura 3.17. Efeito de Doppler para uma fonte sonora em movimento.

Para uma fonte sonora que emita a frequência f_0 , a frequência final f percebida pelo ouvinte é

$$f = \left(\frac{c + v_o}{c + v_f} \right) f_0 \quad (3.5)$$

sendo c a velocidade do som no meio em questão, v_o a velocidade do ouvinte e v_f a velocidade da fonte sonora. Este efeito torna-se perceptível quando a velocidade da fonte sonora relativamente ao ouvinte é superior a cerca de 25 km/h (Henrique, 2002).

3.7 Cognição

Factores cognitivos são, como vimos, determinantes na localização no plano sagital e, sobretudo, na percepção da distância. Para além dos factores acústicos e da percepção auditiva, o processamento da

¹⁹ Já que ao movimento da cabeça relativamente à fonte sonora equivale um movimento contrário da fonte sonora relativamente à cabeça.

informação pelo cérebro ajuda-nos a formar uma representação do mundo exterior, um processo no qual nos habituámos a confiar como intrínseco à nossa natureza e que terá tido um papel importante no processo de selecção natural que nos trouxe ao que somos hoje. A leitura que somos capazes de fazer sobre o mundo a partir dos dados que são percebidos pelo ouvido é, no entanto, um processo surpreendentemente complexo, o que se torna particularmente claro quando procuramos replicar esta capacidade na análise de informação áudio por computador.

O paralelo com a forma como construímos uma representação visual do mundo é inevitável, já que, apesar de serem sentidos substancialmente diferentes, ambos contribuem com representações do mesmo mundo exterior. Hermann von Helmholtz cunhou a designação *inferência inconsciente* para uma teoria segundo a qual a percepção visual utiliza os mesmos mecanismos cognitivos da razão. Partindo do princípio de que a informação recolhida pelos olhos é por si só incapaz de sustentar a percepção que obtemos do mundo através da visão, Helmholtz propõe que esta última resulta de “inferências inconscientes, sob a forma de [...] silogismos, inferências indutivas e deduções em lógica de predicados”²⁰ (Hatfield, 2002). Estas inferências partem de dados incompletos e, por isso, baseiam-se na experiência do indivíduo e são responsáveis por uma parte significativa daquilo que vulgarmente designamos por ilusões de óptica (Shepard, 1999).

Pouco tempo depois da apresentação por Helmholtz da sua teoria da inferência inconsciente, é introduzida a psicologia *Gestalt* pelo psicólogo austríaco Cristian von Ehrenfels. Esta estuda o papel da cognição na emergência de formas a partir percepção visual, nomeadamente pelo modo como estas se relacionam com o que as rodeia. Os princípios que, segundo a psicologia *Gestalt*, presidem à percepção cognitiva das formas a partir da informação visual são baseados no conceito de inferência inconsciente, embora se verifiquem também na percepção de crianças muito pequenas, o que levanta a hipótese de que não serão totalmente dependentes da experiência prévia (Shepard, 1999). Um resumo dos princípios de agrupamento das formas propostos pela psicologia Gestalt é apresentado por Shepard (1999)²¹:

- Proximidade: as partes que estão próximas têm tendência a ser agrupadas.
- Similitude: as partes que apresentam semelhanças, e.g., na posição, na forma ou nas cores, têm tendência a ser agrupadas.
- Simetria: as partes que apresentam alguma simetria têm tendência a ser agrupadas.
- Boa continuidade: se as partes são colineares ou parecem dar continuidade a outras, têm tendência a ser agrupadas.

²⁰ “*perception results from unconscious inferences, in the form of (respectively) syllogisms, inductive inferences, and deductions in predicate logic.*”, no original (Hatfield, 2002, p. 116).

²¹ Optou-se por apresentar os mesmos princípios enumerados por Shepard (1999), já que se trata de um artigo que parte destes princípios para a sua aplicação à audição. Outra bibliografia apresenta outros princípios adicionais, como, e.g., o de preenchimento, que descreve a tendência de perceber a forma com limites incompletos como encerrando-se sobre si mesma.

- Destino comum: as partes que se movem em conjunto têm tendência a ser agrupadas.

O princípio do agrupamento de formas pelo seu destino comum é o mais forte dos apresentados, já que “é extremamente improvável que duas coisas se movam de forma perfeitamente correlacionada a não ser que estejam conectadas de alguma forma” ²² (Shepard, 1999). O princípio do destino comum também acontece na percepção auditiva, sendo utilizado pelos compositores para, e.g., aglutinar movimentos melódicos ou timbres. Um exemplo em que a sua utilização intencional é particularmente clara é um gesto criado por John Chowning para a sua peça *Phoné* [1980-81] ²³, no qual sons que começam por ser identificados em conjunto como um sino, dado o destino comum criado pelo transitório de ataque que agrega um conjunto parciais inarmónicos, vêm depois a sua percepção transformada num conjunto de vozes através da aplicação de uma modulação de frequência (i.e., vibrato) periódica a cada um dos grupos de parciais harmónicos entre si (figura 3.18).

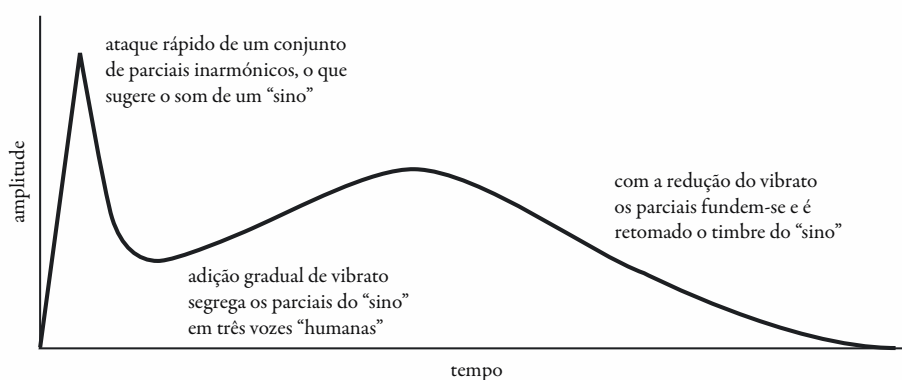


Figura 3.18. Gesto musical de John Chowning para *Phoné* [1980-81], mostrando um momento em que o compositor utiliza o princípio do destino comum para conduzir a percepção do ouvinte, transformando o som de um sino em vozes.

Salvo nos casos mais estritos de escuta reduzida em contexto acusmático, a audição é parte de um contexto multissensorial, sendo de particular importância a ligação entre esta e a visão. O princípio do destino comum está presente nesta fortíssima ligação cognitiva que estabelecemos, e.g., quando associamos a visualização do súbito embate de uma baqueta em movimento numa lâmina de xilofone à audição do seu som idiomático. Quando a informação é contraditória ou incompleta, tendemos a privilegiar a adquirida pela visão (Colavita, 1974), como é claro no caso do efeito de McGurk (McGurk & MacDonald, 1976). Este efeito demonstra o carácter bimodal da percepção da fala pela indução de falsas percepções auditivas como consequência da visualização de uma boca a articular fonemas diferentes dos que estão a ser ouvidos. Esta preponderância acontece também na percepção espacial, sendo notória, e.g., na percepção da

²² “In the world, it is extremely improbable that two things move in a perfectly correlated way unless they are in some way connected.”, no original (Shepard, 1999, p. 33).

²³ Um gesto deste tipo pode ser ouvido na faixa 77 do CD que integra (Chowning, 1999).

localização da fala como vindo da boca de um actor visível no ecrã e não dos altifalantes que de facto a reproduzem (Begault, 1986).

3.7.1 Análise da Cena Auditiva

Os princípios da psicologia *Gestalt* descrevem o modo como as formas emergem na nossa mente e são muito úteis para os compositores que pretendam desenvolver estratégias para conduzir a percepção do ouvinte. Nada nos dizem, contudo, sobre a causa desta percepção e sobre o modo como os nossos ouvidos e a nossa cognição trabalham em conjunto para a formar (Bregman, 1990). É nesta questão que incide a *análise de cena auditiva*²⁴, que estuda a forma como segregamos os componentes individuais de uma cena auditiva que é recebida pelos ouvidos como um conjunto de estímulos sobrepostos, interligados e desenvolvendo-se ao longo do tempo. O termo foi cunhado pelo psicólogo canadiano Albert Bregman, autor da sua principal referência (Bregman, 1990), e refere-se à forma como um ouvinte é capaz, e.g., de ouvir o som que o rodeia como um todo ou de optar por concentrar a sua atenção apenas num dos seus componentes, separando-o dos restantes. Uma analogia proposta por Bregman para o problema da análise de cena auditiva é a de dois estreitos canais cavados na margem de um lago, nos interior dos quais são estendidos, latitudinalmente, dois lenços. Estes canais representam os canais auditivos e os lenços os tímpanos de um ouvinte. Apenas pela análise do movimento dos lenços, o ouvinte deve ser capaz de saber quantos barcos existem no lago e qual a sua posição.

Um dos exemplos mais citados da análise de cena auditiva é o efeito *cocktail party*. Este refere-se à capacidade de perceber o discurso oral de uma pessoa num contexto em que várias conversas decorrem em simultâneo. A capacidade de segregação com base na informação espacial é um factor importante nesta concentração, pelo que num caso em que, e.g., dois discursos sejam difundidos em simultâneo e com volumes idênticos através de altifalantes, é mais fácil a concentração num dos discursos quando estes são difundidos por altifalantes diferentes do que quando são difundidos pelo mesmo altifalante²⁵ (Pierce, 1999). O nome deste efeito é cunhado por Colin Cherry (1953) num artigo no qual relata várias experiências sobre a percepção de discursos orais. Numa delas, um sujeito ouve dois discursos em simultâneo através de auscultadores, com cada discurso isolado num canal. O pedido de concentração num dos discursos e de repetição das suas palavras é conseguido sem dificuldade pelos sujeitos, mas estes são por fim incapazes de responder a qualquer questão sobre o discurso que se encontrava no canal oposto, i.e., o que havia sido ignorado durante a experiência, o que demonstra a inibição da sua inteligibilidade. Já neste artigo, Cherry coloca a pergunta sobre como “poderíamos desenhar uma máquina (“filtro”) capaz de [...]

²⁴ *Auditory Scene Analysis*, no original.

²⁵ O que confirma a presença da prática de utilização da separação espacial na segregação de diferentes vozes musicais.

reconhecer o que uma pessoa diz quando outros falam em simultâneo”²⁶ (Cherry, 1953), replicando assim esta capacidade da percepção auditiva humana. Parte da crescente relevância da investigação da análise de cena auditiva prende-se assim com a sua aplicação na concepção de sistemas de análise de cena auditiva computacional²⁷ (Brown, 1992; D. Wang & Brown, 2006). Uma outra aplicação, particularmente relevante para a composição, da análise de cena auditiva é a sua utilização enquanto modelo de análise da música electroacústica (Mountain, 2009), já que nesta última a perspectiva analítica dominante é a do ouvinte, dada a dificuldade em ter acesso a materiais anteriores à concretização final da obra.

3.7.2 Efeito de Precedência

Como referido anteriormente, a reverberação e, sobretudo, as primeiras reflexões são factores importantes para a percepção da distância de uma fonte sonora e para o reconhecimento auditivo de um espaço, num processo que tem algumas analogias com a ecolocalização utilizada por alguns animais (e.g., morcegos ou golfinhos) e que foi evidenciado em *Vespers* [1968], de Alvin Lucier. A frente de onda da primeira reflexão é, no fundo, uma versão da frente de onda original que chega aos ouvidos com algum atraso relativamente a esta última. No entanto, raras são as ocasiões em que identificamos esta reflexão como um eco isolado do som original. Na maior parte dos casos, o nosso sistema auditivo integra a informação das reflexões como informação adicional sobre a frente de onda original, num processo que é conhecido como o *efeito de precedência*²⁸.

Esta inibição da percepção do eco acontece quando este chega aos ouvidos até entre 25 ms e 35 ms depois do som original (Haas, 1972)²⁹, mesmo quando a intensidade do eco é superior à do som original até cerca de 10 dB (Pierce, 1999). A diferença máxima entre o tempo de chegada das frentes de onda para que se dê o efeito de precedência depende das características do evento sonoro, sendo mais baixa no caso de transitórios de ataque curtos e muito definidos e mais alta em caso contrário. Dado que se refere à diferença de tempo de chegada de uma frente de onda a ambos os ouvidos, o efeito de precedência dá-se então de forma independente da diferença de tempo de chegada interaural. Esta última é, aliás, utilizada na percepção da direcção de chegada tanto do som original como do som reflectido.

²⁶ “[...] how do we recognize what one person is saying when others are speaking at the same time (the “cocktail party problem”)? On what logical basis could one design a machine (“filter”) for carrying out such an operation?”, no original (Cherry, 1953, pp. 975-976).

²⁷ *Computational Auditory Scene Analysis*, no original (Brown, 1992).

²⁸ Por vezes designado como lei da superfície frontal primordial ou ainda como *Haas Effect*, em consequência da sua descrição por Helmut Haas (1972), embora as experiências sobre este fenómeno remontem, pelo menos, a meados do século XIX (Pierce, 1999).

²⁹ Em comparação, a diferença de tempo de chegada interaural refere-se a diferenças de tempo de, no seu ponto máximo, aproximadamente 675 µs entre os dois ouvidos, como calculado anteriormente.

3.7.3 Efeito de Persistência da Localização

Tal como acontece com a visão, também uma fonte sonora que descreva um movimento suficientemente rápido causa um efeito de persistência da localização. Aschoff, num teste realizado em 1963 (citado por Blauert, 1996), coloca um grupo de ouvintes no centro de um círculo definido por 18 altifalantes que, um de cada vez e iterando ao longo do círculo, são usados para reproduzir um ruído. Quando a velocidade de iteração é lenta, os ouvintes percebem um ruído a circular em torno das suas cabeças. Aumentando a velocidade de iteração, o ruído é percebido como oscilando entre o hemisfério esquerdo e o hemisfério direito. Aumentando ainda mais a velocidade, a percepção resume-se a um evento auditivo constante e difuso, localizado aproximadamente no centro da cabeça. Experiências seguintes mostram ainda que este efeito de persistência afecta mais a alternância entre o hemisfério anterior e o hemisfério posterior do que a alternância entre o hemisfério esquerdo e o hemisfério direito, o que poderá ser explicado pela falta de diferenças interaurais no primeiro caso. Em frequências de alternância superiores a, em média, 4,3 Hz no primeiro caso e 5,8 Hz no segundo, o efeito de persistência torna impossível a percepção correcta tanto das diferentes localizações como do movimento.

3.7.4 Momento Representacional

Freyd & Finke (1984) descrevem pela primeira vez o erro de localização, no sentido do movimento, de um objecto em movimento, fenómeno que intitulam de *momento representacional*, pela analogia com o momento físico. Este fenómeno mostra que a percepção da localização de objectos em movimento não se limita a ser consequência dos elementos sensoriais, sendo também fruto de uma construção mais complexa que tem em conta o reconhecimento das características do seu movimento. Tem vindo a ganhar aceitação, nos últimos anos, uma hipótese que explica este fenómeno com base em factores cognitivos relacionados com uma representação mental dos princípios da dinâmica, uma *física intuitiva e pré-newtoniana*. Mostrou-se ainda que outras forças causam fenómenos análogos, como a *fricção representacional*, a *gravidade representacional* ou a *força centrípeta representacional* (Hubbard, 1995; 2005). Estes fenómenos também acontecem na percepção auditiva (Getzmann, Lewald, & Guski, 2004), emergindo ao longo do movimento e não só na avaliação da sua posição final (Getzmann & Lewald, 2007). A confirmar-se a hipótese da física intuitiva, tal significa que a percepção do movimento de uma fonte sonora não está apenas relacionada com a análise dos estímulos acústicos, mas também com a comparação das características do movimento com representações mentais de fenómenos físicos conhecidos. A utilização de modelos físicos com simulação de, e.g., gravidade, inércia e atrito para a geração de gestos espaciais na espacialização dinâmica, anteriormente proposta, ganha à luz desta hipótese particular relevância.

3.8 Conclusão

O plano transversal é aquele no qual a acuidade da localização espacial é maior, dada a posição dos ouvidos em simetria sagital, configuração comum a muitos outros animais e que sugere, assim, a vantagem evolutiva desta disposição. A localização de sons no plano sagital está dependente das características espectrais e da familiaridade com o som original. A preponderância de sistemas de altifalantes bidimensionais (i.e., unicamente capazes de reproduzir sons no plano transversal) pode ser assim justificada pela maior relevância da afectação dos recursos disponíveis no sentido de uma maior resolução espacial horizontal. Não obstante, e sempre que existam os recursos necessários para tal, a colocação de altifalantes em planos superior ao transversal é uma mais-valia pela aproximação à tridimensionalidade da percepção auditiva quotidiana. Parece, contudo, necessário um estudo mais aprofundado sobre a localização na metade inferior do plano sagital para melhor justificar a construção de espaços de difusão com altifalantes no hemisfério inferior.

A capacidade de simulação da distância de fontes sonoras virtuais depende da capacidade de manipular a sua intensidade, o seu conteúdo espectral e a reverberação do espaço acústico virtual. O efeito de Doppler é muito útil na percepção do movimento, no entanto provoca uma alteração de frequência que pode inviabilizar a sua utilização em situações nas quais o controlo da afinação seja um parâmetro composicional importante. Os restantes elementos que conduzem à percepção do movimento podem, nesse caso, ser explorados na simulação do movimento de fontes sonoras virtuais, restringindo assim a utilização do efeito de Doppler às situações em que o controlo da afinação não seja prioritário.

No modelo “Fonte – Meio – Receptor”, apresentado no início do capítulo, a ligação entre a imaginação do compositor e o *software* para manipulação espacial é mediada por uma camada de abstracção. Embora esta abstracção possa ter origem na própria imaginação do compositor ³⁰, está, neste caso, directamente relacionada com a necessidade de traduzir a intenção do compositor na série de instruções adequadas para o controlo do *software* (Begault, 1990). Este modelo pressupõe então que a abordagem do *software* é de controlo e retorno diferidos — i.e., o compositor introduz a instrução de espacialização e só depois ouve o resultado ³¹ —, implicando deste modo um refinamento iterativo até que o resultado se aproxime da intenção original. Este processo baseado no refinamento é ainda um factor que contribui para a inclusão da espacialização numa fase tardia do processo de composição, opção que podemos identificar em várias abordagens históricas à espacialização: em consequência da impossibilidade de concretização antes da performance, no caso da música instrumental; em consequência da tradicional introdução da difusão como elemento performativo, no caso da música acusmática; como resultado da imposição de uma morfologia

³⁰ Caso em que denota uma perspectiva estética mais próxima da *elektronische Musik* do que da *musique concrète* (Harrison, 2000).

³¹ Como acontece no *software* com uma abordagem cinematográfica à espacialização (ou uma abordagem estática de susceptível automatização) que, como será apresentado no subcapítulo 4.6, constitui a abordagem dominante.

sobre material sonoro pré-existente, no caso da espacialização cinemática. Justifica-se assim a opção de colocar o retorno sonoro da amplificação do estúdio a informar alterações nas especificações e não a alimentar a imaginação e cognição do compositor ³². Begault conclui o artigo com a recomendação de que se encontre formas de, logo na fonte, “minimizar o desencontro entre a fonte e o receptor através 1) da inclusão de mais parâmetros relevantes para a audição espacial e 2) do desenvolvimento de modos de composição espacial que tenham em consideração a natureza da audição espacial de forma mais realista” ³³ (Begault, 1986). Se a primeira sugestão é conseguida pela evolução do *software* de espacialização posterior ao comparado por Begault no mesmo artigo, a segunda pode ser ainda explorada através de novas propostas de interacção com o *software* de espacialização e sua integração no processo de composição.

A história da espacialização, revista no segundo capítulo, contém vários exemplos de abordagens abstractas à espacialização. Contudo, também mostra que a capacidade de experimentar a espacialização em tempo real através de instrumentos expressivos pode ser um catalisador da imaginação do compositor. Admitindo que esta é condicionada pelas suas próprias memórias e experiências — o que é explícito em casos como, e.g., *Vol d'Arondes* [1999], de Francis Dhomont —, a utilização de interfaces para espacialização que permitam o controlo em tempo real de modelos dessas referências pode ajudar a que o retorno auditivo beneficie a cognição do compositor. O momento representacional e a hipótese de que a percepção do movimento de fontes sonoras é condicionada pela representação mental de uma física intuitiva parecem confirmar a premência do desenvolvimento de modelos para a espacialização dinâmica. A criação de interfaces para espacialização nas quais o controlo do movimento seja realizado a partir da manipulação de uma visualização de modelos físicos pode então contribuir para beneficiar a cognição e alimentar a imaginação do compositor. De modo análogo, um retorno visual que mimetize o movimento sonoro pode também beneficiar a percepção do compositor sobre os gestos espaciais gerados, dada a preponderância da percepção visual e o destino comum reconhecível no estímulo multissensorial.

Fundando a concepção das ferramentas de espacialização nesta perspectiva, é possível reformular o modelo “Fonte – Meio – Receptor” por forma a aproximar a imaginação e cognição do compositor da cognição espacial dos ouvintes (figura 3.19). Na fonte, a imaginação do compositor pode estar não apenas na origem do pensamento espacial, mas ser sobretudo um elemento de um sistema interactivo que inclui também interfaces concebidas para estimular a experimentação em tempo real da espacialização e providenciar um retorno audiovisual que estimule a sua cognição espacial. A concepção de uma ferramenta de espacialização que torne mais fácil a tradução das características acústicas da reprodução — i.e., da reverberação,

³² Na verdade, num artigo sobre a composição espacial para auscultadores (Begault, 1990), Begault refaz esta ligação, colocando-a a alimentar a imaginação do compositor. No entanto, esta alteração do esquema não se reflecte numa alteração da ideia de que as alterações das especificações de controlo do *software* são parte de um processo interactivo de refinamento que tem como objectivo a maior fidelidade possível à imaginação do compositor.

³³ “Attempts could be made to further minimize the mismatch between source and receptor by both 1) including additional parameters significant to spatial hearing, and 2) developing modes of spatial composition that more realistically account for the nature of spatial hearing in the source.”, no original (Begault, 1986, p. 22).

equalização, distância dos altifalantes, etc. — entre o estúdio e a sala de concertos pode contribuir para aproximar as características da reprodução entre estes espaços. A percepção dos ouvintes poderá ser ainda beneficiada pela projecção em vídeo, aquando da execução da obra, de uma visualização dos mesmos modelos utilizados para a geração dos gestos espaciais. Se a cognição espacial dos ouvintes será sempre diferente da imaginação do compositor, o maior potencial expressivo das ferramentas de manipulação espacial, a aproximação entre as condições de escuta na criação e na apresentação e ainda a utilização de modelos comuns à cognição espacial do compositor e dos ouvintes para a geração da espacialização poderão contribuir para uma maior proximidade entre a fonte e o receptor.

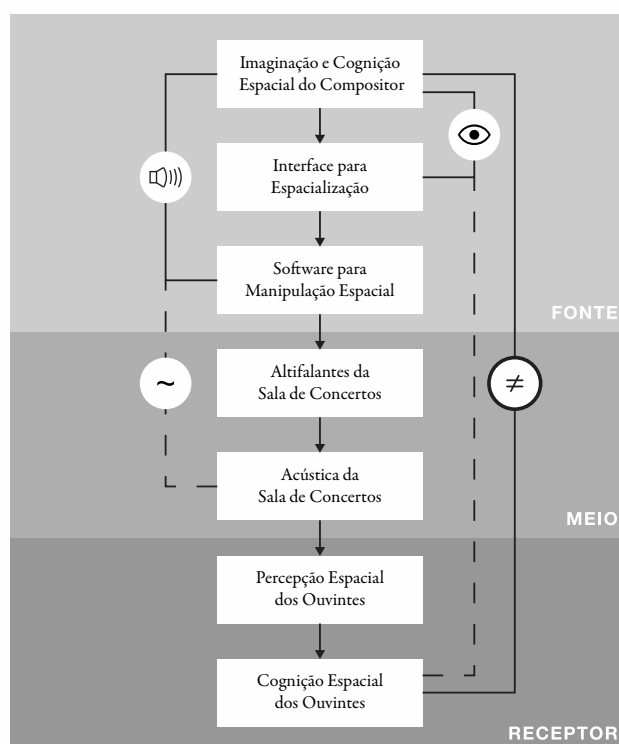


Figura 3.19. Proposta de revisão do modelo “Fonte – Meio – Receptor”, originalmente proposto por (Begault, 1986).

4. Técnicas de Espacialização

Com curiosidade, encostei o funil a esta minha confiada orelha, afeita á singeleza dos rumores da serra. E logo uma Voz, muito mansa, mas muito ducidida, aproveitando a minha curiosidade para me invadir e se apoderar do meu entendimento, susurrou capciosamente:

—...«E assim, pela disposição dos cubos diabolicos, eu chego a verificar os espaços hypermagicos!...»

Pulei, com um berro.

—Oh Jacintho, aqui ha um homem! Está aqui um homem a fallar dentro d'uma caixa!

O meu camarada, habituado aos prodígios, não se alvoroçou:

—É o Conferençophone... Exactamente como o Theatrophone; sómente applicado ás escolas e ás conferencias. Muito commodo!

Eça de Queiroz, em “A Cidade e as Serras” ¹

4.1 Introdução

Depois da invenção dos primeiros mecanismos de gravação e reprodução de áudio no final do século XIX, as primeiras décadas do século XX assistem à luta pela hegemonia entre os meios de reprodução musical, como, e.g., o fonógrafo e o gramofone. A crescente popularidade do cinema e a explosão da era dos *talkies* ², no final da década de 1920, criam a necessidade de sistemas de reprodução de áudio com maior fidelidade, de métodos para sincronização do som com a imagem e, por fim, de uma estereofonia sonora capaz de mimetizar o movimento visível no ecrã. É então no início da década de 1930 que as jovens indústrias do

¹ (Queiroz, 1901, pp. 15-16)

² Nome pelo qual ficam conhecidos os primeiros filmes com som.

audiovisual desenvolvem as primeiras técnicas de captação e reprodução multicanal. As opções tomadas neste período seminal serão determinantes na definição dos paradigmas tecnológicos dominantes e na subsequente evolução das principais técnicas de espacialização.

4.2 Estereofonia de Intensidade

Alan Blumlein desenvolve, em 1931, os primeiros sistemas de captação estereofónicos com microfones coincidentes, i.e., com as cápsulas tão próximas quanto possível do mesmo ponto no espaço. Na introdução do seu registo de patente, Blumlein (1933) refere que uma captação feita com dois microfones colocados a uma distância equivalente à que existe entre os dois ouvidos humanos traduz eficazmente a localização das fontes sonoras, pela reprodução, ainda que aproximada, das diferenças de tempo e dos desfasamentos interaurais. No entanto, esta reprodução é apenas correcta quando ouvida através de auscultadores, já que, no caso da reprodução com um par de altifalantes, o som de cada um dos canais acaba por chegar a ambos os ouvidos, num efeito que é conhecido como *cross-talk*³. Propõe então a utilização de microfones coincidentes, baseando a construção da imagem estereofónica na captação e reprodução de diferenças de intensidade e ignorando as diferenças de tempo e fase, dada a coincidência da posição dos microfones no espaço⁴.

Embora as diferenças de fase não estejam presentes na gravação⁵, acabam por ser recriadas na reprodução com altifalantes, o que acontece como consequência do inevitável *cross-talk*, transformado desta forma numa mais-valia. A figura 4.1 ilustra este processo: uma sinusóide de frequência grave é difundida através de dois eventos sonoros, correspondentes a cada um dos altifalantes, tendo maior amplitude o difundido pelo altifalante esquerdo. Este é recebido pelo ouvido ipsilateral antes do respectivo *cross-talk* vindo do altifalante direito, já que este último tem de percorrer uma distância maior. Como o inverso acontece no ouvido direito, os dois ouvidos acabam por receber um resultado análogo ao que aconteceria com um evento sonoro isolado: o som chega a ambos os ouvidos com amplitude semelhante, mas em fases diferentes, sendo este desfasamento proporcional à diferença de amplitude entre os altifalantes. No caso das frequências mais agudas, o próprio efeito de sombra acústica da cabeça é eficaz a minimizar o efeito de *cross-talk*, beneficiando a percepção das diferenças de intensidade interaurais. O sistema proposto por Blumlein é assim eficaz a reproduzir tanto as diferenças de intensidade como os desfasamentos interaurais, fazendo-o aproximadamente nas gamas de frequências em que estes são mais eficazes. No entanto, esta

³ Existem hoje técnicas de processamento de sinal que permitem o cancelamento do *cross-talk*. Estas, no entanto, funcionam apenas para um ouvinte imobilizado na posição central.

⁴ Como se tratam, neste caso, de captações exclusivamente no plano transversal, a tradicional colocação de um microfone sobre o outro faz com que as cápsulas dos microfones, na projecção sobre este plano, ocupem o mesmo ponto no espaço.

⁵ O que torna a estereofonia de intensidade compatível com a reprodução monofónica, já que a soma dos dois canais estereofónicos não produz alterações tímbricas.

reprodução acontece de forma plena apenas para o ouvinte no ponto de convergência dos altifalantes, vulgarmente designado como *sweet spot*, perdendo progressivamente a sua eficácia com a distância a este ponto (Clark, Dutton, & Vanderlyn, 1958).

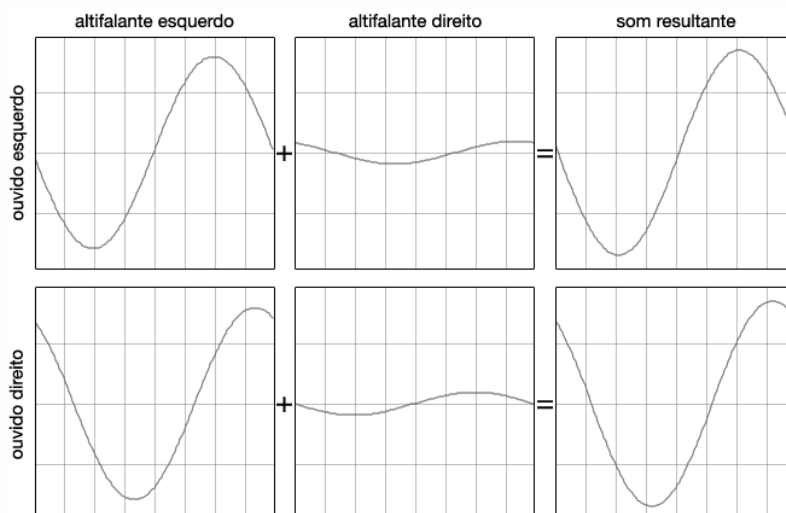


Figura 4.1. Exemplo de diferença de fase interaural, provocada pela diferença de amplitude e pelo *cross-talk*, de uma onda sinusoidal grave numa estereofonia de intensidade.

O primeiro sistema de captação que propõe fica conhecido como *Blumlein pair* e consiste na utilização de dois microfones bidireccionais dispostos num ângulo de 90° ⁶. No mesmo registo de patente, descreve ainda um outro sistema de captação baseado em dois microfones coincidentes — neste caso, um omnidireccional e um bidireccional — para codificar o áudio estereofónico em dois canais. Este sistema, hoje conhecido como *Mid-Side* ⁷, introduz uma novidade: a informação captada pelos microfones não se destina a ser reproduzida directamente pelos altifalantes, antes pressupõe a utilização de uma simples matriz de soma e subtração para descodificar os sinais gravados. Como se pode ver na figura 4.2, somando o sinal do microfone cardióide M com o do microfone bidireccional S obtém-se o canal esquerdo L e subtraindo o sinal do microfone M pelo do microfone S (i.e., somando o primeiro com a inversão de fase do segundo) obtém-se o canal direito R. As diferenças de fase codificadas na gravação ⁸ são assim descodificadas como diferenças de intensidade para reprodução pelos altifalantes, sendo a tradução inversa igualmente possível. No caso de os canais descodificados L e R serem somados e reproduzidos apenas por um altifalante, o resultado obtido é idêntico ao áudio captado pelo microfone cardióide M. Através da variação da intensidade relativa do sinal dos dois microfones na altura da descodificação, é possível obter

⁶ Tornou-se posteriormente mais comum a utilização de um par de microfones com um padrão de captação cardióide, conhecido como par XY.

⁷ Mais comumente utilizado com um microfone cardióide a substituir o omnidireccional proposto por Blumlein.

⁸ Que não têm qualquer relação com os desfasamentos interaurais.

reproduções estereofónicas com diferentes “larguras”, sendo esta intervenção possível tanto na altura da gravação como posteriormente, abrindo a porta à manipulação em estúdio deste parâmetro ⁹.

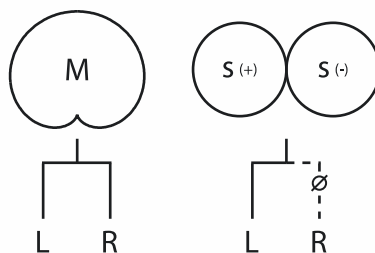


Figura 4.2. Gravação com a técnica *Mid-Side* (utilizando um microfone cardióide M e um microfone bidireccional S) e respectiva descodificação para estereofonia de intensidade (L e R, respectivamente os canais esquerdo e direito).

4.2.1 Ambisonics

Ainda no mesmo registo de patente, Blumlein refere a possibilidade de expandir o sistema *Mid-Side* para mais canais. No entanto, só no início da década de 1970 é que Michael Gerzon descreve o sistema que ficou conhecido como *Ambisonics* (Gerzon, 1973), expandindo os conceitos de Blumlein para o áudio tridimensional. O sistema *Ambisonics* original propõe a codificação do campo sonoro tridimensional de forma semelhante à que acontece no sistema *Mid-Side*, utilizando quatro canais aos quais correspondem quatro microfones coincidentes: W, microfone omnidireccional; X, microfone bidireccional frente-trás; Y, microfone bidireccional esquerda-direita, Z, microfone bidireccional cima-baixo ¹⁰ (figura 4.3). Estes quatro canais constituem um formato denominado como *B-format* e correspondem às harmónicas esféricas de ordem 0 (W) e 1 (X, Y, Z) ¹¹.

⁹ Vários *plugins* de efeitos utilizam, aliás, a conversão do estéreo para *Mid-Side* antes do processamento do sinal áudio.

¹⁰ Embora seja possível colocar os microfones W, X e Y de forma quase coincidente quando considerada a sua projecção no plano transversal, é, na prática, impossível colocar os quatro microfones W, X, Y e Z de modo coincidente. Gerzon dedica uma parte substancial do artigo a descrever sistemas de microfones para esta captação, nomeadamente o de um microfone com quatro cápsulas direccionais em tetraedro, hoje conhecido como *Soundfield*, capaz de captar quatro canais de áudio num formato que designa como *A-format*, que é por sua vez traduzido no *B-format* para posterior edição. Embora uma parte considerável da bibliografia sobre *Ambisonics* e *High Order Ambisonics* se debruce sobre a captação, este tema está fora do âmbito deste trabalho e não será abordado em profundidade.

¹¹ Na nomenclatura matemática, correspondem na realidade às harmónicas esféricas de grau 0 e 1, com ordens variáveis: W (grau 0, ordem 0), X (grau 1, ordem 1), Y (grau 1, ordem -1) e Z (grau 1, ordem 0). No entanto, e dada a tradição da utilização do termo ordem nas referências consultadas, será mantida neste documento a nomenclatura tradicional do sistema *Ambisonics*.

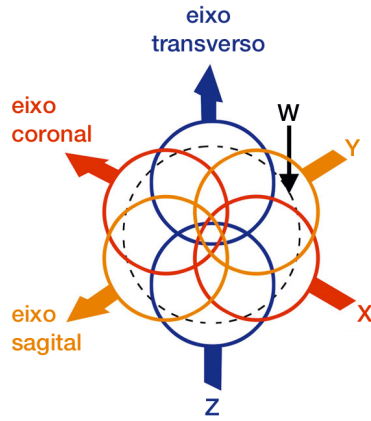


Figura 4.3. Representação dos quatro microfones coincidentes a que correspondem os quatro canais do *Ambisonics B-format*.

A síntese de campos sonoros *Ambisonics* é simples e parte da definição matemática dos quatro canais do *B-format* para a codificação neste campo sonoro de um sinal monofónico i através da sua orientação, expressa em azimute θ e elevação ϕ

$$W = i \frac{\sqrt{2}}{2} \quad (4.1)$$

$$X = i \cos \theta \cos \phi \quad (4.2)$$

$$Y = i \sin \theta \cos \phi \quad (4.3)$$

$$Z = i \sin \phi \quad (4.4)$$

São retirados 3 dB (multiplicando a amplitude por $\sqrt{2}/2 \approx 0,7071$) ao sinal do canal W pela necessidade de manter um equilíbrio entre as amplitudes dos diferentes canais e para manter a retrocompatibilidade com as gravações efectuadas pelos microfones Soundfield (Malham, 1990). É possível abdicar da informação da altura (i.e., do canal Z), reduzindo então o número de canais necessários para a codificação do campo sonoro, agora bidimensional, a apenas três.

Tal como acontece com o sistema *Mid-Side*, é necessário descodificar a informação presente no *B-format* para que o campo sonoro possa ser reproduzido através de altifalantes. A vantagem do sistema *Ambisonics* é que é fácil fazer esta descodificação para qualquer configuração circular e regular de altifalantes, atribuindo a cada altifalante s uma amostra retirada no ponto do campo sonoro onde este se encontra

$$s = \frac{1}{2} \left[g_1 \left(\sqrt{2}W \right) + g_2 \left(X \cos \theta \cos \phi + Y \sin \theta \cos \phi + Z \sin \phi \right) \right] \quad (4.5)$$

sendo θ o azimute e ϕ a elevação do altifalante s , W, X, Y e Z os canais do *B-format*, e g_1 e g_2 , respectivamente, os ganhos do componente omnidireccional e dos componentes direccionais. O canal W sofre uma amplificação de 3dB (multiplicando a amplitude por $\sqrt{2} \approx 1,4142$) para compensar a atenuação aplicada na gravação ou codificação ¹². Todos os altifalantes contribuem assim para a reconstrução do campo sonoro através da reprodução dos seus componentes com diferentes intensidades e fases consoante o ponto onde se encontram. Consequentemente, a reprodução equilibrada da informação disponível obriga à utilização de configurações de altifalantes circulares e regulares ¹³, com um número de altifalantes maior do que o número de canais codificados ¹⁴.

A razão Γ entre o ganho dos componentes direccionais e o ganho do componente omnidireccional,

$$\Gamma = \frac{g_2}{g_1} \quad (4.6)$$

é um elemento fundamental da descodificação de um campo sonoro *Ambisonics* e tem importantes implicações na percepção da localização. Na definição de Gerzon:

A decoder or reproduction system for 360° surround sound is defined to be Ambisonic if, for a central listening position, it is designed such that:

- i) velocity and energy vector directions are the same at least up to around 4 kHz, such that the reproduced azimuth $\theta_V = \theta_E$ is substantially unchanged with frequency,*
- ii) at low frequencies, say below around 400 Hz, the magnitude of the velocity vector is near unity for all reproduced azimuths,*
- iii) at mid/high frequencies, say between around 700Hz and 4kHz, the energy vector magnitude is substantially maximised across as large a part of the 360° sound stage as possible. (Gerzon & Barton, 1992)*

¹² Existem várias definições desta equação de descodificação (Gerzon & Barton, 1992; Malham & Myatt, 1995; Farina & Ugolotti, 1998; Daniel, 2001; Hollerweger, 2008). Algumas integram a amplificação de 3dB do canal W no ganho g_1 , outros compensam-na retirando 3dB ao ganho g_2 . Como a relação entre g_1 e g_2 é particularmente relevante no comportamento da descodificação, optou-se pela inclusão da amplificação de 3dB de modo a tornar evidente esta relação. Também o ganho do sinal de cada altifalante, neste caso definido como 1/2, é nalgumas definições inexistente e noutras tem em conta o número total de altifalantes. Esta variação tem apenas consequências no volume da descodificação, sujeito a muitos outros factores (e.g., a amplitude do sinal codificado ou a amplificação do sistema de reprodução), pelo que se optou por manter este ganho constante.

¹³ É possível fazer a descodificação para configurações irregulares de altifalantes — como, e.g., no caso da descodificação para estéreo e ITU 5.1 — através de matrizes de descodificação específicas. Estes casos serão descritos no subcapítulo 5.4.

¹⁴ Ou seja, 5 no caso do *B-format* completo ou 4 no caso do *B-format* sem o componente vertical Z. Estes números correspondem ao mínimo para que exista uma reprodução sem falhas do campo sonoro, sendo desejável a utilização de tantos altifalantes quantos as condições técnicas permitirem.

O vector velocidade ¹⁵, que corresponde à localização das frequências graves (Gerzon, 1992), é definido no plano transverso como

$$r_V = \frac{\sum_{s=1}^S g_s \theta_s}{\sum_{s=1}^S g_s} \quad (4.7)$$

sendo S o número total de altifalantes, g_s o ganho e θ_s o azimute do altifalante s . O vector de energia, que modela a localização das frequências agudas e dos sinais de largo espectro (Gerzon, 1992), é definido no plano transverso como

$$r_E = \frac{\sum_{s=1}^S g_s^2 \theta_s}{\sum_{s=1}^S g_s^2} \quad (4.8)$$

A unidade do vector de velocidade, que acontece quando $\Gamma = 2$ (Farina & Ugolotti, 1998; Daniel, 2001), beneficia a percepção dos desfasamentos interaurais, razão da sua importância para a percepção da localização nas frequências graves, mas funciona de forma óptima apenas para um único ouvinte no *sweet spot*, dado que maximiza as interacções entre fases opostas no centro do sistema. A maximização do vector de energia beneficia a percepção das diferenças de intensidade interaurais, razão da sua relevância na percepção das frequências médias e agudas, e acontece quando $\Gamma = \sqrt{2}$, no caso do *B-format* horizontal (i.e., sem o canal Z) (Farina & Ugolotti, 1998; Daniel, 2001; Heller, Lee, & Benjamin, 2008) ou quando $\Gamma = (2/3)\sqrt{3}$, no caso do *B-format* completo (Daniel, 2001; Heller et al., 2008).

O descodificação proposta por Gerzon pressupõe assim a utilização de um *cross-over* ¹⁶ e de descodificadores independentes para as regiões grave e aguda. No entanto, o trabalho de Gerzon centra-se na reprodução de gravações em ambientes domésticos, pelo que assume a descodificação para espaços pequenos e para um só ouvinte no *sweet spot*. Em salas de difusão grandes, a utilização de componentes anti-fase pode criar problemas de localização para ouvintes fora do *sweet spot* (Malham, 1992). É esta a razão que preside à proposta de utilização de $\Gamma = 1$, no caso do *B-format* horizontal (Malham & Myatt, 1995; Farina & Ugolotti, 1998; Daniel, 2001), ou de $\Gamma = 2/3$, no caso do *B-format* completo (Daniel, 2001). Ao fazer equivaler o ganho do componente omnidireccional e o ganho dos componentes direccionais, são anulados os componentes anti-fase da descodificação, razão pela qual esta proposta é conhecido como *in-phase decoder* ¹⁷.

¹⁵ Designado por Gerzon como “*Makita vector*”, em referência à teoria sobre a localização das frequências graves em sistemas estereofónicos de Makita (1962).

¹⁶ Designação vulgar para um dispositivo electrónico que combina um filtro passa-alto e um filtro passa-baixo para a divisão do espectro em duas regiões, grave e aguda.

¹⁷ Também referida na bibliografia como *controlled opposites decoder* (Kearney, Bates, Boland, & Furlong, 2007; Malham, 2007; Lee, 2008).

A figura 4.4 mostra o comportamento dos três decodificadores apresentados: unidade do vector de velocidade, maximização do vector de energia e *in-phase*, cujas respostas variam entre o hipercardióide e o cardióide¹⁸, em ordem decrescente de precisão da localização e crescente de diâmetro do *sweet spot*.

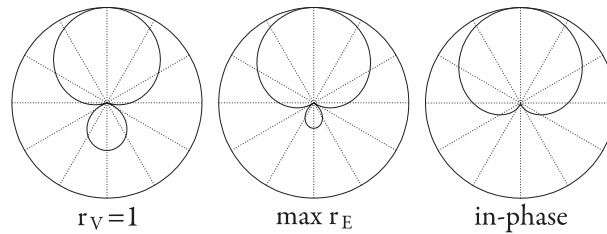


Figura 4.4. Resposta no plano transversal da amostra para um altifalante no ponto $\theta = 0^\circ$, a partir de um *B-format* horizontal, utilizando três decodificadores *Ambisonics*: da esquerda para a direita, unidade do vector de velocidade ($\Gamma = 2$), maximização do vector de energia ($\Gamma = \sqrt{2}$) e *in-phase* ($\Gamma = 1$) (Daniel, 2001).

As possibilidades de manipulação do *B-format* também expandem as introduzidas pelo *Mid-Side*. Simples matrizes para manipulação dos seus quatro canais permitem a rotação do campo sonoro em torno de qualquer um dos três eixos: sagital, coronal ou transversal (Malham, 2007). No caso dos campos sonoros bidimensionais (i.e., sem o canal Z), perde-se a possibilidade de rotação sobre qualquer outro eixo que não o transversal.

4.2.2 High Order Ambisonics

A tentativa de comercialização do *Ambisonics* fracassou, por razões cuja análise está para além do âmbito deste trabalho, e a sua utilização manteve-se marginal durante algumas décadas. No entanto, o interesse neste sistema ressurgiu no final do século passado e ganha progressiva relevância ao longo da primeira década do século XXI. Este interesse deve-se, em grande medida, à investigação em torno do que é globalmente designado como *High Order Ambisonics* (HOA), um método para aumentar a definição espacial dos campos sonoros *Ambisonics* através de harmónicas esféricas de ordens superiores¹⁹.

Se são ainda raros os microfones que permitem a captação com HOA, a sua síntese e reprodução são feitas com a mesma simplicidade e flexibilidade do sistema *Ambisonics* original, necessitando apenas de um maior número de canais para transmissão do campo sonoro codificado e de mais altifalantes para reproduzir a sua

¹⁸ Os casos extremos são fáceis de perceber dada a natureza dos canais do *B-format*: para $\Gamma = 1/0$ (i.e., $g_1 = 0$ e $g_2 = 1$) a resposta será figura-de-8, correspondente, e.g., ao canal X no caso de $\theta = \phi = 0^\circ$; para $\Gamma = 0$ (i.e., $g_1 = 1$ e $g_2 = 0$) a resposta será sempre omnidireccional, correspondente ao canal W.

¹⁹ Tal como a expansão para três dimensões do sistema *Mid-Side* já tinha sido prevista por Blumlein (1933), a possibilidade de expansão do *Ambisonics* para harmónicas esféricas de ordens superiores é proposta logo no artigo seminal de Gerzon (1973).

maior resolução espacial ²⁰. Já que o HOA é cumulativo — i.e., os canais correspondentes às novas ordens são adicionados aos já existentes ²¹ (figura 4.5) — o sistema é simultaneamente retrocompatível e expansível. Não havendo limites teóricos para o número de ordens das harmónicas esféricas, a resolução espacial máxima do HOA depende apenas da disponibilidade do número de canais necessários à sua transmissão, manipulação e difusão.

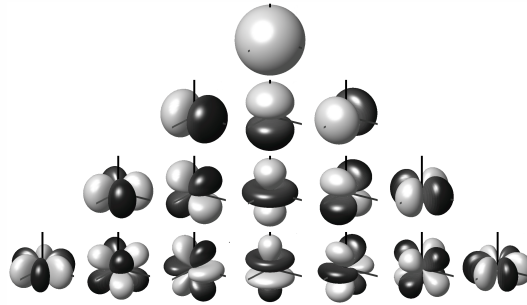


Figura 4.5. Harmónicas esféricas correspondentes ao HOA de 3ª ordem. De cima para baixo: ordem 0 (W), ordem 1 (YZX), ordem 2 (VTRSU) e ordem 3 (QOMKLN). Imagem de Franz Zotter.

Cada harmónica esférica contém informação sobre uma secção do campo sonoro. Quando é necessária apenas a informação espacial do plano transversal, como acontece no caso dos sistemas de altifalantes unicamente horizontais, é possível utilizar apenas as harmónicas esféricas com informação relevante sobre este plano, reduzindo assim o número de canais necessários. Até à 3ª ordem, estes canais são apenas sete: W (ordem 0), YX (ordem 1), VU (ordem 2) e QP (ordem 3). É ainda possível codificar o campo sonoro em sistemas mistos com, e.g., 3ª ordem horizontal e 1ª ordem tridimensional. Estes sistemas mistos eram tradicionalmente compostos pela totalidade dos canais da ordem tridimensional pretendida, aos quais se juntavam apenas os canais estritamente necessários à ordem horizontal. Deste modo, para, e.g., um sistema misto de 3ª ordem horizontal e 1ª ordem tridimensional eram necessários oito canais: W (ordem 0), YZX (ordem 1), VU (ordem 2) e QP (ordem 3). No entanto, verificou-se que estes sistemas perdem resolução horizontal para os altifalantes colocados numa posição com $\phi \neq 0^\circ$, o que se torna relevante pela necessidade de distribuir os altifalantes de forma concêntrica e regular. Daniel (2001) propõe então outro método para os sistemas mistos, posteriormente sistematizado por Travis (2009), que consiste na utilização das harmónicas esféricas que contém informação horizontal relevante para zonas do campo sonoro com elevação positiva ou negativa. Para um sistema misto de 3ª ordem horizontal e 1ª ordem tridimensional, os canais necessários serão assim doze: W (ordem 0), YZX (ordem 1), VTSU (ordem 2) e QONP (ordem 3). Tanto no caso dos sistemas HOA horizontais como no caso dos sistemas mistos, e tal como acontecia no caso do *B-format* horizontal, só é possível a rotação em torno do eixo transversal.

²⁰ Já que, caso o número de altifalantes seja inferior ao número de canais codificados, poderão ocorrer efeitos de *aliasing* espacial.

²¹ I.e., aos 4 canais das ordens 0 e 1 podem juntar-se os 5 canais da ordem 2 e a todos estes os 7 canais da ordem 3.

A tabela 4.1 mostra as equações para a codificação de um sinal num campo sonoro *Ambisonics* até à 3ª ordem. A bibliografia não é unânime na escolha da normalização das harmónicas esféricas, encontrando-se comumente a definição dos canais do HOA ²² em normalizações de harmónicas esféricas como, e.g., a Semi-Normalização de Schmidt a 3 Dimensões (SN3D) e a Normalização a 3 Dimensões (N3D). A *Max-Normalisation* (MaxN) é proposta por Daniel (2001) como forma de maximizar a amplitude dinâmica disponível ²³, propondo que a amplitude máxima presente em cada canal seja igual à unidade. A normalização proposta por Furse-Malham (FuMa), apresentada na tabela 4.1 e utilizada no spatium, é idêntica à MaxN para todos os canais, com a única excepção do canal W, para o qual opta por manter a redução de amplitude do *Ambisonics* tradicional (Malham, 2003, 2007).

ordem HOA	canal	grau, ordem	definição FuMa
0	W	0, 0	$\frac{1}{\sqrt{2}}$
1	X	1, 1	$\cos \theta \cos \phi$
	Y	1, -1	$\sin \theta \cos \phi$
	Z	1, 0	$\sin \phi$
2	R	2, 0	$\frac{3 \sin^2 \phi - 1}{2}$
	S	2, 1	$\cos \theta \sin(2\phi)$
	T	2, -1	$\sin \theta \sin(2\phi)$
	U	2, 2	$\cos(2\theta) \cos^2 \phi$
	V	2, -2	$\sin(2\theta) \cos^2 \phi$
3	K	3, 0	$\frac{\sin \phi (5 \sin^2 \phi - 3)}{2}$
	L	3, 1	$\sqrt{\frac{135}{256}} \cos \theta \cos \phi (5 \sin^2 \phi - 1)$
	M	3, -1	$\sqrt{\frac{135}{256}} \sin \theta \cos \phi (5 \sin^2 \phi - 1)$
	N	3, 2	$\sqrt{\frac{27}{4}} \cos(2\theta) \sin \phi \cos^2 \phi$
	O	3, -2	$\sqrt{\frac{27}{4}} \sin(2\theta) \sin \phi \cos^2 \phi$
	P	3, 3	$\cos(3\theta) \cos^3 \phi$
	Q	3, -3	$\sin(3\theta) \cos^3 \phi$

Tabela 4.1. Definição FuMa das equações para a codificação de um sinal num campo sonoro *Ambisonics* e HOA até à 3ª ordem.

²² Esta questão só é relevante para o HOA já que, no *Ambisonics* de 1ª ordem, as definições são idênticas nas várias normalizações.

²³ Limitada, e.g., no áudio digital com amostras em números inteiros.

Tal como no caso do *B-format*, os ganhos para a descodificação de HOA variam consoante o tipo de descodificador, mas são também diferentes para os sinais das diferentes ordens. Daniel (2001) generalizou o cálculo dos ganhos de qualquer ordem para os três tipos de descodificadores, quer em sistemas horizontais, quer em sistemas tridimensionais. Assim, e sendo m a ordem do ganho em questão e M o número total de ordens do campo sonoro em descodificação, o ganho g_m para o descodificador com a unidade do vector de velocidade é

$$g_m = 1 \quad (4.9)$$

quer para os sistemas bidimensionais, quer para os tridimensionais. O ganho g_m para o descodificador com maximização do vector de energia é

$$g_m = \cos\left(\frac{m\pi}{2M+2}\right) \quad (4.10)$$

no caso dos sistemas bidimensionais, e

$$g_m = P_m(r_E) \quad (4.11)$$

no caso dos sistemas tridimensionais, sendo P_m um Polinómio de Legendre. O ganho g_m para o descodificador *in-phase*,

$$g_m = \frac{M!^2}{(M+m)!(M-m)!} \quad (4.12)$$

no caso dos sistemas bidimensionais, e

$$g_m = \frac{M!(M+1)!}{(M+m+1)!(M-m)!} \quad (4.13)$$

no caso dos sistemas tridimensionais. A tabela 4.2 apresenta os valores aproximados dos ganhos para os três descodificadores apresentados, em sistemas bi e tridimensionais, até à terceira ordem. Assume um $g_0 = 0,5$ ²⁴ por forma a manter os ganhos limitados a 1, evitando deste modo a amplificação, no caso da unidade do vector de velocidade ($\Gamma = 2$), do sinal gravado nos canais com informação direccional.

²⁴ Ganho final, i.e., incluindo a redução de amplitude na codificação.

descodificador	ordem M	r_V	r_E	$g_1; \dots; g_M$
$r_V = 1$ (2D)	1	1	0,667	1
	2	1	0,800	1; 1
	3	1	0,857	1; 1; 1
$r_V = 1$ (3D)	1	1	0,500	1
	2	1	0,667	1; 1
	3	1	0,750	1; 1; 1
max r_E (2D)	1	0,707	0,707	0,707
	2	0,866	0,866	0,866; 0,500
	3	0,924	0,924	0,924; 0,707; 0,383
max r_E (3D)	1	0,577	0,577	0,577
	2	0,775	0,775	0,775; 0,400
	3	0,861	0,861	0,861; 0,612; 0,305
<i>in-phase</i> (2D)	1	0,500	0,667	0,500
	2	0,667	0,800	0,667; 0,167
	3	0,750	0,857	0,750; 0,300; 0,050
<i>in-phase</i> (3D)	1	0,333	0,500	0,333
	2	0,500	0,667	0,500; 0,100
	3	0,600	0,750	0,600; 0,200; 0,029

Tabela 4.2. Ganhos, arredondados à milésima, para três tipos de descodificadores *Ambisonics* e HOA, bi e tridimensionais, até à 3ª ordem. Adaptada de (Daniel, 2001).

A figura 4.6 mostra o comportamento dos três descodificadores na amostra para um altifalante a partir de um sistema bidimensional de terceira ordem, sendo possível verificar o incremento de precisão espacial face a um sistema de primeira ordem (figura 4.4).

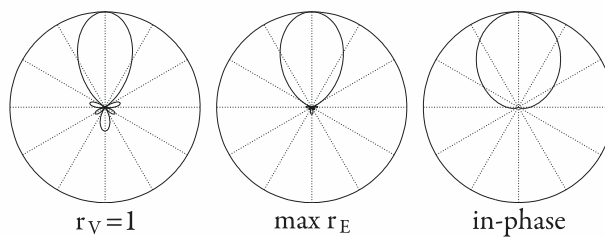


Figura 4.6. Resposta no plano transverso da amostra para um altifalante no ponto $\theta = 0^\circ$, a partir de um sistema de 3ª ordem, utilizando três descodificadores HOA: da esquerda para a direita, unidade do vector de velocidade ($\Gamma = 2$), maximização do vector de energia ($\Gamma = \sqrt{2}$) e *in-phase* ($\Gamma = 1$) (Daniel, 2001).

4.2.3 Codificação da Distância em Ambisonics

No caso do *B-format* obtido através da gravação, a distância das fontes sonoras ao ouvinte é naturalmente codificada pelo comportamento das fontes sonoras em função da sua distância relativamente ao microfone. O mesmo não acontece, contudo, no caso dos campos sonoros sintetizados: dado que as equações de codificação não incluem o parâmetro distância, os sons são sempre assumidos como sendo fontes de ondas planas, i.e., a uma distância que tende para o infinito. A variação da intensidade de um sinal no canal *W* em relação à intensidade nos restantes pode ser utilizada para simular a deslocação de fontes no interior de campos sonoros sintetizados, num processo conhecido como *W-panning* (Menzies, 2002). Deste modo, os sons colocados exactamente no centro do campo sonoro existem apenas no canal omnidireccional e os sons colocados na superfície do campo sonoro ²⁵ comportam-se como num campo sonoro *Ambisonics* tradicional, mantendo a compatibilidade com os decodificadores tradicionais. Apesar de permitir a colocação de sons no interior do campo sonoro, o *W-panning* não é por si só uma simulação da distância, já que não são reproduzidas as restantes pistas para a sua percepção.

Na reconstrução do campo sonoro (i.e, na descodificação), é assumido que os altifalantes emitem ondas planas. Tal seria próximo da verdade no caso de uma configuração de altifalantes cujo diâmetro tendesse para o infinito, mas, na realidade, os altifalantes estão próximos e emitem ondas esféricas. Isto é particularmente relevante para a reprodução das frequências graves, nas quais se verifica o efeito de proximidade. É ainda importante no caso de configurações com um diâmetro pequeno ou nas quais existem ouvintes fora do *sweet spot*. Este problema foi identificado por Gerzon & Barton (1992), que propuseram então a utilização de filtros adequados para a compensar. No caso do HOA, este efeito de proximidade torna-se progressivamente mais acentuado à medida que aumenta o número de ordens utilizadas na descodificação. Este fenómeno foi demonstrado por Daniel (2003), que propõe então um sistema para o solucionar, o qual intitula de *Near-Field Compensated Higher Order Ambisonics* (NFC-HOA). Este formato de codificação compensa ou simula o efeito de proximidade através da equalização das frequências graves, fazendo depender os seus parâmetros da distância pretendida, da distância dos altifalantes e da ordem em questão. Se a introdução destes filtros for feita em função da relação entre a distância pretendida para as fontes sonoras virtuais e a distância dos altifalantes reais (figura 4.7), torna-se possível a reprodução da distância das fontes sonoras virtuais: para fontes sonoras virtuais mais distantes do que os altifalantes, uma atenuação das frequências graves corrige a curvatura da onda provocada pelo efeito de proximidade; para fontes sonoras virtuais mais próximas do que os altifalantes, um aumento de amplitude das frequências graves simula o maior efeito de proximidade que existiria com um diâmetro de altifalantes menor do que o real; para fontes sonoras à mesma distância dos altifalantes não é necessário qualquer filtro, já que o efeito de proximidade dos altifalantes causará a curvatura de onda correcta.

²⁵ O conceito de *superfície do campo sonoro* é artificial e introduzido pela necessidade de uma distinção face ao centro.

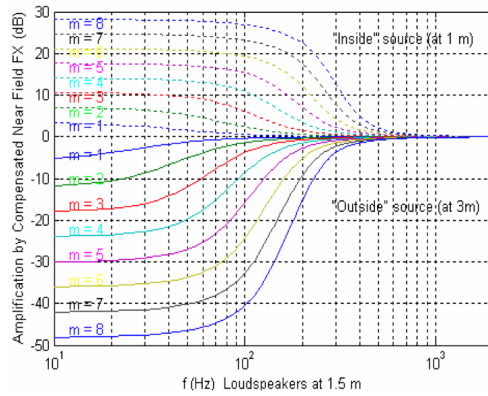


Figura 4.7. Resposta de frequência dos filtros NFC-HOA para um diâmetro de configuração de altifalantes de 1,5 m e simulação tanto de fontes interiores (1 m) como exteriores (3 m) (Daniel & Moreau, 2004).

A codificação com NFC-HOA, no entanto, implica o conhecimento prévio sobre o diâmetro da configuração de altifalantes que será utilizada para a decodificação, anulando assim parte das vantagens trazidas pela separação entre os momentos de codificação e decodificação no HOA. Em resposta a este problema, foi proposto logo no início deste trabalho um método para a codificação da distância num campo sonoro *Ambisonics* utilizando uma terceira coordenada angular (Penha, 2008). Este método consiste na codificação da distância das fontes sonoras virtuais à origem do referencial do campo sonoro através da introdução da coordenada angular ρ , que varia entre 0 no centro do campo sonoro e $\pi/2$ na superfície do campo sonoro. A variação da intensidade de um sinal no canal W em relação à intensidade nos restantes, como acontece no *W-panning*, mantém-se, mas este som é também progressivamente colocado num novo canal de distância D , acrescentando assim um canal ao *B-format* original. As equações de codificação 4.2, 4.3 e 4.4 são então alteradas por forma a incluir a nova coordenada

$$X = i \cos \theta \cos \phi \sin \rho \quad (4.14)$$

$$Y = i \sin \theta \cos \phi \sin \rho \quad (4.15)$$

$$Z = i \sin \phi \sin \rho \quad (4.16)$$

e é acrescentado, para a codificação do centro do campo sonoro, o canal

$$D = i \cos \rho \quad (4.17)$$

Deste modo, quando um som isolado é colocado na superfície do campo sonoro (i.e., quando é codificado com a distância máxima de $\rho = \pi/2$), o canal D não contém qualquer sinal e os canais W , X , Y e Z comportam-se como um *B-format* tradicional. Por outro lado, quando um sinal é colocado no centro do

campo sonoro (i.e., quando é codificado com a distância mínima de $\rho = 0$), os canais W e D recebem o sinal com amplitude máxima²⁶ e os canais X, Y e Z mantêm-se silenciosos. A informação relativa à posição angular do som é assim perdida na sua codificação no centro do campo sonoro (i.e., no centro do referencial). A figura 4.8 ilustra a presença do sinal nos canais X, Y, Z e D em função da distância ρ .

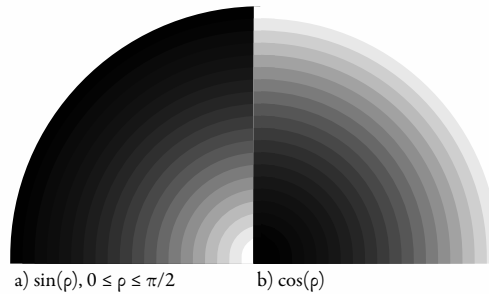


Figura 4.8. Codificação da distância num campo sonoro *Ambisonics* utilizando a coordenada ρ nos canais X, Y e Z (a) e no novo canal D (b).

O canal D é também incluído na equação de descodificação 4.5, que é então alterada de modo a que a posição da amostra inclua a nova coordenada angular

$$s = \frac{1}{2} \left[g_1 \left(\sqrt{2}W \right) + g_2 \left(X \cos \theta \cos \phi \sin \rho + Y \sin \theta \cos \phi \sin \rho + Z \sin \phi \sin \rho + D \cos \rho \right) \right] \quad (4.18)$$

Dado que o sinal presente no canal D está também presente no canal W, os canais W, X, Y e Z permanecem compatíveis com os descodificadores *Ambisonics*, caso em que o resultado deste método é idêntico ao do *W-panning*²⁷. Como o novo canal D codifica apenas a distância e não a localização nos planos transversal e sagital, as matrizes para rotação do campo sonoro são iguais às do *B-format* tradicional.

Na descodificação, o canal D é distribuído por todos os altifalantes da disposição circular e regular, fazendo com que um som que é colocado no centro do campo sonoro seja difundido de forma idêntica por todos os altifalantes. Pelo facto de ser um canal independente, a manipulação do sinal do canal D de forma diversa da manipulação dos restantes canais pode ser utilizada para ajustar as pistas para a percepção da distância — e.g., a amplitude, o efeito de proximidade, a absorção atmosférica e a reverberação — a cada espaço de difusão apenas na altura da descodificação. Este método de codificação da distância é aplicável ao HOA através da adição do canal D e da multiplicação de todos os canais pelo seno de ρ , sendo então designado pelo acrónimo HOA-DE (do inglês *High Order Ambisonics with Distance Encoding*). Os principais motores de espacialização do spatium, bem como os objectos de Max utilizados na sua concepção,

²⁶ Excluindo a atenuação do canal W.

²⁷ Embora implique uma perda de amplitude dos sinais no centro do campo sonoro. Esta é análoga à que acontece, e.g., nos sinais localizados no plano sagital quando se elimina o canal Z para uma descodificação exclusivamente horizontal.

implementam este método de codificação da distância num campo sonoro misto de 3ª ordem horizontal e 1ª ordem tridimensional, acrescentando o canal D (distância) aos doze canais já existentes — W (ordem 0), YZX (ordem 1), VTSU (ordem 2) e QONP (ordem 3).

4.3 Estereofonia de Tempo

Na década de 1930, pouco tempo depois do desenvolvimento da estereofonia de intensidade, dois investigadores dos Bell Laboratories introduzem uma nova técnica de captação estereofónica originalmente desenvolvida para uma gravação da Philadelphia Orchestra. No seu artigo seminal (Steinberg & Snow, 1934) ²⁸, sugerem que a captação de um palco acusticamente tratado poderia ser realizada através da colocação de uma cortina com o maior número possível de microfones. A esta corresponderia uma cortina com igual número de altifalantes na sala de difusão ²⁹, sendo cada um destes alimentado exclusivamente pelo sinal captado pelo microfone respectivo (figura 4.9). Deste modo, uma frente de onda captada pelos microfones seria reconstruída pelos altifalantes, numa aplicação prática do princípio de Huygens, segundo o qual “cada ponto de uma frente de onda de um meio transmissor comporta-se como origem pontual de ondas produzidas no sentido da propagação da onda, como se fosse ele a origem” (Henrique, 2002).

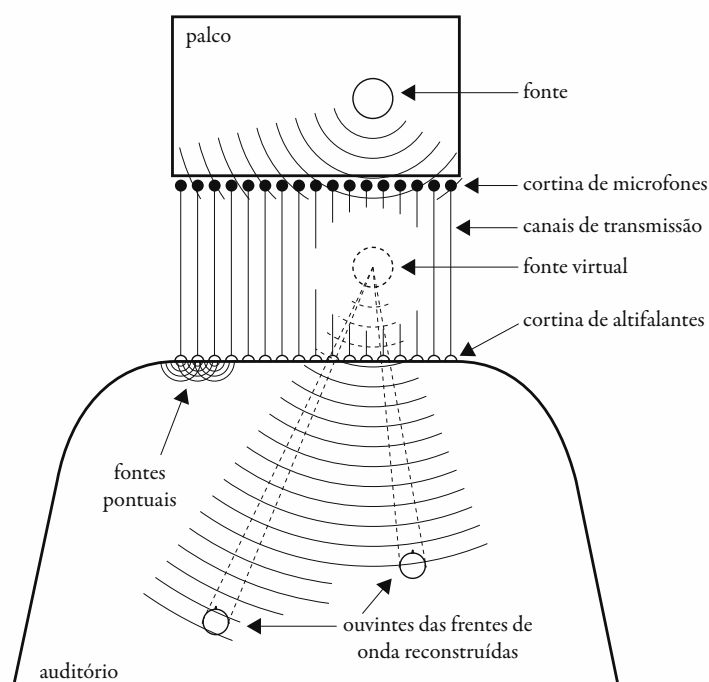


Figura 4.9. Proposta original de Steinberg e Snow para a captação de um palco através de uma cortina de microfones e sua reprodução através de uma cortina de altifalantes.

²⁸ Depois de, de modo semelhante ao que acontece na introdução ao registo de patente de Blumlein, referirem a captação binaural.

²⁹ É importante salientar que o artigo se refere explicitamente à reprodução para vários ouvintes em posições distintas da sala de difusão, ao contrário do registo de patente de Blumlein, que se refere sempre ao ouvinte no *sweet spot*.

A impraticabilidade da aplicação deste sistema leva Steinberg e Snow a aplicar o mesmo princípio com menos amostras, reduzindo o número de microfones e altifalantes a apenas três (figura 4.10). Esta redução é então submetida a testes psicoacústicos que mostram que esta estereofonia de tempo em três canais é ainda assim capaz de reproduzir a localização e, em menor grau, a distância das fontes sonoras no palco ³⁰. Este sistema dá origem às técnicas de captação estereofónica com recurso a microfones espaçados, que captam e reproduzem tanto diferenças de tempo entre transitórios de ataque como diferenças de intensidade. Estas últimas, no entanto, acontecem em menor grau do que no sistema proposto por Blumlein, já que dependem de factores acústicos, como o decaimento provocado pela expansão da frente da onda e a absorção atmosférica, e não do padrão de captação dos microfones. Os sistemas que emergem da proposta de Steinberg e Snow têm como vantagem o facto de serem menos sensíveis do que a estereofonia de intensidade de Blumlein à localização dos ouvintes, graças ao efeito de precedência, com a desvantagem de serem mais propensos a criar distorções tímbricas em consequência dos desfasamentos (e.g., na soma para um canal monofónico).

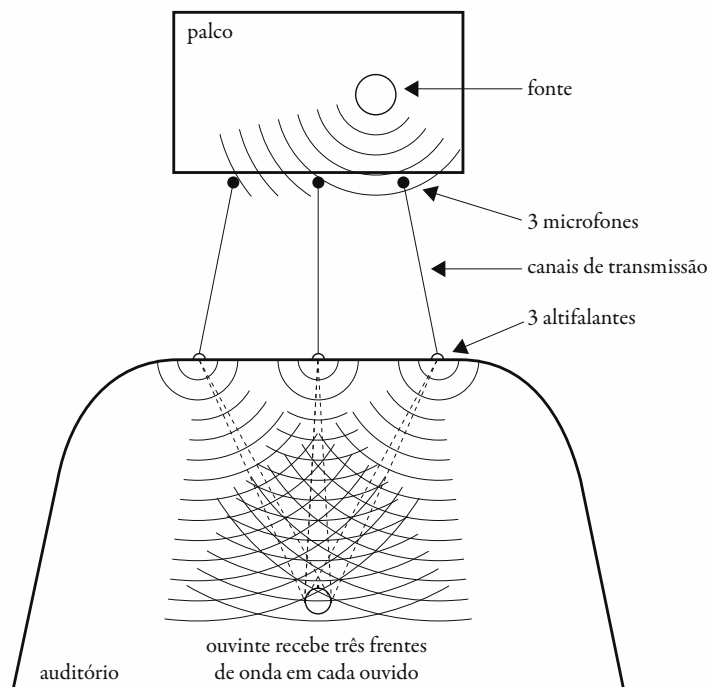


Figura 4.10. Sistema implementado por Steinberg e Snow com três microfones, aos quais correspondem três altifalantes no espaço de reprodução.

³⁰ Os autores experimentam ainda a redução do sistema a dois altifalantes, tendo os testes demonstrado que a percepção da distância das fontes sonoras, sobretudo as centrais, piora significativamente com a perda do altifalante central

4.3.1 Wave Field Synthesis

Não obstante a utilização da estereofonia com três canais no cinema ³¹, a síntese de estereofonia pela proposta de Steinberg & Snow (1934) não foi alvo de uma “otimização psicoacústica sistemática análoga ao trabalho que Blumlein fez com os dois canais” ³² (Gerzon, 1990). Só mais de meio século depois se tornou possível concretizar de forma virtual a cortina de altifalantes de Steinberg e Snow, através de um sistema conhecido como *Wave Field Synthesis* (WFS). Este sistema, proposto por um grupo de investigadores da TU Delft na transição da década de 1980 para a década de 1990 (Berkhout, 1988; Berkhout, Vries, & Vogel, 1993), utiliza um grande número de altifalantes, calculando a amplitude e atraso necessários para que cada um destes altifalantes contribua para a reconstrução da frente de onda ³³. É assim possível reconstituir com elevado realismo fontes sonoras virtuais, situadas tanto atrás como à frente da linha de altifalantes (figura 4.11).



Figura 4.11. Reprodução de diferentes fontes por um sistema de WFS (Baalman, 2010).

Este sistema expande ainda a capacidade, já presente na estereofonia de Steinberg e Snow, de reproduzir a localização de forma eficaz para uma grande área de escuta: se a percepção espacial de cada ouvinte na sala de reprodução é necessariamente diferente, esta diferença reflecte o que aconteceria com fontes sonoras reais numa sala de concertos. Ao contrário dos sistemas *Ambisonics* e HOA, um sistema de WFS não precisa de uma configuração circular e regular de altifalantes, sendo possível utilizar, e.g., apenas uma única linha de altifalantes frontal. No entanto, é necessário dispor de um grande número de altifalantes muito próximos, já que o espaço entre altifalantes limita a frequência máxima que pode ser reproduzida pelo sistema sem criar efeitos de *aliasing* espacial ³⁴ (figura 4.12).

³¹ E.g., como parte frontal do sistema ITU 5.1, que será apresentado no subcapítulo 4.5.

³² “[...] their work was on a much more empirical basis than Blumlein’s and no systematic psychoacoustic optimisation analogous to Blumlein’s work with two channels was done.”, no original (Gerzon, 1990, p. 112).

³³ Dado que o sistema WFS não será utilizado no âmbito deste trabalho, ele não será descrito com a mesma profundidade dedicada ao sistema *Ambisonics*. Para além dos artigos referidos no texto, uma boa descrição das características dos sistemas de WFS pode ser encontrada em Wittek (2003), em Theile (2004) e em Baalman (2007). Os seus principais problemas, nomeadamente o *aliasing*, são apresentados em Spors & Rabenstein (2006).

³⁴ Para reproduzir correctamente (i.e., sem *aliasing*) um som com frequência de 1kHz num sistema de WFS circular com um diâmetro de 2 metros, e.g., é necessário um mínimo de 32 altifalantes (Theile, Wittek, & Reisinger, 2003). Uma solução para este problema, denominada OPSI — *Optimized Phantom Source Imaging*, é a utilização da panorâmica de amplitudes para a difusão das frequências acima da frequência máxima reprodutível pelo sistema, mantendo a WFS abaixo (Wittek, 2002).

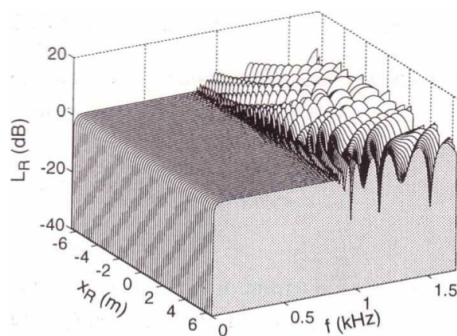


Figura 4.12. *Aliasing* espacial num sistema WFS (Wittek, 2003).

A necessidade de minimizar tanto quanto fisicamente possível a distância entre altifalantes, bem como a necessidade de processamento independente para cada canal de áudio, tornam a implementação de sistemas de WFS em torno da audiência e em salas de grandes dimensões muito dispendiosa. Por essa razão, a instalação de sistemas de WFS está em grande parte confinada às instituições que os desenvolvem. A estas instalações fixas junta-se ainda o sistema portátil construído pela *The Game of Life Foundation*³⁵.

A expansão da WFS para três dimensões é, em teoria, fácil, mas exige a substituição de linhas de altifalantes por planos de altifalantes muito próximos, como acontece na instalação *A World Beyond the Loudspeaker* [1998], de Edwin van der Heide. Esta instalação é uma materialização da proposta original de Steinberg e Snow, reproduzindo através de um plano de 40 altifalantes equidistantes os sinais captados por uma configuração análoga de microfones (figura 4.13). A concretização de um sistema WFS tridimensional com resolução espacial adequada (i.e., capaz de reproduzir frequências de cerca de 1kHz sem *aliasing*) é na prática inviabilizada pelo número de altifalantes e capacidade de processamento de sinal necessários.

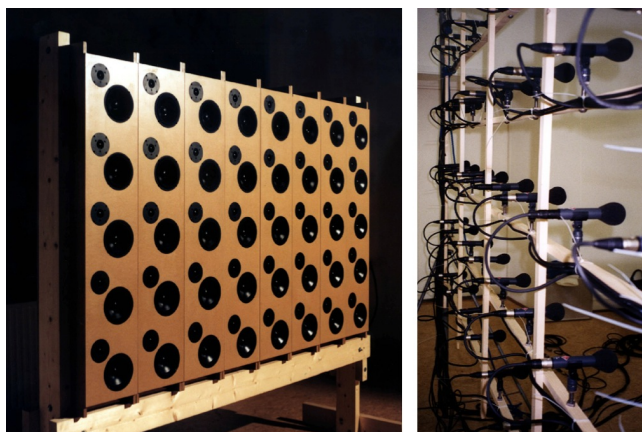


Figura 4.13. Instalação *A World Beyond the Loudspeaker* [1998], de Edwin van der Heide (à esquerda) e a estrutura de microfones utilizada nas gravações (à direita). Fotos do autor.

³⁵ E ainda sistemas comerciais de WFS, como, e.g., o sonicEmotion — <http://sonicemotion.com> — e o IOSONO — <http://iosono-sound.com>, que apresentam soluções para cinema, salas de espectáculo, estúdios e pequenos sistemas domésticos.

4.4 Sistemas Binaurais

A referência, por Blumlein (1933), a sistemas de captação com microfones espaçados à distância dos ouvidos, bem como a nomeação, por Steinberg & Snow (1934wg), do sistema binaural, mostram que são desde cedo conhecidas técnicas em que a colocação dos microfones mimetiza de forma intencional a disposição dos ouvidos humanos. Se o sistema de dois microfones à distância dos ouvidos descrito por Blumlein é apenas eficaz na captação das diferenças de tempo e dos desfasamentos interaurais, a colocação de um obstáculo entre os microfones ³⁶ capaz de simular os efeitos de reflexão e difracção da cabeça dota o sistema da capacidade de reproduzir também as diferenças de intensidade interaurais. A colocação de um par de microfones dentro de ouvidos humanos (ou de modelos de cabeças humanas), adiciona a capacidade de reprodução de HRTFs, essenciais para a capacidade de localização no plano sagital (Schroeder, Gottlob, & Siebrasse, 1974). O manequim KEMAR ³⁷, desenvolvido para a investigação na área da psicoacústica, adiciona ainda os ombros e o torso, sendo um modelo bastante completo dos elementos que influenciam a percepção espacial humana.

A captação binaural parece ser assim a solução ideal para a captação e reprodução de áudio tridimensional, sendo capaz de um realismo na replicação da percepção espacial difícil de atingir com outros meios. A sua principal desvantagem, contudo, é a limitação prática da sua reprodução à utilização de auscultadores, já que a reprodução com altifalantes implica a utilização de sistemas de eliminação do *cross-talk* que, por sua vez, funcionam apenas para um ouvinte imobilizado ³⁸. O facto de o sistema, no caso da reprodução de gravações binaurais, não responder ao movimento da cabeça do ouvinte contribui ainda para uma comparativamente pior distinção da localização à frente e atrás (Cheng & Wakefield, 2001), para além da natural estranheza perante o facto de ao movimento da cabeça não corresponder um movimento no sentido contrário das fontes sonoras. No caso da síntese dos sinais binaurais, este problema pode ser solucionado pela alteração dos parâmetros da síntese em função do rastreio dos movimentos da cabeça do ouvinte (Begault, 1994).

Vários arquivos de medições de HRTFs — quer de manequins KEMAR (W. G. Gardner & Martin, 1994; Algazi, Duda, Thompson, & Avendano, 2001; Wierstorf, Geier, Raake, & Spors, 2011), quer de humanos (Algazi et al., 2001; Warusfel, 2002) — estão disponíveis sob a forma de respostas ao impulso relativas à cabeça, ou, em inglês, *Head-Related Impulse Responses* (HRIRs). Estas incluem, para cada uma de várias

³⁶ E.g., o sistema conhecido como *Jecklin Disk*, que consiste na colocação de um disco com um diâmetro próximo do da cabeça humana entre dois microfones.

³⁷ <http://kemar.us>

³⁸ A utilização de altifalantes paramétricos e visão computacional para a criação de um sistema de auscultadores virtuais, capaz de seguir o utilizador e direccionar o áudio binaural directamente para os seus ouvidos, é um sistema actualmente em desenvolvimento na Universidade de Aveiro e que procura contribuir para a resolução deste problema (Blard, Fiel, Vieira, Campos, & Oliveira, 2012).

posições e distâncias de fontes sonoras, informação relevante para a localização desta fonte sonora em cada um dos ouvidos: HRTF, diferença de intensidade interaural, diferença de tempo interaural e desfasamento interaural. A simples convolução de um sinal de áudio monofónico com as HRIRs esquerda e direita obtidas a partir de uma dada posição e distância da fonte sonora é suficiente para a criação de uma imagem binaural desse som nessa posição (Begault, 1994). A qualidade desta imagem depende das características do som monofónico e da adequação das HRIRs ao ouvinte. A reprodução binaural implementada no spatium utiliza a descodificação de um campo sonoro *Ambisonics* para um conjunto de altifalantes virtuais, cujos sinais são então transformados numa imagem binaural através da convolução com HRIRs adequadas que são, por sua vez, somadas em dois canais para reprodução com auscultadores. Esta solução permite ainda a síntese binaural com rastreio dos movimentos da cabeça, já que as matrizes para rotação do campo sonoro *Ambisonics* facilitam a resposta a estes movimentos (Noisternig, Musil, Sontacchi, & Höldrich, 2003).

4.5 Panorâmica de Amplitudes

É possível sintetizar uma estereofonia de intensidade de Blumlein através da distribuição de um sinal monofónico pelos dois canais com diferentes intensidades. Os potenciómetros rotativos de panorâmica, ubíquos nas mesas de mistura e simulados nas interfaces das Digital Audio Workstations (DAWs), fazem-no endereçando o sinal para apenas um dos canais, quando numa das posições extremas, ou distribuindo-o pelos dois canais, quando no espaço interno ao definido pelos altifalantes. É neste aspecto que a panorâmica de amplitudes mais diverge da estereofonia de intensidade idealizada por Blumlein, já que só na primeira é possível alternar entre uma coincidência entre a fonte sonora virtual e a fonte sonora real, nos extremos da panorâmica, e a utilização do par de altifalantes para reprodução da fonte sonora virtual, em qualquer outra posição que não os extremos. Esta alternância pode provocar alterações tímbricas e de qualidade da percepção espacial no som entre as posições internas e extremas (i.e., difundidas por um só altifalante) (Pulkki, 1999; 2000).

O facto de a metade da intensidade corresponder a uma variação de -3dB, ou seja um rácio de amplitude de aproximadamente $\sqrt{2}/2$, significa que não é possível distribuir a amplitude de forma linear entre os dois canais, já que desse modo à posição central corresponderia metade da amplitude para cada um destes (i.e. -6dB, um quarto da intensidade). Assim, e de modo a garantir que a intensidade se mantém constante independentemente da posição da panorâmica, é necessário garantir que

$$\sqrt{a_l^2 + a_r^2} = 1 \quad (4.19)$$

sendo a_l e a_r a amplitude do canal esquerdo e do canal direito, respectivamente. A síntese da panorâmica poderá então ser calculada a partir do sinal i e para a posição x , que varia entre 0, no extremo esquerdo, e 1, no extremo direito, utilizando as equações:

$$a_l = i\sqrt{x} \quad (4.20)$$

$$a_r = i\sqrt{1-x} \quad (4.21)$$

no que é conhecido como panorâmica por raízes quadradas (NTNU, 2010). No entanto, este modo de panorâmica provoca uma saída muito rápida dos pontos extremos e uma relativa lentidão na passagem pelos pontos internos ³⁹.

A solução conhecida como panorâmica por seno e co-seno (Griesinger, 2002), utiliza o seno e o co-seno de um ângulo ao longo de um quarto de círculo para calcular as amplitudes dos dois canais, mantendo igualmente constante a intensidade total:

$$a_l = i \sin\left(x \frac{\pi}{2}\right) \quad (4.22)$$

$$a_r = i \cos\left(x \frac{\pi}{2}\right) \quad (4.23)$$

A figura 4.14 mostra uma comparação do comportamento entre estes dois métodos para a síntese de panorâmicas, incluindo também a comparação com a variação linear. É possível observar que a panorâmica por seno e co-seno tem um comportamento mais progressivo no afastamento e na aproximação aos extremos.

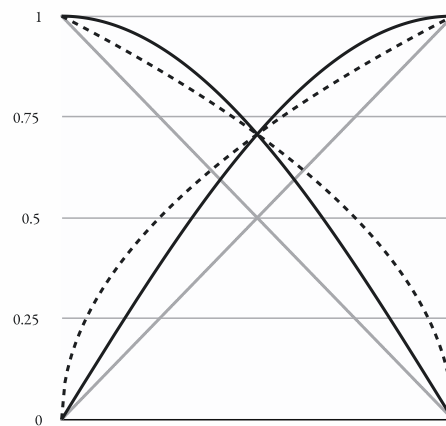


Figura 4.14. Comparação entre a panorâmica por seno e co-seno (a cheio), a panorâmica por raízes quadradas (a tracejado) e a variação linear (a cinzento).

A percepção da direcção de uma fonte virtual reproduzida por um par de altifalantes através da panorâmica de amplitudes pode ser calculada com alguma precisão pela lei dos senos da estereofonia

³⁹ Este comportamento é idêntico ao de um dos primeiros sistemas de panorâmica, desenvolvido para a mistura do filme Fantasia [1940], de Walt Disney (Garity & Hawkins, 1941).

$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_s} = \frac{a_l - a_r}{a_l + a_r} \quad (4.24)$$

proposta por Blumlein (1933) e revista por Bauer (1961), sendo θ_s o ângulo dos altifalantes, em relação ao eixo coronal em frente do ouvinte, θ_i o ângulo percebido e a_l e a_r , respectivamente, a amplitude do canal esquerdo e direito. Esta lei é mais tarde revista por forma a tomar em consideração a influência da curvatura da cabeça no percurso do *cross-talk* (Bennett, Barker, & Edeko, 1985) e transformada na lei das tangentes da estereofonia ⁴⁰

$$\frac{\tan \theta_i}{\tan \theta_s} = \frac{a_l - a_r}{a_l + a_r} \quad (4.25)$$

A panorâmica por seno e co-seno é então equivalente à lei das tangentes da estereofonia. Dada a sua ubiquidade, a designação *panorâmica de amplitude* sem um elemento de identificação adicional refere-se comumente à panorâmica por seno e co-seno.

A figura 4.15 compara a percepção, calculada através da lei das tangentes da estereofonia, da panorâmica por seno e co-seno e da panorâmica por raízes quadradas para dois altifalantes num ângulo de 60° e para dois altifalantes num ângulo de 90°, colocando novamente em evidência o diferente comportamento das duas técnicas no que concerne à aproximação aos altifalantes.

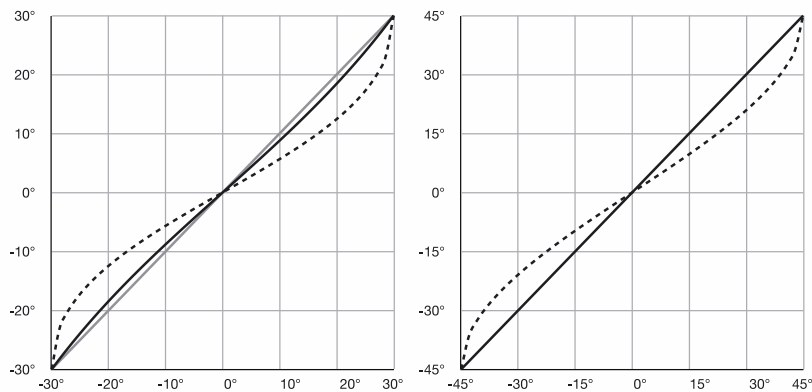


Figura 4.15. Comparação da percepção, calculada através da lei das tangentes da estereofonia, da panorâmica por seno e co-seno (a cheio) e da panorâmica por raízes quadradas (a tracejado) face ao ângulo de referência (a cinzento). No gráfico do lado esquerdo o cálculo é feito para dois altifalantes num ângulo de 60° e no do lado direito para dois altifalantes num ângulo de 90°.

⁴⁰ Uma importante utilização seminal desta lei em sistemas digitais de espacialização é o trabalho desenvolvido por John Chowning (1971) na simulação de fontes sonoras em movimento, que será descrito no subcapítulo 4.6.1.

A aparente maior precisão da percepção da panorâmica por seno e co-seno para dois altifalantes num ângulo de 90° — i.e., de 45° em relação ao eixo coronal — explica-se pelo facto de ser um ângulo de 90° o utilizado nos cálculos da panorâmica de amplitudes. Isto poderia indicar uma comparativamente pior percepção no caso do ângulo de 60° entre altifalantes — i.e., de 30° em relação ao eixo coronal — tipicamente utilizado na estereofonia. No entanto, a percepção para ângulos superiores a 60° é, na realidade, progressivamente pior, criando uma zona de indefinição espacial no centro da estereofonia ⁴¹. Em ângulos de 60° , a divergência máxima entre a direcção pretendida no cálculo da panorâmica por seno e co-seno e a direcção da percepção calculada pela lei das tangentes da estereofonia é inferior à mancha de localização da percepção nessa zona, sendo assim negligenciável. Theile & Plenge (1977) estudam, por sua vez, a localização com fontes virtuais difundidas por pares de altifalantes dispostos na zona lateral do plano transversal, concluindo que fontes virtuais posicionadas no centro de pares estereofónicos nas zonas laterais (e.g., $\theta_l = 50^\circ$ e $\theta_r = 110^\circ$) tendem a ser localizadas mais próximas do altifalante com azimute mais próximo dos 0° . Estes aumentos da mancha de localização podem explicar os problemas de localização de fontes virtuais com sistemas quadrifónicos (i.e., quatro altifalantes com um ângulo de 90° entre eles) e com as zonas laterais e traseira dos sistemas ITU 5.1 (ITU, 2012) (figura 4.16). Tal como acontece na estereofonia de intensidade de Blumlein, a localização de fontes virtuais numa panorâmica de amplitudes depende ainda da distância do ouvinte ao *sweet spot*. Alguns problemas de localização de fontes virtuais podem por fim ocorrer em consequência do efeito de precedência, já que, para um ouvinte fora do *sweet spot*, a diferença de tempo de chegada do som dos vários altifalantes pode fazer com que o som pareça vir do altifalante mais próximo.

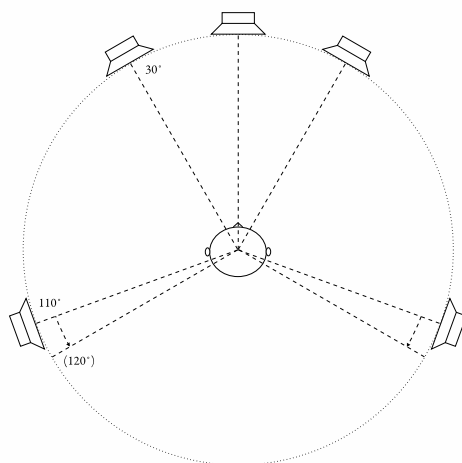


Figura 4.16. Ângulos de colocação dos altifalantes num sistema ITU 5.1 (ITU, 2012).

⁴¹ A recomendação para colocar os altifalantes num ângulo máximo de 60° entre altifalantes, por forma a evitar o “*hole in the middle*” (literalmente, buraco no meio) comumente conotado com a quadrifonia (na qual os altifalantes são colocados com ângulos de 90° entre si), aparece de forma recorrente na bibliografia consultada. Vários autores se referem a este “*hole in the middle*”, sendo digna de nota a referência de Michael Gerzon: “*As the speaker separation is widened beyond the usual 60° angle subtended at the listener, this poor stability of phantom images markedly worsens, leaving the famous ‘hole in the middle’ and also in images that can be perceived as being elevated as discovered by de Boer at Philips in the 1940s.*” (Gerzon, 1990, p. 115).

O sistema ITU 5.1 — descendente directo do sistema de cinco canais desenvolvido para o filme *Fantasia* [1940], de Walt Disney (Garity & Hawkins, 1941) — é o padrão para *surround* em cinema e está integrado em importantes formatos de distribuição (e.g., DVD e formatos recentes de televisão digital). Algumas expansões deste sistema foram entretanto propostas, como, e.g., o 7.1, o 10.2 e o 22.2, sendo o número antes do ponto o dos altifalantes para difusão genérica e o algarismo depois do ponto ao número de altifalantes dedicados à reprodução de frequências graves. No entanto, nenhum destes atingiu ainda o mesmo grau de disseminação e notoriedade do 5.1, que, desenhado em função das necessidades do cinema e inevitavelmente atingido pelos problemas de percepção de fontes virtuais acima referidos, dada a sua configuração irregular, não é adequado para a espacialização na música electroacústica.

4.5.1 Vector Base Amplitude Panning

Vector Base Amplitude Panning (VBAP) é um método desenvolvido por Ville Pulkki para a colocação de fontes sonoras virtuais no espaço (Pulkki, 1997). Baseada na panorâmica de amplitudes, a VBAP expande esta técnica para sistemas com qualquer número e disposição de altifalantes, calculando as amplitudes para a distribuição do sinal de áudio de uma fonte virtual entre três altifalantes através da utilização de vectores. Considerando um triângulo definido por três altifalantes (figura 4.17), os vectores unitários l_m , l_n e l_k unem a posição do ouvinte aos três altifalantes. A direcção da fonte sonora virtual é então representada pelo vector unitário p , expresso como a combinação linear dos vectores dos altifalantes

$$p = g_m l_m + g_n l_n + g_k l_k \quad (4.26)$$

sendo g_m , g_n e g_k os ganhos dos respectivos altifalantes.

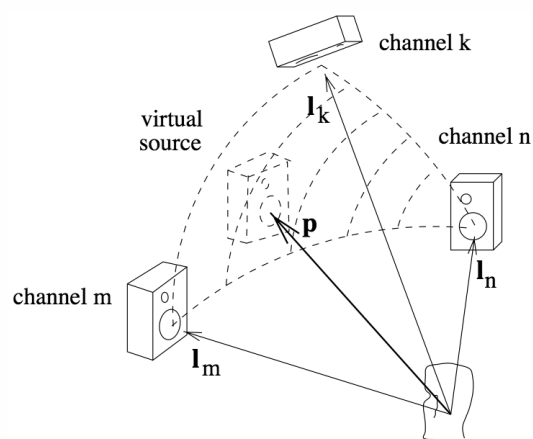


Figura 4.17. Panorâmica tridimensional com um triângulo de altifalantes utilizando VBAP (Pulkki, 1999).

Cada fonte sonora virtual é assim difundida apenas por três altifalantes, independentemente do número de altifalantes disponíveis na configuração. Nalguns casos são utilizados apenas um ou dois altifalantes para reproduzir a fonte sonora virtual: quando a posição da fonte sonora virtual coincide com a posição de um altifalante, apenas este é utilizado para reproduzir a primeira; quando a posição da fonte sonora virtual pertence a uma aresta do triângulo definido pelos altifalantes, apenas os dois altifalantes que a definem são utilizados para reproduzir a fonte sonora virtual. Esta última situação verifica-se sempre no caso dos sistemas VBAP bidimensionais e tem como consequência uma distribuição de amplitudes consistente com a lei das tangentes da estereofonia.

Sendo assumido que a distância dos altifalantes ao ouvinte é sempre igual à unidade, a posição dos altifalantes é definida apenas pela sua direcção ⁴². Aquando da configuração do sistema, e caso o número de altifalantes seja superior a três, é definido o conjunto de triângulos que serão utilizados para a VBAP, através de um método de quatro passos definido por Pulkki & Lokki (1998to):

1. são formados todos os triângulos possíveis com os altifalantes do sistema;
2. são removidos os triângulos demasiado estreitos, i.e., os triângulos cuja área é pequena quando comparada com o perímetro;
3. são procurados todos os cruzamentos de arestas e, para cada um destes, é removido o triângulo cuja aresta no cruzamento é maior;
4. são removidos todos os triângulos que possuam um altifalante no seu espaço interior.

No caso das fontes sonoras virtuais em movimento, a passagem por pontos em que apenas um altifalante é responsável pela sua reprodução tem como consequência a existência de colorações tímbricas e as diferenças de largura aparente da fonte sonora virtual. Este problema esteve na origem da implementação de um controlo de *spread* ⁴³ da fonte sonora virtual (Pulkki, 2000), também designado por *Multiple-Direction Amplitude Panning* (MDAP) (Pulkki, 1999). Na MDAP, o cálculo das amplitudes é feito para múltiplas direcções próximas da pretendida, sendo o âmbito da sua dispersão angular controlado pelo *spread*, que são depois combinadas e normalizadas num único vector unitário. Deste modo, o som nunca é reproduzido apenas por um altifalante, evitando-se assim os problemas de coloração anteriormente referidos.

A flexibilidade da VBAP, aliada à simplicidade de utilização das suas implementações em extensões para Max (Pulkki, 2000), Pure Data e Csound, terão contribuído para a sua comparativa popularidade junto dos compositores. Os primeiros testes realizados no âmbito deste trabalho foram feitos com recurso ao

⁴² Na implementação da VBAP em Max, que será apresentada no subcapítulo 4.6.2, a posição dos altifalantes é definida pelo seu azimute e elevação (ou apenas pelo azimute, no caso dos sistemas bidimensionais). A documentação inclui exemplos para a correcção de eventuais diferenças na distância dos altifalantes ao *sweet spot* através da utilização de atrasos.

⁴³ No sentido de dispersão.

objecto VBAP para Max e deram origem a várias versões de um *software* intitulado rp.Spat. Estas versões diferiam apenas no número de canais da distribuição circular e regular de altifalantes ⁴⁴. A espacialização era sempre feita em tempo real através da manipulação da interface com o rato, sendo depois o resultado gravado sob a forma de um ficheiro de áudio com número de canais idêntico ao número de altifalantes. A manipulação da posição da fonte sonora virtual era feita através da usual manipulação da posição de um elemento dentro de uma representação da circunferência definida pelos altifalantes (figura 4.18).

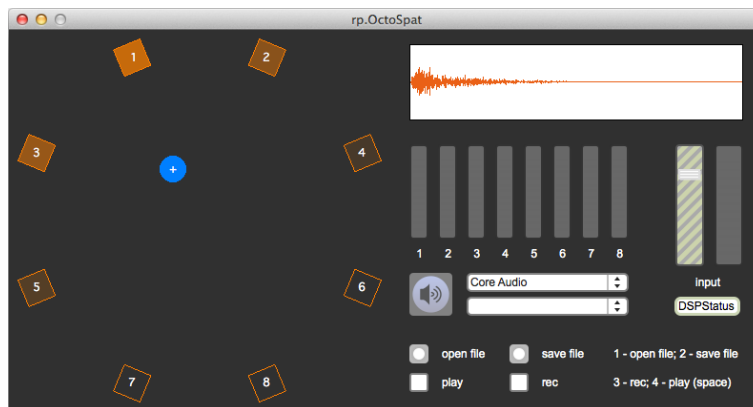


Figura 4.18. Interface da versão para 8 canais do *software* para espacialização rp.Spat.

O rp.Sat aproveitava a MDAP (i.e., o controlo de *spread* da implementação em Max da VBAP) como forma de colocar os sons no interior do espaço definido pelos altifalantes: quando o som era colocado na circunferência definida pelos altifalantes, o *spread* era nulo e a panorâmica acontecia apenas entre os dois altifalantes mais próximos; quando o som era colocado no centro do espaço definido pelos altifalantes, o *spread* era máximo e todos os altifalantes contribuíam de forma indistinta para a reprodução do som. A amplitude de distribuição do sinal pelos canais era representada pela transparência da cor da representação de cada um dos altifalantes. Embora a implementação desta ferramenta de espacialização não responda a uma parte significativa dos requisitos propostos para o *software* desenvolvido como parte deste trabalho, razão para o seu abandono, esta forma de colocação dos sons no interior do espaço definido pelos altifalantes através de uma progressiva dispersão angular esteve na origem da proposta para a codificação da distância num campo sonoro *Ambisonics* utilizando uma terceira coordenada angular, anteriormente apresentada.

4.5.2 Distance-Based Amplitude Panning

Os sistemas de panorâmica de intensidade descritos (i.e., *Blumlein*, *Ambisonics*, HOA, panorâmica de amplitudes, VBAP) assumem uma posição conhecida do ouvinte no *sweet spot* e a colocação dos altifalantes

⁴⁴ Foram feitas versões para 4, 5, 6 e 8 canais.

em posições equidistantes desta. Se podemos identificar, na investigação sobre a percepção espacial, uma origem para o estabelecimento deste arquétipo, situações como, e.g., instalações sonoras podem exigir a espacialização com sistemas nos quais a posição dos ouvintes não é *a priori* conhecida ou nos quais a irregularidade na distribuição dos altifalantes se estende à distância. A *Distance-Based Amplitude Panning* (DBAP) é uma proposta de panorâmica de amplitudes para este tipo de utilização (Lossius, Baltazar, & Hogue, 2009), implementada como extensão para Max.

Na DBAP, o ganho a atribuir a cada altifalante para a reprodução de uma fonte sonora virtual depende da distância desta aos altifalantes. A distância d_i da fonte sonora virtual s , na posição cartesiana (x_s, y_s) , ao altifalante i , na posição (x_i, y_i) , é

$$d_i = \sqrt{(x_i - x_s)^2 + (y_i - y_s)^2} \quad (4.27)$$

Para que a intensidade do sistema se mantenha constante, e sendo v_i o ganho da distribuição do sinal original para o altifalante i ,

$$\sum_{i=1}^N v_i^2 = 1 \quad (4.28)$$

tal como acontece na panorâmica de amplitudes e na VBAP.

Assumindo que todos os altifalantes estão simultaneamente activos, o ganho v_i do altifalante i relaciona-se com a distância d_i de modo a que

$$v_i = \frac{k}{2d_i a} \quad (4.29)$$

sendo a a diferença de amplitude correspondente ao dobro da distância da fonte sonora ⁴⁵ e k um coeficiente que depende da posição da fonte sonora virtual e dos altifalantes. Combinando as equações 4.28 e 4.29, este pode ser definido como

$$k = \frac{2a}{\sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{1}{d_i^2}}} \quad (4.30)$$

A equação 4.29 resulta numa divisão por 0 nos casos em que a posição da fonte sonora virtual coincide com a posição de um dos altifalantes, situação em que apenas esse altifalante emitirá o som. Tal como nos casos da panorâmica de amplitudes e da VBAP, isso provoca um efeito de coloração tímbrica e alterações na

⁴⁵ O valor apresentado no artigo (Lossius et al., 2009) é de 0,5, i.e. a diminuição de aproximadamente 6 dB da pressão sonora que corresponde à duplicação da distância à fonte sonora num campo sonoro livre.

largura aparente da fonte sonora virtual. Para evitar este problema, os autores introduzem na equação 4.31 a variável de *spatial blur* r_s

$$d_i = \sqrt{(x_i - x_s)^2 + (y_i - y_s)^2 + r_s^2} \quad (4.31)$$

No caso de a fonte sonora virtual estar localizada fora dos limites definidos pelos altifalantes mais afastados do centro, a sua projecção é feita pelo sistema por forma a que a sua posição esteja circunscrita a estes limites. A diferença entre a distância pretendida e a calculada é fornecida pelo sistema para que seja possível submeter o sinal a processamento adicional tendo em vista a simulação da distância.

Na concepção dos percursos de espacialização cinemática para *Sonoridades Líquidas* [2007], uma solução análoga à DBAP foi implementada com recurso ao objecto VBAP para Max ⁴⁶. Nesta instalação, vários altifalantes foram colocados em espaços contíguos da Casa da Música, sendo necessário movimentar fontes sonoras virtuais por forma a que o seu movimento definisse um percurso entre os vários espaços. Depois de definido um percurso linear entre os vários altifalantes da instalação, foi determinada em *software* uma configuração circular de altifalantes virtuais que fazia corresponder as proporções entre os ângulos definidos por altifalantes sucessivos no espaço virtual às proporções entre as distâncias definidas pelos altifalantes no espaço real. Os altifalantes nos extremos do percurso linear real foram colocados nos azimutes -180° e 180° do espaço virtual. Dado o modo de implementação do objecto VBAP, a espacialização com valores negativos próximos de -180° aproximava o som de um dos altifalantes extremos e a espacialização com valores positivos próximos de 180° aproximava o som do altifalante no extremo oposto, eliminando assim a possibilidade de transição directa entre os altifalantes extremos desde que o ângulo de espacialização se mantivesse dentro destes valores. Deste modo, à espacialização de uma fonte sonora virtual na circunferência definida pelos altifalantes no *software* correspondia uma espacialização em função da distância no percurso linear definido pelos altifalantes no espaço.

4.5.3 Panorâmica de Amplitudes entre Pares Estereofónicos

No HOA-DE, técnica utilizada nos principais motores de espacialização do spatium, todos os altifalantes de um dado sistema são utilizados em simultâneo na descodificação do campo sonoro, potenciando então a sensação de imersão e o aparente desaparecimento dos altifalantes — i.e., o espaço envolvente (Gorne, 2002). Algumas ideias de espacialização, por outro lado, são beneficiadas pela distinta percepção da localização dos altifalantes anterior à definição de percursos entre estes — i.e., o espaço fonte (Gorne, 200) —, o que é particularmente claro em obras como, e.g., *Archipelago* [1982-1983], de Roger Reynolds, e

⁴⁶ Dado que a instalação é anterior à proposta da DBAP.

Cosmic Pulses [2006-2007], de Karlheinz Stockhausen. De modo a completar a oferta do *spatium*, procurou-se então uma técnica de espacialização que melhor respondesse a estas abordagens.

A panorâmica de amplitudes é uma escolha natural para função de revelar a localização dos altifalantes como ponto de partida para a definição de percursos entre eles, já que quando há coincidência entre a localização da fonte sonora virtual e a localização de um altifalante apenas este último é utilizado na difusão ⁴⁷. A panorâmica de amplitudes entre pares estereofónicos (APbSP, do inglês *Amplitude Panning between Stereo Pairs*) procura responder à necessidade de definir percursos entre altifalantes, incluindo no espaço interior à circunferência definida pelos altifalantes, utilizando o menor número possível de altifalantes. A sua utilização está limitada à espacialização bidimensional de sons no plano transversal.

Quando uma fonte sonora virtual é colocada na circunferência definida pelos altifalantes, o sistema escolhe os dois altifalantes mais próximos e faz uma panorâmica de amplitudes tradicional entre eles para a espacializar (figura 4.19, caso a). O comportamento desta técnica é então, neste caso, igual ao da VBAP. Quando uma fonte sonora virtual é colocada no interior do espaço delimitado pelos altifalantes, o sistema projecta a sua posição em dois pontos diametralmente opostos da circunferência definida pelos altifalantes, traçando o diâmetro que passa pela posição da fonte sonora virtual. É então feita a panorâmica de amplitudes para cada uma destas projecções, sendo depois feita uma nova panorâmica de amplitudes entre as duas panorâmicas de amplitudes primordiais (figura 4.19, casos b e c). A panorâmica de amplitudes final é feita entre duas panorâmicas de amplitudes primordiais com larguras idênticas apenas nos casos em que o número de altifalantes é par e a sua distribuição é regular. Esta técnica de espacialização permite, contudo, a utilização de distribuições irregulares de altifalantes, casos em que é possível encontrar, e.g., uma panorâmica de amplitudes final entre um altifalante isolado, por um lado, e uma segunda panorâmica de amplitudes entre dois altifalantes, por outro. Nesta técnica de espacialização, e ao contrário do que acontece no HOA-DE, um som que se encontre exactamente no centro do referencial continua a ter direcção, já que pode ser espacializado de várias formas utilizando altifalantes diferentes. É assim possível, e.g., a rotação sobre si próprio de um som parado no centro do referencial através da alteração do seu azimute.

⁴⁷ Embora seja possível evitar esta coincidência, como acontece, e.g., no caso da MDAP.

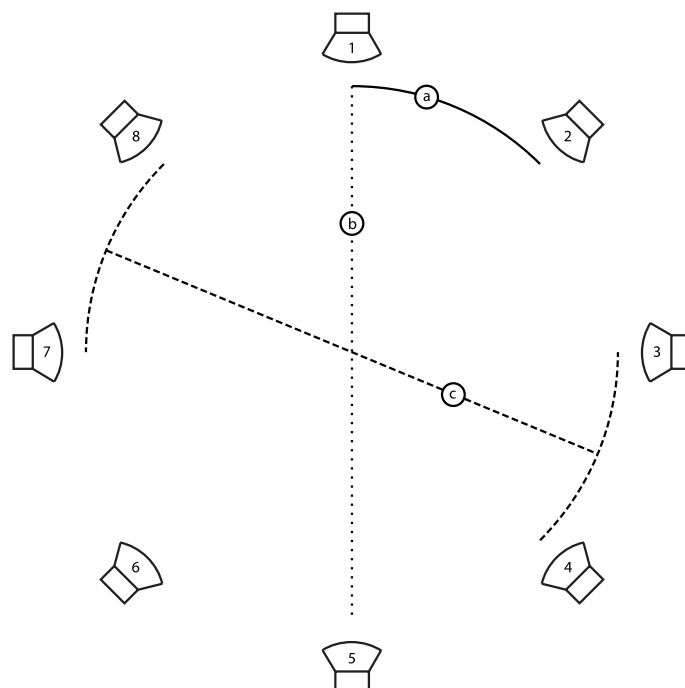


Figura 4.19. Exemplos de APbSP para três fontes sonoras virtuais: a) panorâmica entre os altifalantes 1 e 2; b) panorâmica entre os altifalantes 1 e 5; c) panorâmica entre duas panorâmicas: a dos altifalantes 3 e 4 e a dos altifalantes 7 e 8.

Estereofónico refere-se, neste caso, à utilização de dois altifalantes, pelo que a expressão *entre pares estereofónicos* se refere a um conjunto máximo de quatro altifalantes. Na verdade, a origem etimológica da palavra — do grego *στερεός* (*stereós*), significando firme ou sólido ⁴⁸ — remete apenas para a solidez da imagem sonora e não para o número de altifalantes utilizados para a veicular. É, contudo, vulgar a utilização da palavra *estéreo* para designar um sistema de dois altifalantes colocados numa posição ideal para a estereofonia de intensidade de Blumlein. Dado que esta técnica de espacialização baseia o movimento dentro do espaço delimitado pelos altifalantes na panorâmica entre dois pares de altifalantes opostos, optou-se pela designação de Panorâmica de Amplitudes entre Pares Estereofónicos. O movimento das fontes sonoras virtuais no interior do espaço definido pelos altifalantes através desta técnica não funciona do mesmo modo que uma panorâmica de amplitudes num par estereofónico tradicional, dado tratar-se de uma panorâmica de amplitudes num par com um ângulo de 180°, amplitude muito superior ao ideal ângulo de 60°. Esta técnica presta-se então sobretudo à colocação do som na circunferência definida pelos altifalantes e às passagens rápidas pelo seu espaço interno, definindo a linha de passagem pelos pontos de partida e chegada.

⁴⁸ <http://en.wiktionary.org/wiki/στερεός>

4.6 Software para Espacialização

O desenvolvimento de *software* para espacialização começou ainda antes da disseminação em larga escala das placas de som multicanal ⁴⁹, na sequência do desenvolvimento de meios analógicos para a espacialização ⁵⁰ e como consequência do crescente interesse pela informática musical. O artigo seminal de Chowning (1971) relata uma investigação que é contemporânea da exposição de Osaka'70 e da comercialização dos primeiros sistemas quadrifônicos, precedendo em poucos anos a proposta do sistema *Ambisonics* (Gerzon, 1973), o estabelecimento da *International Computer Music Conference* (ICMC), em 1974, e o lançamento do *Computer Music Journal*, cujo primeiro volume data de 1977, sendo o referido artigo de Chowning reproduzido no seu 3º número.

É elevado o número de propostas de *software* para espacialização desenvolvidas nas últimas duas décadas, tendo algumas delas sido entretanto descontinuadas. Uma parte significativa delas, incluindo as que aparecem integradas nas principais *Digital Audio Workstations* (DAW), foram desenvolvidas tendo como objectivo específico a espacialização em formatos de cinema (Peters et al., 2009), como o *surround* 5.1 (ITU, 2012). Embora estes formatos não possam ser ignorados, dada a sua ubiquidade, o desequilíbrio na localização de fontes sonoras virtuais reproduzidas por estes sistemas fazem com que estes não sejam particularmente adequados à espacialização de fontes sonoras virtuais em movimento, especialmente relevantes no contexto da espacialização na música electroacústica. O crescente estabelecimento da octofonia como padrão na música electroacústica (Lyon, 2008), notório desde o final do século XX (Otondo, 2008) e que poderá ser explicado em parte como consequência do padrão dos oito canais em gravadores digitais (Gorne, 2002), torna a presença deste formato como opção para espacialização sonora num possível indicador da relevância para a composição electroacústica de uma dada ferramenta de espacialização ou DAW ⁵¹. Tal não significa que as DAW que não permitem a octofonia são irrelevantes para a composição música electroacústica. Pelo contrário, algumas delas são ferramentas que ajudaram a moldar a história recente da música e são utilizadas por um grande número de compositores. Contudo, a opção pela inclusão de formatos como o 5.1 e o 7.1 em contraste com a ausência da octofonia podem ser vistos como indicadores da comparativa irrelevância do mercado da composição electroacústica para os

⁴⁹ Cujo início podemos identificar como tendo tido lugar no início da década de 1990, com o lançamento do Pro Tools 1.0, da Digidesign.

⁵⁰ E.g., o *pupitre d'espace*, o *sound mill* e os potenciómetros de panorâmica de amplitudes das mesas de mistura estereofónicas.

⁵¹ Na altura da escrita deste documento, entre as DAW mais utilizadas apenas o Cockos Reaper — <http://www.cockos.com/reaper/> —, o Cakewalk Sonar — <http://www.cakewalk.com/products/SONAR/X2-Producer/> — e o Ardour — <http://ardour.org> — possibilitam a espacialização com octofonia sem a utilização de *plugins*. Apenas este último permite a livre colocação dos altifalantes, utilizando uma panorâmica baseada em VBAP. O Ableton Live — <http://www.ableton.com/en/live/> —, o Propellerheads Reason — <http://www.propellerheads.se/products/reason/> — e o Apple GarageBand — <http://www.apple.com/ilife/garageband/> — estão limitados à panorâmica estereofónica. As versões completas do Cubase e do Nuendo, da Steinberg — <http://www.steinberg.net/en/home.html> —, acrescentam o surround 5.1. O Apple Logic Pro — <http://www.apple.com/logic-pro/> — e o Avid Pro Tools — <http://www.avid.com/US/products/pro-tools-software/> — acrescentam a quadrifonia, o LCRS, o 6.1 e o 7.1. Por fim, o Motu Digital Performer — <http://www.motu.com/products/software/dp/> — acrescenta ainda o 10.2.

fabricantes destas DAW, face a mercados como a composição para cinema. A limitação de grande parte destas DAW a oito canais de endereçamento é também uma limitação à exploração da espacialização com mais do que oito canais, mesmo utilizando *plugins* (Peters, Marentakis, & McAdams, 2011b). A preponderância dos formatos de cinema está também patente numa parte muito significativa das extensões para as DAW ⁵².

Salvo raras exceções, as propostas de *software* para espacialização baseiam a sua interface de utilizador numa variação do paradigma visível na figura 4.20. Esta consiste na manipulação da posição de um elemento que controla a posição de espacialização do canal de áudio dentro de um espaço delimitado, a que acresce comumente uma visualização da posição dos altifalantes. O espaço delimitado pode ser circunscrito pela visualização da posição dos altifalantes ou extravasar este espaço, o que acontece nos casos em que há simulação da distância das fontes sonoras, como no caso do Flux IRCAM Spat. Estes três elementos induzem uma abordagem estática à espacialização, já que a interface se centra no controlo da posição da fonte sonora virtual, em oposição ao controlo do seu movimento. Restantes parâmetros, quando existem, ora são sobrepostos a estes — como, e.g., o controlo da orientação da fonte sonora virtual através de uma representação de um potenciómetro rotativo sobre o elemento de controlo principal, o que acontece no IRCAM Spat (Jot, 2012) e no SoundScape Renderer (Ahrens, Geier, & Spors, 2012) —, ora controlados através de elementos auxiliares — como, e.g., menus, representações de potenciómetros lineares e rotativos ou caixas para introdução de parâmetros numéricos.

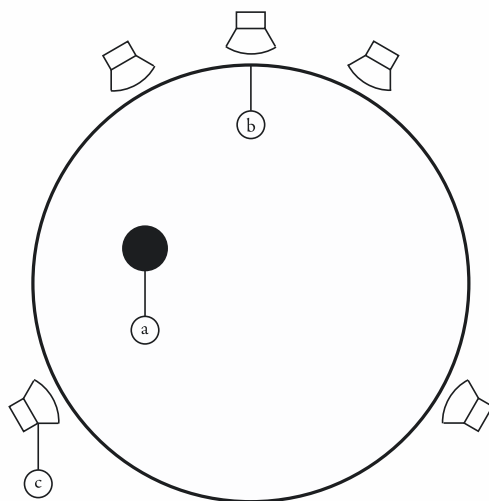


Figura 4.20. Principais elementos do actual paradigma das interfaces para espacialização de som: a) elemento para controlo e visualização da posição da espacialização actual; b) delimitação do espaço da espacialização; c) visualização da posição dos altifalantes.

⁵² Desde o conjunto Waves 360° Surround Tools — <http://www.waves.com/bundles/360-surround-tools> — até *plugins* desenvolvidos em colaboração com institutos de investigação, como o Flux IRCAM Spat — http://www.fluxhome.com/products/plugins/ircam_spat —, desenvolvido em colaboração com o IRCAM, e o Iosono Anymix Pro — <http://www.iosono-sound.com/vstrtas-plugin-ins/> —, desenvolvido em colaboração com o Instituto Fraunhofer.

O facto de a posição do elemento de espacialização ser controlável através do rato torna possível uma abordagem gestual à espacialização. Contudo, a manipulação em tempo real de um objecto físico (o rato) de modo interdependente com a leitura de um retorno visual colocado num ponto diferente do espaço físico (o monitor), cria um problema de interacção que tende a conduzir a resultados pouco satisfatórios. Uma interface construída com base no mesmo paradigma, mas controlada, e.g., através de uma superfície multitoque ou de um controlador de posição absoluta, será mais adequada para a espacialização gestual. A capacidade de automatização da posição de espacialização ao longo de um período de tempo, ubíqua nas várias DAW, possibilita uma abordagem cinematográfica à espacialização, embora nem sempre essa possibilidade seja acompanhada de uma optimização da interface de espacialização nesse sentido. No caso das ferramentas que utilizam coordenadas cartesianas para definir a posição do elemento de controlo da espacialização, como é comumente encontrado nas DAW e *plugins* comerciais, a definição de curvas de automatização para movimentos simples como uma rotação pelo círculo definido pelos altifalantes pode ser desnecessariamente complicada, sobretudo nos casos em que exista aceleração (figura 4.21).

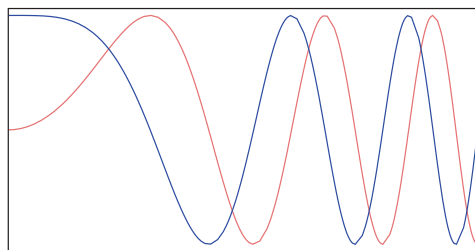


Figura 4.21. Curvas de automatização para um movimento de rotação, com aceleração angular, definido em coordenadas cartesianas.

4.6.1 Ferramentas Históricas

O sistema proposto por Chowning (1971) é o primeiro sistema de espacialização implementado em *software* capaz de simular a posição, a distância e o movimento de fontes sonoras virtuais. Utiliza um sistema quadrifónico e é baseado no conhecimento sobre a percepção espacial na audição, dividindo a percepção da direcção no plano transversal — dependente das diferenças de tempo e intensidade interaurais⁵³ —, a percepção da distância — dependente do rácio entre som directo e reverberação e da atenuação das frequências com menor energia — e a percepção da velocidade — dependente do efeito de Doppler.

Para a simulação da direcção, propõe a divisão do espaço bidimensional em quatro quadrantes, com origem no ouvinte e com os altifalantes nas fronteiras entre eles. Quando a fonte sonora virtual é colocada num

⁵³ Os elementos da *Duplex Theory*, de Lord Rayleigh (1907).

dado quadrante, os dois altifalantes contíguos são utilizados para a difundir através de uma panorâmica de amplitudes com base em tangentes ⁵⁴:

$$a_1 = 1 - \frac{1 + \tan\left(\theta - \frac{\theta_{max}}{2}\right)}{2} \quad (4.32)$$

$$a_2 = \frac{1 + \tan\left(\theta - \frac{\theta_{max}}{2}\right)}{2} \quad (4.33)$$

sendo a_1 e a_2 , respectivamente, as amplitudes do sinal nos altifalantes contíguos ao quadrante, θ o ângulo da fonte sonora virtual no quadrante e $\theta_{max} = 90^\circ$.

Para simular a distância, é variada a amplitude a do sinal directo

$$a = \frac{1}{d} \quad (4.34)$$

e a amplitude a_r da reverberação

$$a_r = \frac{1}{\sqrt{d}} \quad (4.35)$$

em função da distância d da fonte sonora virtual ao ouvinte. Por fim, é adicionada uma manipulação da frequência em função da velocidade, para simular o efeito de Doppler. O conjunto das manipulações é apresentado na figura 4.22. Este sistema foi estreado por Chowning na composição da obra *Turenas* [1972].

⁵⁴ Chowning propõe primeiro uma panorâmica de amplitudes linear e, de seguida, a panorâmica de amplitudes com base em tangentes para “preencher os buracos” entre altifalantes (“*fill the hole*”, no original) (Chowning, 1971).

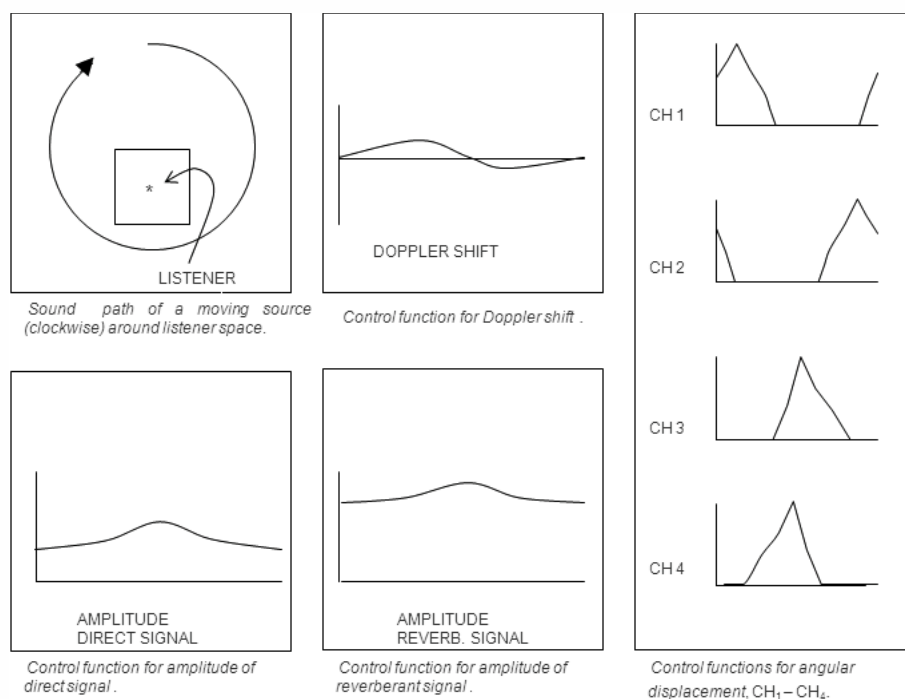


Figura 4.22. Resultado das funções de controlo (a partir do canto superior esquerdo, no sentido dos ponteiros do relógio) do efeito de Doppler, da panorâmica de amplitudes e das amplitudes da reverberação e do som directo, ambas em função da distância, no sistema de espacialização implementado por John Chowning (2011).

Richard Moore (1983) expande, na década seguinte, o sistema de Chowning pela incorporação da investigação entretanto desenvolvida na área dos algoritmos para reverberação artificial. Propõe então um modelo baseado num espaço contido dentro de outro espaço: no interior, o espaço real onde se encontram os ouvintes e que é delimitado pelos altifalantes; no exterior, o espaço imaginário de onde emanam os sons. Este modelo foi implementado no *software* de síntese sonora Cmusic⁵⁵, desenvolvido pelo mesmo autor.

Os altifalantes funcionam como “buracos na parede para sons que existem na sala exterior”⁵⁶ (Moore, 1983). São então calculados os percursos directos e indirectos desde uma dada fonte sonora virtual até aos altifalantes (figura 4.23).

⁵⁵ <http://www.crca.ucsd.edu/cmusic/>

⁵⁶ “From within the listening space, we listen through “holes” in the walls to sounds that exist in the outer room.”, no original (Moore, 1983, p. 8).

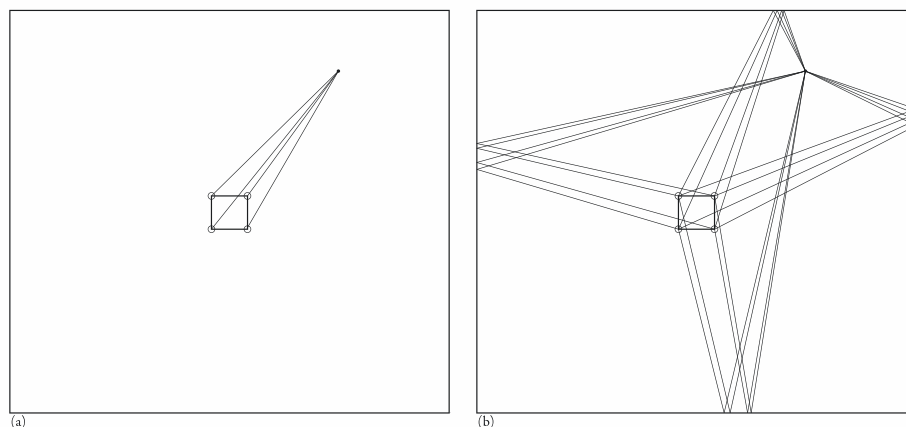


Figura 4.23. Caminhos directos (a) e indirectos (b) entre uma fonte sonora virtual, situada no espaço exterior, e os altifalantes que delimitam o espaço interior no modelo proposto por Moore (1983). Os caminhos que atravessam o espaço interior não são difundidos.

Estes caminhos são manipulados pelo algoritmo por forma a reflectir:

- a atenuação total provocada pelas paredes do espaço interior (e.g., no caso (a) da figura 4.23), o som destinado ao altifalante representado no canto inferior esquerdo seria completamente atenuado);
- a atenuação em função da distância percorrida, descrita pela lei do inverso do quadrado da distância;
- a atenuação em função da frequência e da distância percorrida, provocada pela absorção atmosférica;
- a atenuação em função da frequência, nos caminhos indirectos, pela absorção parcial aquando da reflexão nas paredes do espaço exterior;
- o atraso temporal em função da distância percorrida, que tem como consequência, no caso de fontes em movimento, um efeito de Doppler idêntico ao que aconteceria na realidade;

Uma reverberação global, simulando a reverberação difusa da sala exterior, é ainda adicionada com um atraso de cerca de 60 ms. Este sistema é mais tarde implementado em extensões para Max e Pure Data, por uma equipa que inclui o próprio Richard Moore (Yadegari, Moore, Castle, Burr, & Apel, 2002), por forma a permitir a sua execução em tempo real, aproveitando o aumento da capacidade de processamento dos computadores pessoais.

Se é possível identificar, no sistema proposto por Chowning, relações com técnicas posteriores de panorâmica de amplitudes como a VBAP — pela forma como o som é distribuído nos quadrantes do plano transversal — e com a DBAP — pela forma como o som é atenuado em função da distância aos altifalantes, o comportamento do sistema proposto por Moore está mais próximo do da WFS, em consequência da utilização dos atrasos. Segundo o próprio, a questão do *sweet spot* não é preocupante neste modelo: tal

como acontece com os sistemas de WFS, “cada ouvinte ouve uma coisa diferente, mas todos constroem perspectivas individuais sobre a mesma ilusão.”⁵⁷ (Moore, 1983).

O Spat, do IRCAM (Jot, 1997; 2012), é uma ferramenta de espacialização modular que já conheceu várias versões⁵⁸. Originalmente designado como *Spatialisateur*, o seu desenvolvimento teve início em 1991 (Jot, 2012). Ao contrário das propostas de Chowning e Moore, não se trata de uma proposta de uma técnica de espacialização, antes uma ferramenta que inclui técnicas como a VBAP, o *Ambisonics*, binaural e, mais recentemente, WFS. O elemento basilar do Spat é uma biblioteca de processamento de sinal em C e C++, que é também disponibilizada no formato de extensões para Max, permitindo assim a utilização dos seus módulos na concepção de ferramentas personalizadas. É também incluída uma aplicação autónoma cuja interface (figura 4.24) utiliza parcialmente uma “terminologia ligada à percepção em vez de terminologia técnica”⁵⁹ (Jot, 2012), sendo expressa a preocupação com a concepção da interface sob a perspectiva do compositor.



Figura 4.24. Interface da aplicação autónoma da versão 4 do IRCAM Spat.

O modelo de espacialização, independente da técnica utilizada, é o de uma cadeia de processamento:

- módulo de fonte sonora: a manipulação do sinal para introdução de atrasos relativos à distância da fonte sonora — que têm como consequência natural o efeito de Doppler, tal como na proposta de Moore (1983) — e de manipulação espectral para simular a absorção atmosférica relativa à distância e o comportamento direccional relativo à orientação da fonte sonora;
- o módulo de sala: responsável pelo cálculo da reverberação, elemento integrado na simulação da distância, tal como nas propostas de Chowning (1971) e Moore (1983);

⁵⁷ “Each listener hears something different, but all listeners gain individual perspectives on the same illusion.”, no original (Moore, 1983, p. 8).

⁵⁸ <http://forumnet.ircam.fr/en/product/spat/>. No momento de escrita deste documento, encontra-se disponível a versão 4.

⁵⁹ “A control interface is proposed which allows to specify the desired effect using perceptual terms rather than technical terms.”, no original (Jot, 2012, p. 5).

- o módulo de panorâmica: responsável pela manipulação dos sinais recebidos a partir dos módulos de fonte sonora e do módulo de sala para o cálculo dos sinais a distribuir pela configuração de altifalantes;
- o módulo de descodificação: responsável pela correcção espectral e temporal dos sinais a enviar para os altifalantes.

As questões da terminologia ligada à percepção são visíveis na figura 4.24, pela utilização dos termos *Source Presence*, *Source Warmth*, *Source Brilliance*, *Room Presence*, *Running Reverberance* e *Envelopment* como legenda dos elementos de controlo da secção intitulada *Perceptual Factors*. Porém, e ao contrário do que acontece com os outros elementos, não há qualquer indicação sobre a natureza das unidades e as escalas têm valores máximos e mínimos diferentes, que são ainda reflectidos nos diferentes comprimentos dos elementos de controlo. O manual (Jot, 2012) explica as vantagens desta abordagem perceptual, definindo-a como uma originalidade da ferramenta, e explica resumidamente a natureza dos factores, sendo contudo omissa sobre a questão das escalas e unidades. O controlo sobre estes parâmetros é efectuado pela manipulação de simulações de potenciómetros lineares, sendo o componente principal da interface, visível no lado direito da figura 4.24, uma versão do paradigma dominante, diferindo deste apenas pela introdução da capacidade de manipulação da orientação da fonte sonora.

4.6.2 Bibliotecas para Max

A criação de ferramentas personalizadas pelos compositores foi, nos últimos anos, impulsionada por ferramentas de programação como, e.g., o Max ⁶⁰, o Pure Data ⁶¹, o SuperCollider ⁶² e o Csound ⁶³. Destas, o Max ⁶⁴ tornou-se particularmente importante, dada a sua ampla difusão e consequente inclusão nos currículos de vários cursos de composição de todo o mundo. Segundo um inquérito realizado por Peters et al. (2011b) ⁶⁵, 31% dos compositores de música electroacústica interessados em especialização utilizam uma ferramenta de programação e 20% desenvolveram as suas próprias ferramentas de especialização. As bibliotecas dedicadas à especialização em Max têm, por isso, um papel relevante na prática da especialização para música electroacústica e instalações sonoras. Algumas destas bibliotecas referem-se a técnicas de especialização que foram directamente implementadas como extensões para o Max, como o

⁶⁰ <http://cycling74.com/products/max/>

⁶¹ <http://puredata.info>

⁶² <http://supercollider.sourceforge.net>

⁶³ <http://www.csounds.com>

⁶⁴ Criado na década de 1980, no IRCAM, por Miller Puckette, o mesmo autor do Pure Data. Não obstante o facto do Max ser *software* comercial e o Pure Data *software* gratuito e de código aberto, ambos partilham o mesmo paradigma e alguns elementos de compatibilidade.

⁶⁵ Que será analisado em maior detalhe no subcapítulo 5.2.

DBAP (Lossius et al., 2009) e o ViMiC (Peters, 2010) ⁶⁶. Outras, como as que apresentaremos de seguida, implementam técnicas de espacialização pré-existentes.

Pouco tempo depois da proposta da VBAP (Pulkki, 1997), o seu autor lançou um objecto para Max que abriu a porta à fácil inclusão desta técnica em projectos personalizados (Pulkki, 2000). Possíveis razões para a popularidade ⁶⁷ desta implementação são:

- a flexibilidade da técnica subjacente, capaz de adaptar facilmente a difusão a um qualquer número e configuração de altifalantes;
- o facto de gerar informação de controlo de ganhos compatível com a matriz de endereçamento de áudio — ‘matrix~’, um objecto padrão do Max — em vez de fazer a manipulação directa do áudio, o que faz com que os objectos, cuja última versão data de 2007, sejam mais facilmente compatíveis com novas versões ou funcionalidades do Max como, e.g., a transição para o processamento de áudio a 64 bit;
- a facilidade da sua implementação, dado necessitar apenas de um objecto externo e de uma mensagem inicial para configurar os altifalantes;
- o facto de permitir o fácil acesso aos valores dos ganhos, o que facilita a sua manipulação directa para necessidades particulares ou para a construção de visualizações personalizadas.

Várias bibliotecas oferecem implementações do sistema *Ambisonics* em Max. Todas estas adoptam uma abordagem de processamento de áudio pelos próprios objectos, ao contrário do que acontece com o VBAP, e apresentam uma colecção de objectos dedicados às várias fases do processo do *Ambisonics*. Graham Wakefield ⁶⁸ é responsável pela criação de duas destas bibliotecas. A primeira, proposta a título individual (Wakefield, 2006), permite o HOA até à terceira ordem, incluindo objectos para a codificação, manipulação e descodificação de campos sonoros bi e tridimensionais. A mais recente (Wakefield & Smith, 2011) aparece integrada na biblioteca COSM, com diversas extensões áudio e vídeo dedicadas à concepção de ambientes de realidade virtual, incluindo objectos para a codificação e descodificação de campos sonoros HOA bi e tridimensionais até à terceira ordem.

A colecção de extensões desenvolvidas pelo *Institute for Computer Music and Sound Technology* (ICST) (Schacher & Kocher, 2006; Schacher, 2010) inclui objectos para a construção de visualizações e de interfaces de utilizador, seguindo o paradigma dominante, e um conjunto alargado de controlos sobre o

⁶⁶ O ViMiC será apresentado no subcapítulo 4.6.4. Na realidade foi implementado inicialmente como extensão para Pure Data (Braasch et al., 2008), tendo esta sido logo de seguida compilada para Max (Peters, Matthews, Braasch, & McAdams, 2008).

⁶⁷ Uma pesquisa informal pelo acrónimo VBAP no site do fabricante do Max — <http://cycling74.com> — (que inclui o seu principal fórum de utilizadores), devolve, na altura de escrita deste documento, 1630 resultados. Este resultado contrasta com, e.g., os 22 resultados da pesquisa pelo acrónimo HOA, os 18 resultados da pesquisa pelo acrónimo WFS ou os 7 resultados da pesquisa pelo acrónimo DBAP, sendo revelador do impacto deste objecto na comunidade de utilizadores do Max.

⁶⁸ Que, entre outras actividades, é colaborador da Cycling⁷⁴, empresa que desenvolve o Max: <http://cycling74.com>.

sistema de coordenadas e as características do decodificador. Possibilita a implementação de HOA até à 11ª ordem, da qual resulta a codificação do campo sonoro em 144 componentes individuais, permitindo assim uma elevada resolução espacial. São ainda incluídos algoritmos para simulação da distância, implementados sob a forma de abstrações ⁶⁹, sendo esta sempre imposta ao sinal áudio antes da fase de codificação do campo sonoro.

A recente ⁷⁰ biblioteca Hoa.Lib (Colafrancesco, 2012; Colafrancesco, Guillot, & Paris, 2013) abre a porta ao HOA sem limite de ordem, embora esteja limitada a campos sonoros bidimensionais. Inclui a possibilidade de rotação do campo sonoro ⁷¹, implementações de reverberação dedicadas à aplicação em campos sonoros *Ambisonics* e um objecto para a síntese binaural bidimensional a partir de campos sonoros HOA até à 35ª ordem. Inclui ainda alguns objectos interessantes para a visualização e manipulação dos processos de codificação e decodificação dos campos sonoros HOA.

A implementação de HOA-DE seria possível com qualquer uma destas bibliotecas. No entanto, tal iria tornar a sua implementação substancialmente mais complexa para o utilizador final, sobretudo quando comparada com a simplicidade da implementação da VBAP. Desta forma, foi decidido criar uma biblioteca de extensões para Max como parte do *spatium*. Esta inclui três objectos para HOA-DE — para codificação, rotação e decodificação do campo sonoro — e um objecto para APbSP. O modelo para a concepção destes objectos foi a implementação do objecto de VBAP para o Max. Tal como este, e ao contrário do que acontece com as referidas bibliotecas de HOA para Max, os objectos do *spatium* geram informação de controlo de ganhos compatível com a matriz de endereçamento de áudio padrão do Max em vez de fazerem a manipulação directa do áudio. A configuração dos altifalantes faz-se utilizando uma mensagem com a mesma sintaxe da do objecto de VBAP. No caso dos objectos HOA-DE, todas as configurações necessárias à decodificação do campo sonoro são automaticamente ajustadas no sentido da maximização do vector de energia, tendo em conta a configuração de altifalantes escolhida, estando, não obstante, disponíveis para controlo através da manipulação dos atributos dos objectos. A figura 4.25 mostra uma comparação entre a implementação da espacialização de uma fonte sonora num sistema quadrifónico com os objectos de HOA-DE (neste caso, apenas o *spatium-encode* e o *spatium-decode*), com o objecto de APbSP (*spatium-panning*) e com o objecto de VBAP.

⁶⁹ I.e., sob a forma de *patches* de Max encapsulados, permitindo assim a sua fácil análise e manipulação pelo utilizador final, em contraste com o que acontece com as extensões compiladas sob a forma de objectos.

⁷⁰ Foi lançada aproximadamente na mesma altura do que o *spatium*, o *software* desenvolvido no âmbito deste trabalho.

⁷¹ Dado que se trata de um campo sonoro bidimensional, só é possível a rotação em torno do eixo transversal, tal como descrito anteriormente.

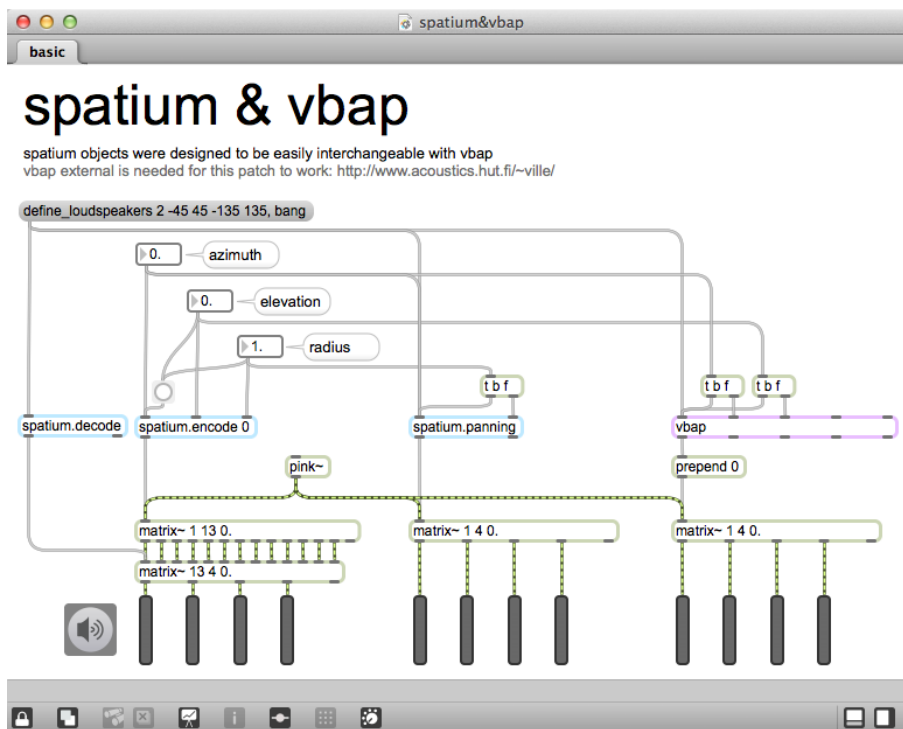


Figura 4.25. Comparação entre três implementações, em Max, da espacialização de uma fonte sonora para quadrifonia. Da esquerda para a direita: com os objectos spatium para HOA-DE, com o objecto spatium para APbSP e com o objecto VBAP.

4.6.3 Fontes Sonoras Não Pontuais

As principais diferenças entre os sistemas de altifalantes desenhados para a espacialização cinematográfica e as orquestras de altifalantes concebidas para a espacialização gestual prendem-se com a maior homogeneidade tímbrica e regularidade de colocação dos primeiros relativamente às segundas. A uniformidade do comportamento espectral do sistema de difusão contribui assim para que a presença dos altifalantes se torne secundária face às qualidades da colocação das fontes no espaço. A maior parte das técnicas de síntese de espacialização revistas assume as fontes sonoras virtuais como emissores pontuais⁷² gerados a partir de sinais monofónicos, relegando a capacidade de manipulação do tamanho ou da largura da fonte sonora à introdução de fontes multicanal (e.g., gravações estereofónicas) como um conjunto de fontes pontuais.

As tradicionais abordagens à manipulação da largura de fontes sonoras virtuais passam pela manipulação do conteúdo espectral do sinal, distribuindo as regiões do espectro do som da fonte sonora pelo campo estereofónico e tornando assim a localização dependente da frequência (Gerzon, 1986). Com a possibilidade de manipular independentemente cada banda de frequência de uma transformada rápida de

⁷² Sendo a WFS uma notável excepção.

Fourier (FFT, do inglês *Fast Fourier Transform*) no Max, Settel & Lippe (1994) propõem a espacialização em função da frequência, posteriormente desenvolvida por Torchia & Lippe (2004). A amplitude do sinal de cada banda de frequência do FFT é distribuída pelos canais através de uma simples panorâmica de amplitudes, mas a mesma abordagem é possível com outras técnicas de espacialização. Esta distribuição é controlada por uma interface gráfica que coloca, num espaço bidimensional, a posição em função da frequência (figura 4.26).

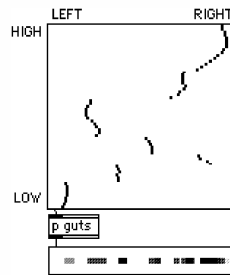


Figura 4.26. Interface para a manipulação da panorâmica estereofónica em função da frequência (Torchia & Lippe, 2004).

A espacialização espectral permite assim a manipulação da largura da fonte sonora virtual para além da condição de emissor pontual, já que outros parâmetros contribuem para que a percepção cognitiva do conjunto se mantenha (e.g., o destino comum da envolvente de amplitude).

Outra técnica para a criação de fontes sonoras com dimensão, incluindo a espacialização difusa, é a espacialização independente de cada grânulo de uma implementação de síntese granular. A proposta da distribuição independente de cada grânulo no espaço espectral ou na estereofonia é contemporânea da sua implementação com meios digitais (Roads, 2001). São várias as propostas de implementações de espacialização granular (Deleflie & Schiemer, 2009; Jakovich & Beilharz, 2007; Wakefield & Smith, 2011), uma parte significativa delas propondo o controlo das posições dos grânulos a partir de algoritmos de simulação do comportamento de bandos de animais ⁷³ (Kim-Boyle, 2005; Davis & Karamanlis, 2007; Wilson, 2008; Mariette, 2009; Schacher et al., 2011).

O principal motor de espacialização do *spatium* (o *spatium-ambi*) inclui uma implementação de espacialização em função da frequência e outra de espacialização granular. Estas geram até 16 canais de espacialização que podem ser controlados de forma independente ou directamente através de uma interface que simula o comportamento de um bando de animais (o *spatium-flocking*) ou de uma interface que

⁷³ Estes algoritmos simulam o comportamento de, e.g., bandos de pássaros, enxames de insectos ou cardumes de peixes através de um algoritmo análogo ao dos sistemas de partículas que contém várias instâncias de objectos autónomos. Estes objectos são capazes de decidir o seu comportamento através de um conjunto simples de regras que dependem da análise do ambiente e do comportamento dos outros objectos. Baseiam-se nas ideias implementadas no algoritmo pioneiro de Craig Reynolds (1987), que ficou conhecido como *Boids*.

simula o comportamento de vários corpos confinados a um espaço com gravidade variável (o *spatium-gravity balls 2D*).

4.6.4 Abordagem Estratificada

Tem aumentado, nos últimos anos, o número de propostas que implementam uma abordagem estratificada à espacialização. Esta abordagem caracteriza-se pela separação dos elementos que constituem uma ferramenta de espacialização, sendo a separação mais comum feita entre a interface de controlo e o motor de espacialização ⁷⁴, que implementa o processamento de sinal da técnica de espacialização. Deste modo, torna-se possível desenvolver e actualizar os módulos de forma independente, contribuindo para, e.g., facilitar a integração das ferramentas no processo de trabalho dos compositores ou permitir a recriação das obras ao ritmo dos avanços das técnicas de espacialização. A actual tendência para dotar os computadores de capacidades de processamento paralelo pode beneficiar esta abordagem modular, que permite também a distribuição de processamento por várias máquinas, promovendo a utilização de dispositivos de computação portátil como, e.g., o iPad ⁷⁵ para interacção e a maior capacidade de processamento de um computador tradicional para correr o motor de espacialização. Este subcapítulo analisará algumas destas propostas — que, com apenas uma excepção, adoptam o protocolo *Open Sound Control* ⁷⁶ (OSC) como suporte à comunicação entre módulos — e as implicações desta abordagem no processo de concepção das ferramentas de espacialização.

O *software* para controlo da espacialização Holo-Edit (Bascou, 2010) surge originalmente como parte do HoloPhon, um projecto iniciado em 1996 e que, à época, incluía também o Holo-Spat ⁷⁷, um motor de espacialização desenvolvido em Max. O Holo-Edit é unicamente utilizado como interface de espacialização, tendo o seu elemento central sido desenhado como uma expansão do paradigma dominante pela introdução de meios de manipulação das trajectórias de várias pistas ao longo do tempo (figura 4.27).

⁷⁴ A designação mais comum, em inglês, é “*spatialization renderer*” (Pope, 2008; Peters et al., 2009). Optou-se pela tradução para motor de espacialização, no sentido de melhor veicular a ideia de que se trata de uma aplicação que manipula os sinais de áudio seguindo as instruções enviadas pelas interfaces.

⁷⁵ <http://www.apple.com/ipad/>

⁷⁶ Um protocolo para comunicação entre computadores e instrumentos musicais digitais, baseado em protocolos de rede, que pela sua flexibilidade e fácil implementação tem vindo a ganhar terreno face ao tradicional MIDI.

⁷⁷ Na altura de escrita deste documento, o Holo-Spat não se encontra disponível.

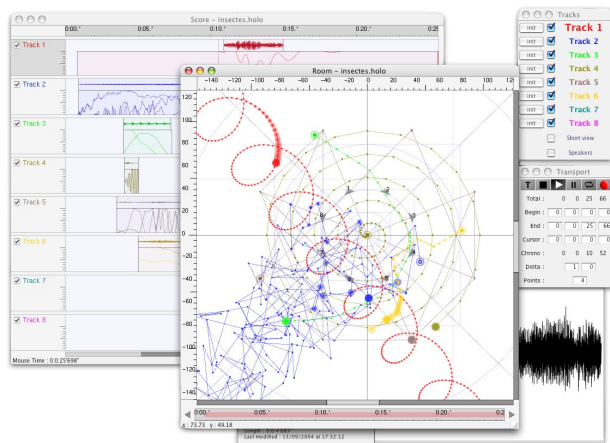


Figura 4.27. Interface de espacialização Holo-Edit.

A manipulação das trajectórias faz-se, no Holo-Edit, através de objectos de trajectórias tridimensionais que consistem em conjuntos sequenciais de pontos com uma localização específica no espaço e no tempo. Estas trajectórias podem ser manipuladas (e.g., esticando, estendendo ou cortando), numa clara abordagem cinematográfica à espacialização. A figura 4.27 mostra a sobreposição de oito pistas de trajectórias geométricas para controlo do movimento. Na mesma figura é também visível um outro painel do Holo-Edit, inspirado na típica interface de uma DAW (Bascou, 2010), com o qual é possível a sobreposição da representação cartesiana ou polar de cada trajectória a uma forma de onda importada a partir de um ficheiro de áudio. Esta interface permite assim a sincronização das trajectórias espaciais com os ficheiros de áudio a espacializar, sendo o controlo da reprodução dos ficheiros de áudio implementado no protocolo de comunicação com o motor de espacialização. O Holo-Edit é, dentro das interfaces de espacialização concebidas especificamente para a música electroacústica, uma das mais reconhecidas pela comunidade (Peters et al., 2011b), tendo contribuído para consolidar a validade da abordagem estratificada à espacialização.

O Zirkonium ⁷⁸ é uma ferramenta para espacialização desenvolvida pelo *Zentrum für Kunst und Medientechnologie* (ZKM) especificamente para a concepção de peças especializadas para o ZKM Klangdom (Ramakrishnan, Goßmann, & Brümmer, 2006), actualmente uma instalação semiesférica de 47 altifalantes. Foi, no entanto, desenvolvido por forma a que pudesse ser utilizado com qualquer configuração de altifalantes, sendo baseado em VBAP. A sua interface gráfica (figura 4.28) foi desenhada por forma a beneficiar a visualização da posição dos altifalantes e das fontes sonoras virtuais num ambiente tridimensional em detrimento das possibilidades de controlo, em contraste com o que acontecia no caso do Holo-Edit. O controlo do movimento das fontes sonoras virtuais é feito através da introdução em texto de quatro parâmetros para cada percurso: tempo inicial, posição inicial, tempo final e posição final.

⁷⁸ <http://www.zkm.de/zirkonium>

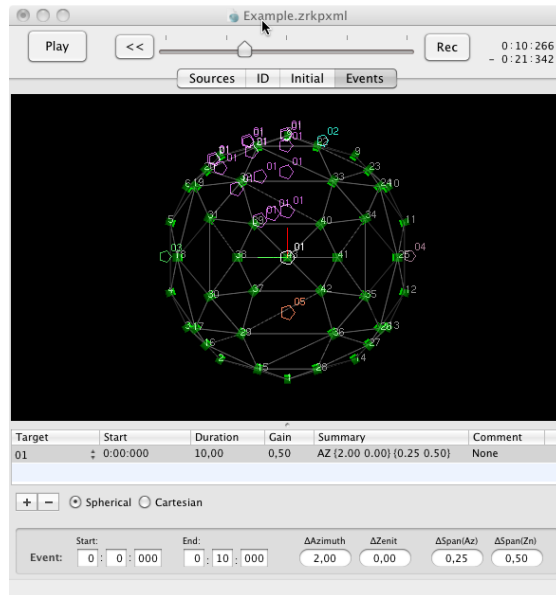


Figura 4.28. Interface da ferramenta de espacialização Zirkonium.

A abordagem estratificada, no caso do Zirkonium, é introduzida pela possibilidade de controlo da posição das fontes sonoras virtuais a partir de outras aplicações via OSC (e.g., a partir do Max, situação para a qual é disponibilizado um exemplo de implementação). Os sinais dos diferentes canais de áudio são enviados para o Zirkonium utilizando uma ferramenta de endereçamento de áudio como, e.g., o Jack ⁷⁹ ou o Soundflower ⁸⁰, podendo assim ser gerados ou sequenciados a partir de qualquer ferramenta. O manual (Ramakrishnan, Goßmann, & Brümmer, 2006) refere ainda a existência de um *plugin* Audio Unit ⁸¹ que não provoca qualquer alteração no sinal, apenas envia a posição via OSC para processamento no Zirkonium ⁸². A utilização de um *plugin* numa DAW para controlar a informação sobre a espacialização que é paralelamente sintetizada numa ferramenta externa é uma forma de contornar a limitação de canais de endereçamento de grande parte das DAW. É também a solução adoptada no spatium para a integração das DAW na sua abordagem estratificada à espacialização.

O *Virtual Microphone Control* (ViMiC) (Peters, 2010) é uma técnica de espacialização na qual fontes sonoras virtuais são colocadas em salas virtuais e captadas por microfones virtuais (figura 4.29). Propriedades destes elementos (e.g., posição, orientação ou padrão de captação) são editáveis e o sistema calcula o áudio captado pelos microfones colocados no espaço para posterior manipulação ou difusão.

⁷⁹ <http://jackaudio.org>

⁸⁰ <http://cycling74.com/soundflower-landing-page/>

⁸¹ Formato de *plugins* para DAWs desenvolvido pela Apple e utilizado, e.g., no Apple Logic Pro, no Ableton Live ou no Motu Digital Performer.

⁸² Na altura de escrita deste documento, contudo, o *plugin* não se encontrava disponível.

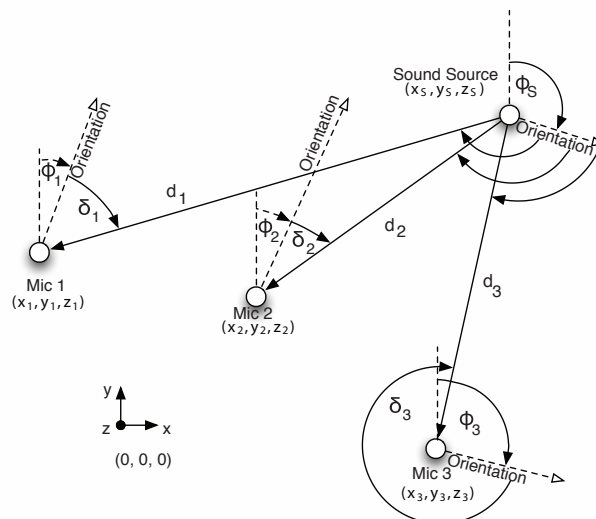


Figura 4.29. Uma fonte sonora virtual é captada por três microfones virtuais, dentro de uma sala virtual, através do sistema ViMiC (Peters, 2012).

O ViMiC é então, mais do que uma técnica de espacialização, um sistema que permite a implementação virtual de sistemas de captação, utilizando microfones com padrões de captação que são versões idealizadas (i.e., sem comportamentos dependentes da frequência) dos microfones reais. O sistema existe em formato de extensão para Max e permite a colocação de até 32 microfones virtuais. Para controlo da posição das fontes sonoras virtuais, os autores propõem, à semelhança do que acontece com o Zirkonium e com o spatium, a utilização de um *plugin* capaz de enviar, via OSC, a informação para o motor de espacialização (figura 4.30) ⁸³.



Figura 4.30. *Plugin* VST para controlo, via OSC, do ViMiC (Braasch et al., 2008).

⁸³ No entanto, e tal como no caso do Zirkonium, os *plugins* referidos nos artigos — VST (Braasch et al., 2008) e Audio Unit (Peters et al., 2011a), este último para controlo directo do sinal de áudio — não se encontram disponíveis na altura de escrita deste documento, não sendo igualmente referidos na mais recente versão do manual do ViMiC (Peters et al., 2012b).

O SoundScape Renderer (SSR) (Geier, Ahrens, & Spors, 2008; Ahrens et al., 2012) é uma ferramenta para espacialização bidimensional que, à semelhança do Spat, implementa várias técnicas de espacialização: WFS, vários modos de síntese binaural (incluindo a possibilidade de reagir ao rastreo da orientação da cabeça do ouvinte), VBAP e *Ambisonics Amplitude Panning*, uma técnica baseada em *Ambisonics* que consiste numa “panorâmica de amplitudes que utiliza todos os altifalantes [...] para reproduzir uma fonte sonora virtual (em oposição ao VBAP, que utiliza apenas dois altifalantes de cada vez)”⁸⁴ (Ahrens et al., 2012). A abordagem estratificada é idêntica à do Zirkonium, no sentido em que se trata de uma ferramenta integrada que recebe áudio a partir de uma ferramenta de endereçamento de áudio e informação de controlo a partir de um protocolo de rede. Este protocolo é baseado no envio de mensagens XML via TCP, ao contrário do envio de mensagens OSC via UDP, comum a todas as outras abordagens estratificadas à espacialização apresentadas. Se, por um lado, a opção pelo TCP torna a comunicação mais fiável, por outro pode levantar algumas preocupações quanto a possíveis atrasos imprevisíveis no envio das mensagens⁸⁵.

A aplicação inclui uma interface gráfica simples (figura 4.31), que permite, depois de definida qual a técnica de espacialização a utilizar, a colocação de fontes sonoras virtuais para a espacialização estática. O manual (Ahrens et al., 2012) refere ainda a intenção de criação de um *plugin* para envio de informação espacial a partir de uma DAW, tal como os desenvolvidos para o Zirkonium, para o ViMiC e para o spatium.

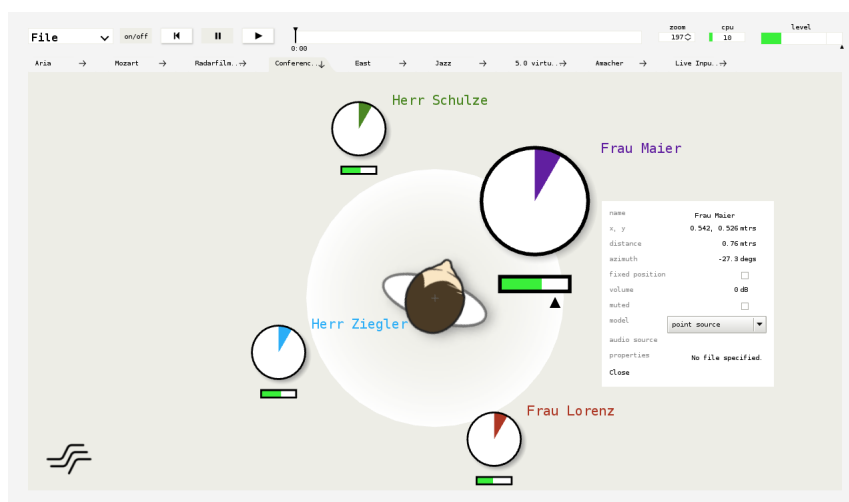


Figura 4.31. Interface da ferramenta de espacialização SSR.

⁸⁴ “It does amplitude panning by simultaneously using all loudspeakers which are not subwoofers to reproduce a virtual source (contrary to the VBAP renderer which uses only two loudspeakers at a time).”, no original (Ahrens et al., 2012, p. 25).

⁸⁵ Segundo o manual (Ahrens et al., 2012), este protocolo está ainda em desenvolvimento e poderá sofrer alterações significativas em futuras versões, o que pode ser dissuasor da criação de interfaces de controlo para o SSR enquanto tal situação se mantiver.

O IanniX ⁸⁶ é um sequenciador de eventos baseado nas ideias de Iannis Xenakis para interfaces de criação musical, com explícita filiação no UPIC ⁸⁷. Não sendo uma ferramenta de espacialização *per se*, merece referência neste trabalho por permitir o desenho de linhas e eventos pontuais num espaço tridimensional, gerando deste modo sequências de eventos que são enviados em tempo real por OSC. Permite ainda a programação de geradores de sequências utilizando Javascript. O seu *site* inclui exemplos da utilização do IanniX como interface para geração e controlo de espacialização ⁸⁸, sendo a sua implementação ideal para a concepção de espacialização cinemática ⁸⁹, dada a facilidade e flexibilidade que permite na geração e controlo de vários elementos geométricos no espaço (figura 4.32).

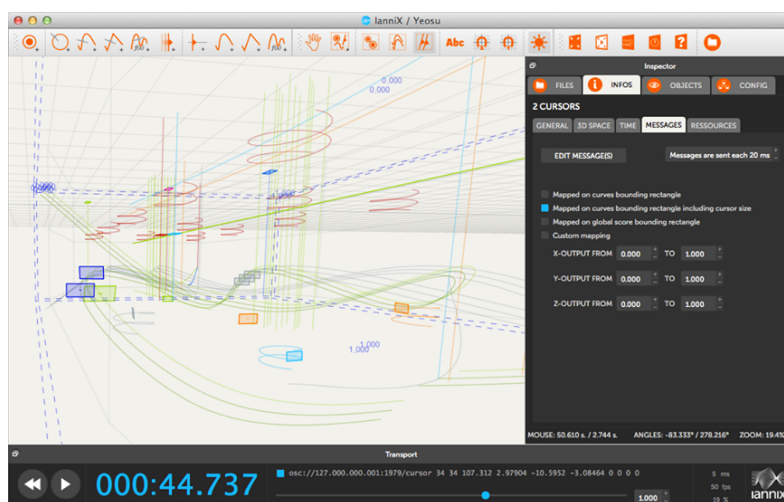


Figura 4.32. Interface do sequenciador de eventos IanniX.

4.7 Conclusão

Das técnicas de espacialização apresentadas, o HOA é uma técnica de espacialização particularmente interessante para a concepção de um motor de espacialização para música electroacústica dado que:

- separa os momentos de codificação e decodificação, permitindo a utilização do campo sonoro codificado como formato de disseminação independente da configuração de altifalantes;
- permite a decodificação para vários formatos — desde a estereofonia a formatos tridimensionais, passando pela síntese binaural — aproveitando a resolução espacial disponível em cada situação sem

⁸⁶ <http://www.iannix.org>

⁸⁷ O UPIC (*Unité Polyagogique Informatique CEMAMu*) é uma ferramenta para a composição musical concebida por Xenakis, na década de 1970, construída em torno de uma mesa de desenho digital como interface de controlo de algumas dezenas de osciladores. Foi utilizado, e.g., na concepção da sua peça *Mycenae-Alpha* [1978].

⁸⁸ E.g., <http://www.iannix.org/en/item/world-expo-2012-korea/>

⁸⁹ É possível a sua utilização como interface para espacialização cinemática com o spatium, como se mostrará no subcapítulo 5.6.5.

perda de retrocompatibilidade (que é inevitável no caso das peças concebidas para reprodução com sistemas de WFS);

- permite a codificação de espaços tridimensionais compatíveis com a descodificação para configurações bidimensionais;
- permite a adequação da descodificação ao espaço de difusão através da relação entre os diferentes ganhos dos canais codificados, possibilitando, e.g., o equilíbrio entre o tamanho do *sweet spot* e a precisão da reprodução espacial;
- a introdução da codificação da distância no HOA-DE aumenta de forma significativa a capacidade de adaptação da descodificação a cada espaço de difusão, permitindo a introdução das pistas relevantes à percepção da distância apenas na altura da descodificação.
- não implica o efeito de Doppler na reprodução de fontes em movimento (consequência natural da técnica de espacialização no caso da WFS);

A ASbSP é um bom complemento da HOA-DE para as abordagens nas quais a colocação em evidência da posição dos altifalantes seja importante. Se no HOA-DE os altifalantes são apenas meios para a reconstrução do campo sonoro, sendo idealmente não individualizáveis por forma a não quebrar a sensação de imersão num espaço sonoro, na APbSP a localização de cada um dos altifalantes é um elemento importante na definição de percursos no espaço. Sob o ponto de vista da categorização dos espaços de Vande Gorne (2002), o HOA-DE privilegia o espaço envolvente e a APbSP privilegia o espaço fonte. Esta diferença tem implicações na definição da configuração de altifalantes utilizável na reprodução — variável, no caso do HOA-DE, e fixa, no caso da APbSP — e na relação com a acústica do espaço de difusão — alterável pela adição de reverberação geral, no caso do HOA-DE, e expondo a colocação de cada altifalante no espaço, no caso da APbSP.

A abordagem estratificada permite o desenvolvimento de motores de espacialização com técnicas complementares e a sua integração no mesmo sistema modular de espacialização. Especialmente interessante para a composição de música electroacústica será a expansão do leque de escolha quanto às interfaces para espacialização. As interfaces espacialização analisadas neste capítulo tendem a promover uma abordagem cinemática ao movimento das fontes sonoras, com notação e aferição da espacialização em diferido, um processo iterativo identificado por Begault (1986) na fonte do seu modelo “Fonte – Meio – Receptor”. A abordagem experimental à espacialização em ambiente digital será beneficiada pela concepção de interfaces optimizadas para os três tipos de espacialização com gesto espacial — gestual, cinemática e dinâmica — e concebidas em função das necessidades do compositor de música electroacústica.

Parte II

5. Implementação do Software

I'm also thinking of producing a multi-channel work, but this must be portable to the schools and other places where I made the original recordings so the local community can hear the results of my efforts. At the same time, the piece must be musically comprehensible to people who speak not a word of English, and performable in grand venues with sophisticated sound-spatialization facilities. I've not fully resolved this issue yet. Problem solving is part of the excitement of composing for me.

Trevor Wishart ¹

5.1 Introdução

O *software* de espacialização concebido no âmbito deste trabalho consiste numa abordagem estratificada, materializada num conjunto de aplicações modulares, que inclui uma biblioteca de objectos para Max, motores de espacialização, interfaces para espacialização e *plugins* para DAWs. Ao conjunto foi dado o nome de *spatium* ², palavra que inicia o nome de cada uma das aplicações. Não obstante o facto de terem sido concebidas como suporte à composição de parte das obras incluídas neste documento, foi desde o início determinado que estas ferramentas fariam parte das contribuições deste trabalho para a comunidade: a sua distribuição é assim gratuita e inclui a disponibilização do código fonte ³. A sua concepção surge de um ponto de vista duplo: parte, em primeiro lugar, da perspectiva de um compositor que desenvolve uma ferramenta de suporte à sua própria composição, como acontecia, e.g., nas ferramentas desenvolvidas por Chowning (1971); procura, em segundo lugar, ser uma ferramenta que implementa vários modelos de

¹ (Wishart em Vassilandonakis, 2009, p. 23)

² Literalmente, Espaço: <http://en.wiktionary.org/wiki/spatium>.

³ <http://spatium.ruipeha.pt>

especialização genéricos e que é capaz de se integrar em diferentes processos de composição, oferecendo a outros compositores um modo intuitivo de abordar experimentalmente a espacialização.

No painel intitulado *Towards an Interchange Format for Spatial Audio Scenes*, que teve lugar na ICMC 2008 e no qual foram apresentados os embriões de algumas das abordagens estratificadas anteriormente apresentadas, Stephen Travis Pope (2008) identifica como problemas resolvidos ou fáceis de resolver no domínio da espacialização: a simulação de fontes pontuais; a simulação de fontes em movimento; a implementação de um modelo estratificado; a modelação das primeiras reflexões. Identifica ainda como opcional, em “motores de espacialização mais complexos”⁴, a modelação de fontes com orientação e padrões de radiação dependentes da frequência (Pope, 2008). Por outro lado, identifica como difíceis de resolver: “a modelação [...] de fontes difusas e distribuídas”⁵; “a visualização de, e a interacção com, cenas espaciais verdadeiramente dinâmicas”⁶; “a reprodução de áudio espacial através de sistemas com poucos canais (e.g., par estereofónico de altifalantes ou auscultadores)”⁷; “problemas de escalabilidade que surgem quando se tenta suportar muitas fontes, muitos canais de reprodução ou movimentos rápidos das fontes”⁸, um problema para o qual nomeia o HOA como possível solução (Pope, 2008).

O spatium implementa a simulação de fontes pontuais e em movimento num modelo estratificado, sendo o seu principal motor de espacialização baseado em HOA-DE com um número de canais de codificação e descodificação standardizados, permitindo a descodificação para sistemas que vão do par de altifalantes estereofónico padrão a configurações de altifalantes tridimensionais baseadas nos sólidos platónicos, passando pela descodificação binaural e por configurações horizontais como, e.g., a octofonia. Neste motor de espacialização (o spatium-ambi), a reverberação é implementada através da convolução com respostas ao impulso (IR, do inglês *impulse response*) captadas em espaços reais, sendo possível a sua integração e manipulação na descodificação. Embora não implemente a modelação de fontes com orientação, a modelação de fontes difusas e distribuídas é conseguida não só através da espacialização granular e da espacialização espectral (i.e., espacialização dependente da frequência), como também pela colocação de fontes sem direcção no centro do campo sonoro (i.e., fontes que serão difundidas de forma idêntica por todos os altifalantes). A principal contribuição do spatium é, não obstante, a da interacção e visualização através das suas interfaces para espacialização dinâmica, cinemática e gestual, cujo desenvolvimento foi filiado no design centrado no utilizador (Norman, 1998): neste caso, sob a perspectiva dos compositores.

⁴ “More complex renderers might choose to model sources with orientation as well, enabling directional, frequency-dependent source radiation patterns.”, no original (Pope, 2008, p. 310).

⁵ “The modeling and processing of diffuse and distributed sound sources is largely unaddressed [...]”, no original (Pope, 2008, p. 310).

⁶ “The visualization of, and interaction with, true dynamic spatial audio scenes [...] is still difficult.”, no original (Pope, 2008, p. 310).

⁷ “Spatial audio playback over low-channel-order systems (e.g., stereo loudspeakers or headphones) is an active areas of research [...]”, no original (Pope, 2008, p. 310).

⁸ “Developers in several application areas have had to confront the scalability issues that arise when one wants to support many sources, many output channels, or rapid source movement.”, no original (Pope, 2008, p. 310).

5.2 A Perspectiva dos Compositores

A relação de cooperação entre compositores e engenheiros nos centros de investigação em computação musical (Boulez, 1986) catalisou o desenvolvimento das tecnologias de espacialização e criação de espaços virtuais (Blessner & Salter, 2007). No entanto, e segundo a compositora britânica Natasha Barrett, “a compreensão das questões espaciais, pelo menos entre compositores, não é ainda muito avançada”, “em parte porque as técnicas e o equipamento para a espacialização se tornaram acessíveis, mas os utilizadores não acompanharam essa evolução”⁹ (Barrett em Otondo, 2007). O investigador britânico Damian Murphy, também citado por Otondo (2008), manifestou uma opinião semelhante no painel de encerramento do festival SpaceNet 2007¹⁰, “identificando uma abordagem muito conservadora à utilização do espaço” e “argumentando que a tecnologia existe”, mas que os artistas ainda não a “levaram ao seu limite”¹¹ (Otondo, 2008). De facto, o mesmo artigo, que procura comparar as abordagens dos compositores à espacialização entre 1997 e 2006, mostra que a diminuição do interesse pela difusão ao vivo e o aumento da composição para sistemas de espacialização multicanal foram acompanhadas pela diminuição do interesse pelas questões técnicas ligadas ao *software* ou *hardware* de espacialização (Otondo, 2008).

Os resultados de um inquérito sobre espacialização realizado a 52 compositores em 2008 (Peters et al., 2011b), revelam dados que parecem contradizer a ideia de que a responsabilidade do conservadorismo na abordagem à espacialização se deve à falta de interesse ou de informação dos compositores:

- há um claro contraste entre o reconhecimento de uma dada técnica de espacialização, a vontade de a utilizar e a sua taxa de utilização (figura 5.1): e.g., *Ambisonics*, HOA e WFS são reconhecidos por mais de 80% dos inquiridos, são as técnicas que mais compositores planeiam experimentar e, no entanto, menos de 20% dizem já as ter utilizado;
- 41% dos compositores consideram que há características em falta no *software* ou *hardware* de espacialização que utilizam, tendo vários levantado questões quanto à usabilidade deste;
- 76% referiram que a disposição dos altifalantes no local da performance é muitas vezes diferente da do estúdio de composição, a que se juntam os 48% que têm problemas com a acústica das salas de concerto, os 38% que nelas se deparam com problemas técnicos, os 31% que nelas encontram configurações de

⁹ “But the understanding of spatial issues, at least among composers, is still not so advanced.” e “In part I think the spatialization equipment and technology have become readily available, but the users haven’t caught up.”, no original (Barrett em Otondo, 2007, p. 17).

¹⁰ <http://space-net.org.uk/index-10407.html>

¹¹ “In a discussion panel about spatial design closing the event he said that he identified a very conservative approach in the use of space, arguing that ‘the technology is there but there has not been a development in terms of artists pushing the boundaries.’”, no original (Otondo, 2008, p. 80). Trata-se de uma citação indirecta a partir de uma afirmação proferida oralmente. Contudo, será digna de confiança, já que se trata de um evento público e pelo facto de citador e citado serem, na época de escrita do artigo, ambos investigadores na Universidade de York.

altifalantes não ideais e os 31% que consideram demasiado curto o tempo que têm para otimizar estas configurações antes de um concerto ¹²;

- a resposta mais comum (48%) à questão sobre qual o motivo que preside à escolha da ferramenta de *software* ou *hardware* para espacialização refere-se à usabilidade das interfaces, que se pretendem intuitivas e permitindo o “controlo dos processos de espacialização a partir de um alto nível” ¹³ (Peters et al., 2011b);
- as características técnicas das ferramentas de espacialização consideradas como sendo mais importantes (figura 5.2) são as relacionadas com as interfaces de controlo da espacialização em tempo real e com a capacidade das ferramentas de se adaptarem às condições dos espaços de concerto.

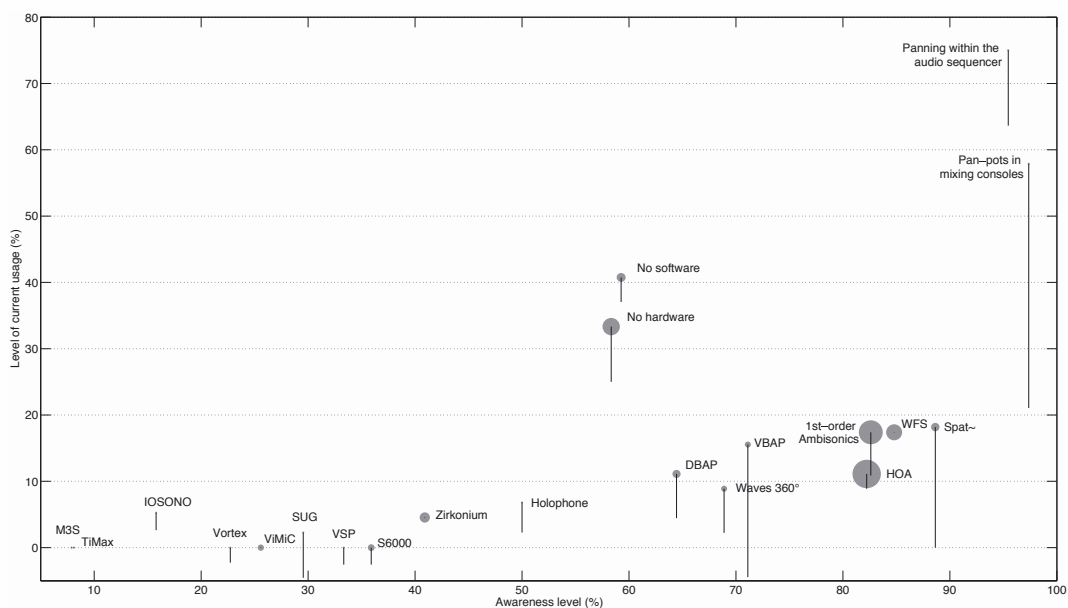


Figura 5.1. Resultados de um inquérito a compositores (Peters et al., 2011b) sobre quais as técnicas de espacialização ¹⁴ que conhecem (horizontal), já utilizaram (vertical), planeiam usar (tamanho da bola) ou usam menos do que anteriormente (tamanho da linha vertical).

¹² É importante salientar que as questões relativas aos problemas encontrados nos locais de performance e aos motivos para a escolha das ferramentas foram colocadas sob a forma de resposta livre e não através da escolha entre opções predefinidas.

¹³ “intuitive interfaces... to control spatialization processes from a high level”, no original (Peters et al., 2011b, p. 20). Alto nível refere-se, neste caso, a um alto nível de abstracção, i.e., à distância em relação à técnica que lhe está subjacente.

¹⁴ M3S: Sonic Emotion M3S WFS system; TiMax: TiMax Audio Imagine System; IOSONO: IOSONO WFS system; Vortex: Vortex Surround tools; ViMiC: Virtual Microphone Control; SUG: Space Unit Generator; VSP: Virtual Surround Panning in Studer-digital mixer; S6000: TC-Electronics S6000; Zirkonium: ZKM Zirkonium; Holophon: GMEM Holophon tools; DBAP: Distance Based Amplitude Panning; Waves 360o: Waves 360o Surround tools; VBAP: Vector Base Amplitude Panning; HOA: Higher Order Ambisonics; WFS: Wave Field Synthesis; Spat: IRCAM Spatialisateur.

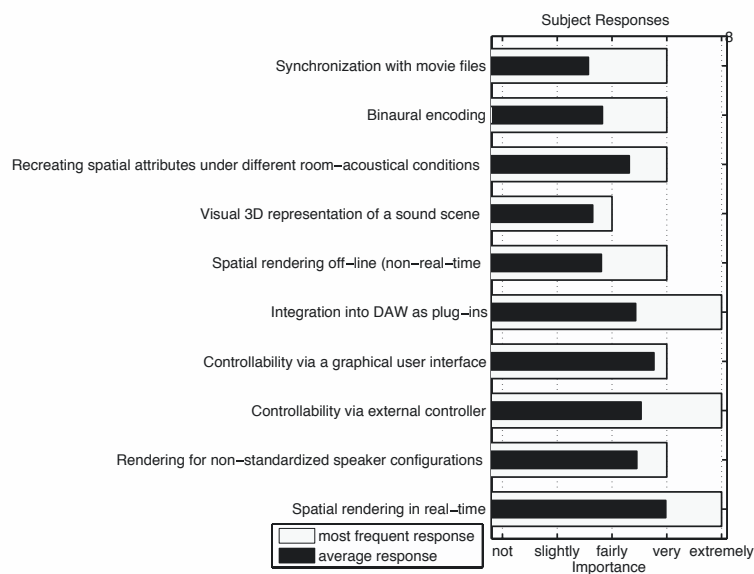


Figura 5.2. Resultados de um inquérito a compositores (Peters et al., 2011b) sobre a importância atribuída a características técnicas das ferramentas de espacialização.

Estes dados permitem-nos perceber que os compositores ¹⁵ conhecem os mais relevantes desenvolvimentos no campo das técnicas de espacialização, pelo menos o suficiente para terem vontade de as utilizar e para perceberem as suas limitações. Permitem-nos igualmente constatar que subsistem muitos problemas quanto à capacidade de resposta das ferramentas às necessidades levantadas pela disseminação das obras com espacialização. Se o caminho da standardização dos meios presentes nos estúdios e salas de concerto ¹⁶ seria uma hipótese para a resolução destes problemas, a construção de ferramentas que permitam a fácil adaptação às características dos diversos espaços é uma solução que ao mesmo tempo potencia a retrocompatibilidade e preserva a margem para o desenvolvimento futuro. A importância dada às questões da usabilidade, da facilidade de compreensão das interfaces e da flexibilidade das ferramentas ¹⁷ sugere que o problema não está inteiramente do lado dos compositores, antes sendo também uma consequência da inadequação das ferramentas às suas necessidades.

Como conclusão, Peters et al. (2011b) recomendam que o desenvolvimento de ferramentas para a espacialização tenha em conta a multiplicidade, complexidade e necessidade de calibração das configurações de altifalantes, tanto nos estúdios como nas salas de concerto. Recomendam ainda que a curva de aprendizagem do *software* seja gradual e que se desenhem interfaces com “boa usabilidade (e.g.,

¹⁵ O universo do inquérito era preenchido por compositores com actividade na espacialização na música electroacústica, o mesmo universo a que se referiam os comentários de Natasha Barrett e Damian Murphy.

¹⁶ Tal como propostos por, e.g., Karlheinz Stockhausen (1958).

¹⁷ Não obstante o facto de o inquérito não discriminar interfaces, ferramentas e técnicas de espacialização, como é visível na figura 5.1, onde, e.g., aparece a VBAP em simultâneo com o Zirkonium (uma ferramenta de espacialização que consiste numa interface de controlo do mesmo VBAP) ou a referência à WFS em simultâneo com a referência às soluções comerciais para WFS da Sonic Emotion e da Iosono.

evitando as difíceis linha de comandos)”¹⁸ (Peters et al., 2011b). Por fim, identificam a importância da integração das ferramentas de espacialização nas DAW, para o que será necessário um aumento do número de canais de endereçamento para além do actual limite de oito, comum a uma parte significativa destas.

Nils Peters, primeiro autor deste artigo (Peters et al., 2011b), é também o primeiro autor dos artigos nos quais é proposto (Peters et al., 2009) e descrito (Peters, Lossius, & Schacher, 2012a; Peters, Schacher, & Lossius, 2012b) o protocolo *Spatial Sound Description Interchange Format* (SpatDIF). Este é um protocolo que pretende constituir-se como padrão para a comunicação entre interfaces e motores de espacialização, numa abordagem estratificada que pressupõe a criação de várias camadas de processamento que medeiam o fluxo de informação entre as instruções do utilizador e a difusão através dos altifalantes (figura 5.3). Deste modo, e caso se confirme a sua adopção generalizada, o compositor poderá escolher a interface que pretende utilizar para traduzir a sua linguagem espacial em dados que um qualquer motor de espacialização compatível saberá traduzir. O motor de espacialização poderá ser igualmente escolhido em função das características técnicas pretendidas e do espaço de apresentação da obra em questão, independentemente do formato utilizado para a sua concepção.

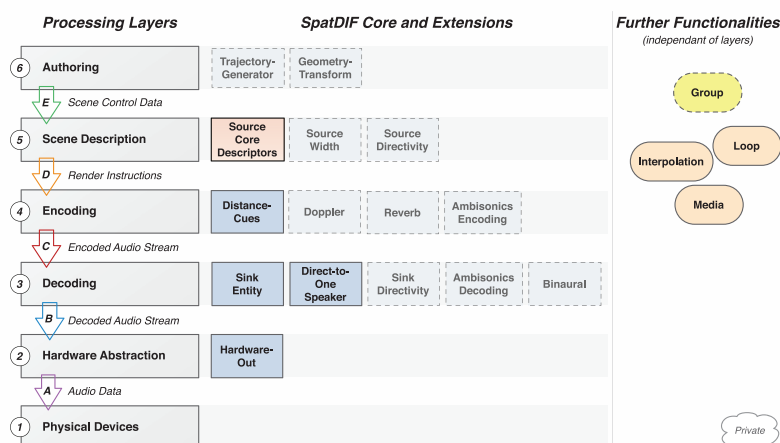


Figura 5.3. Camadas da abordagem estratificada proposta e suportada pelo protocolo SpatDIF (Peters et al., 2012b). Os rectângulos a tracejado representam as extensões ainda em desenvolvimento.

Para que possa ser declarado como compatível com o protocolo SpatDIF, um motor de espacialização “tem de ser capaz de interpretar todas as suas declarações fundamentais”¹⁹ (Peters et al., 2012a). Estas incluem: descrições sobre a posição e orientação da fonte sonora em diversos formatos (e.g., coordenadas cartesianas ou polares), formas de atribuir origens do sinal a espacializar (e.g., ficheiros gravados em disco ou áudio em tempo real) e métodos para gerir a informação ao longo de um dado período de tempo (e.g., interpolação

¹⁸ “Good usability (e.g., avoiding cumbersome command line control)”, no original (Peters et al., 2011b, p. 16).

¹⁹ “A SpatDIF compliant audio renderer must understand and interpret all core statements.”, no original (Peters et al., 2012a, p. 3).

ou em ciclo), entre outros (Peters et al., 2012a; Peters et al., 2012b). Estas mensagens são enviadas utilizando o protocolo OSC, utilizando a terminologia visível na figura 5.4. Existe apenas uma interface de espacialização ²⁰ autónoma ²¹ e compatível com o SpatDIF: o Choreographer ²², que tem uma implementação semelhante ao paradigma dominante e que foi desenvolvido pelo ICST para controlar um motor de espacialização baseado em *Ambisonics*.

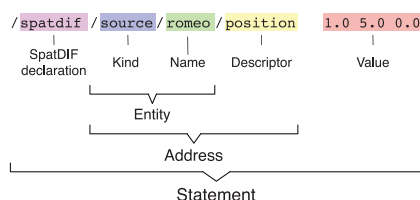


Figura 5.4. Terminologia do protocolo SpatDIF (Peters et al., 2012b).

Foi recentemente proposto o SpatOSC (Wozniowski, Settel, Quessy, Matthews, & Courchesne, 2012), uma biblioteca C++ para inclusão em interfaces e motores de espacialização que “em vez de esperar que todos adoptem um novo formato para áudio espacial, [...] providencia uma solução imediata, com tradutores que fazem a conversão entre representações” ²³ (Wozniowski et al., 2012), incluindo entre estas um tradutor para o SpatDIF. Foram também recentemente desenvolvidas aplicações para espacialização estratificadas que implementam os seus próprios protocolos, como o SSR (Geier et al., 2008) ²⁴, ou que implementam apenas partes do protocolo SpatDIF, como o *Sound Element Spatializer* (McGee, 2010; McGee & Wright, 2011), não sendo por isso consideradas compatíveis. Tratam-se, em ambos os casos, de aplicações que “permitem o controlo de diferentes algoritmos de espacialização a partir de uma interface comum” ²⁵ (Peters et al., 2009).

²⁰ Segundo o site da iniciativa SpatDIF — <http://spatdif.org> —, e na altura de escrita deste documento, esta interface encontra-se em desenvolvimento. A mais recente actividade registada neste site data de 13 de Julho de 2012, altura da publicação da versão 0.3 das suas especificações (Peters et al., 2012b) e da sua última apresentação em congresso (Peters et al., 2012a).

²¹ I.e., utilizável como aplicação independente, já que o Jamoma — <http://www.jamoma.org> —, um conjunto de objectos e abstrações para Max, em cuja principal equipa de desenvolvimento estão integrados os proponentes do SpatDIF, inclui abstrações compatíveis. Bascou (2010) refere a intenção de tornar o Holo-Edit compatível com SpatDIF, o que, segundo Peters et al. (2009) já acontece através de um tradutor. No entanto, a versão mais recente disponível na altura de escrita deste documento ainda não tem essa funcionalidade implementada.

²² <http://www.icst.net/research/projects/choreographer/>

²³ “Instead of expecting that everyone adopt a new spatial audio format, our library provides an immediate solution, with “translators” that handle conversion between representations.”, no original (Wozniowski et al., 2012, p. 1).

²⁴ O protocolo de comunicação utilizado pelo SSR é baseado em XML sobre TCP e, segundo o manual (Ahrens et al., 2012) está em desenvolvimento e poderá sofrer alterações no futuro. O SSR suporta ainda o *Audio Scene Description Format* (ASDF), uma proposta dos mesmos autores (Geier & Spors, 2008) no sentido de um padrão para a descrição de cenas áudio estáticas, dinâmicas e interactivas. No momento de escrita deste documento, contudo, está apenas disponível a descrição da implementação das cenas áudio estáticas.

²⁵ “are designed with a similar layered approach that allows control of different spatial rendering algorithms from one common interface”, no original (Peters et al., 2009, p. 3).

Sendo a abordagem estratificada, a modularidade é obviamente possível sob qualquer perspectiva e em ambos os sentidos. No entanto, o ênfase é quase sempre colocado na possibilidade de controlo de vários algoritmos de espacialização a partir de uma interface comum. Se, do ponto de vista técnico, esta perspectiva facilita a disseminação de novas técnicas de espacialização sem que tal implique a construção e a habituação a uma nova interface, do ponto de vista dos compositores significa a circunscrição a uma só interface e, conseqüentemente, a confinação ao vocabulário que o seu paradigma induz ou permite.

O próprio protocolo de comunicação com o motor de espacialização pode ser visto como a interface primordial do sistema, já que é possível o controlo da espacialização exclusivamente através deste protocolo e, sobretudo, dado que qualquer interface terá de ser construída a partir das suas características. Esta questão torna-se particularmente relevante face ao facto de que muitos compositores têm hoje as competências necessárias para criar as suas próprias interfaces ou desenvolver os seus algoritmos geradores de dados espaciais: segundo o mesmo inquérito (Peters et al., 2011b), 31% utilizam uma ferramenta de programação como, e.g., o Max ²⁶. A quantidade de informação necessária para a definição e descrição do protocolo base e a terminologia do SpatDIF (Peters et al., 2012b) sugerem que este protocolo não foi pensado em função da “boa usabilidade (e.g., evitando as difíceis linhas de comandos)” ²⁷ (Peters et al., 2011b) ou por forma a permitir o “controlo dos processos de espacialização a partir de um alto nível” ²⁸ (Peters et al., 2011b). Pelo contrário, o SpatDIF parece ser a consequência de uma perspectiva fundada no desenvolvimento das técnicas de espacialização ²⁹, procurando assim garantir que todas as suas potencialidades são controláveis a partir das interfaces.

Se é verdade que os compositores estão habituados a traduzir as suas intenções em notação, numa parte significativa dos casos essa notação é uma tradução de ideias conhecidas por via da experiência do próprio compositor ou oriundas da sua herança cultural. Se a *elektronische Musik* encontrou uma forma de integrar a abstracção da notação na abordagem ao novo meio (visível, e.g., nas pioneiras obras de Stockhausen), uma das conquistas da *musique concrète* foi precisamente a da criação de um método para permitir ao compositor uma relação directa com o material sonoro. Nesta, o processo de composição passou a mover-se “do concreto [...] para o abstracto [...], ao contrário do que acontece na escrita instrumental, onde o

²⁶ Sendo expectável que a evolução deste número seja no sentido de um aumento.

²⁷ “Good usability (e.g., avoiding cumbersome command line control)”, no original (Peters et al., 2011b, p. 16).

²⁸ “intuitive interfaces... to control spatialization processes from a high level”, no original (Peters et al., 2011b, p. 20). Alto nível refere-se, neste caso, a um alto nível de abstracção, à distância em relação à técnica que lhe está subjacente.

²⁹ É um dado relevante que os três autores responsáveis pelo artigo com a descrição do SpatDIF (Peters, Lossius, & Schacher, 2012a), também identificados no *site* de desenvolvimento como os administradores da comunidade — <http://redmine.spatdif.org/projects/spatdif> —, sejam simultaneamente proponentes de técnicas e/ou ferramentas de espacialização: respectivamente, ViMiC (Peters, 2010), DBAP (Lossius et al., 2009) e biblioteca ICST para HOA (Schacher, 2010).

compositor começa pelo conceito (abstracto) e termina com uma performance (concreto)”³⁰ (Dhomont, 1995).

As pioneiras abordagens experimentais de controlo da espacialização, e.g. o *pupitre d'espace* e o *sound mill*, foram bons passos no sentido da criação de interfaces para a experimentação e performance espacial, tendo sido posteriormente preteridos em função da crescente utilização de mesas de mistura, no caso da difusão, e da notação sob a forma de automatização de panorâmicas, envios e implementações do paradigma dominante de interface, no caso da espacialização. Uma leitura possível para a razão desta evolução é a progressiva adopção de soluções comerciais, tal como identificado por Harrison (1998) e Smalley (em Austin, 2000) relativamente à adopção do formato estereofónico de dois canais, em detrimento de meios desenvolvidos pelos próprios compositores, ou a pedido destes, para traduzir as suas intenções musicais. Estes meios comerciais (como, e.g., as mesas de mistura, as DAW e os *plugins*) foram revolucionários no sentido em que democratizaram o acesso às ferramentas, possibilitando aos compositores a expressão das suas ideias musicais sem que para isso tivessem necessidade de desenvolver as suas próprias soluções, de ter acesso aos estúdios de uma instituição de investigação ou de conhecer em profundidade as questões técnicas subjacentes à tecnologia que utilizam. No entanto, também afastaram os compositores de música electroacústica do processo de concepção dos paradigmas de uma parte significativa das ferramentas que utilizam no seu trabalho, sobretudo tendo em conta que são um mercado minoritário face, e.g., ao mercado do cinema³¹ (Harrison, 1998). São excepções as interfaces que apresentam uma abordagem diferente do paradigma dominante. Este, ao beneficiar a concepção cinemática do movimento no espaço, dificulta a exploração deste parâmetro de outra forma que não o refinamento da espacialização pela alternância entre audição e notação de instruções. Parte da razão para a “abordagem muito conservadora à utilização do espaço”³² por parte dos compositores, tal como identificada por Damian Murphy (Otondo, 2008), pode assim residir na abordagem muito conservadora à concepção de interfaces para controlo da espacialização.

O crescente interesse na criação de novas interfaces para expressão musical, patente, e.g., na vitalidade da comunidade que participa anualmente na *International Conference on New Interfaces for Musical Expression* (NIME)³³, é sintomático da importância que a questão da interface tem para os músicos. De facto, mesmo os instrumentos musicais tradicionais denotam na sua construção, para além de opções acústicas e

³⁰ “*Cette méthode de composition originale procède du concret (matière sonore brute) vers l'abstrait (structures musicales) - d'où l'expression musicale concrète. - à l'inverse de ce qui se passe pour les réalisations instrumentales qui, se fondant sur des concepts (abstraites), aboutissent à une exécution sonore (concrète).*”, no original (Dhomont, 1995, p.1).

³¹ “*Only very recently is there any indication of some kind of standardisation of multi-channel formats – but it is interesting, not to say ironic, that a possible, and perhaps most likely, standard for multichannel presentation of sound has been determined, not by composers or even by the music industry, but by the cinema!*” (Harrison, 1998, p. 120).

³² “*In a discussion panel about spatial design closing the event he said that he identified a very conservative approach in the use of space, arguing that ‘the technology is there but there has not been a development in terms of artists pushing the boundaries.’*”, no original (Otondo, 2008, p. 80).

³³ <http://www.nime.org>

mecânicas, um pensamento sobre a interface que liga o músico ao elemento que produz o som. O caso dos instrumentos de tecla será o exemplo mais claro, mas o mesmo acontece também, e.g., nos sistemas de chaves dos instrumentos de sopro ou na curvatura da ponte dos instrumentos de corda. Estas decisões têm implicações profundas nas capacidades técnicas e expressivas dos instrumentos e constituem uma parte muito significativa do processo de aprendizagem e treino dos instrumentistas. Mesmo quando as características da interface não influenciam directamente a qualidade do som produzido pelo instrumento, o simples facto de interferirem na capacidade de controlo do instrumentista torna-as tão importantes quanto as características acústicas no condicionamento do vocabulário musical que os compositores serão capazes de criar para esses instrumentos. Compositores que, não raras vezes, começaram a sua educação musical formal de forma idêntica aos instrumentistas, tendo por isso utilizado uma dada interface para expressão musical como elemento basilar do desenvolvimento dos seus próprios modelos de expressão musical.

Livres da relação mecânica entre a interface e os meios de produção do som, os instrumentos e interfaces digitais encontram no endereçamento e tratamento da informação que medeia os vários elementos um dos seus grandes desafios, capaz de alterar por si só o potencial expressivo de um instrumento (Wanderley, 2001). A parte que é acessível ao utilizador — a interface — pode ser pensada em função do meio de produção do som e traduzir de forma directa todas as suas possibilidades de controlo. Esta abordagem simplifica o mapeamento e torna a interface idiomáticamente mais neutra, abrindo a porta a uma maior diversidade de utilizações. Contudo, também limita as suas capacidades expressivas por não ser desenhada para o controlo directo sob uma perspectiva instrumental, que engloba componentes musicais e ergonómicas. Uma abordagem idiosincrática pode, por outro lado, condicionar as capacidades expressivas do conjunto e torná-lo pouco interessante para outros utilizadores que não o próprio criador. Se alguns autores sugerem a importância do equilíbrio entre as abordagens, afirmando que “o desenho de novas interfaces para performance musical é geralmente direccionado no sentido de responder a um objectivo musical específico e por vezes idiosincrático, mas é sempre baseado num *corpus* de conhecimento de engenharia.”³⁴ (Wanderley, 2001), outros argumentam que a construção de instrumentos “sem nenhum objectivo específico de composição musical para direccionar o projecto [...] levanta questões de investigação interessantes, mas nenhum produto real ou direcção futura”³⁵ (Cook, 2001), concluindo que “a construção de interfaces musicais está mais próxima da arte do que da ciência, sendo possivelmente esta a única forma de o fazer”³⁶ (Cook, 2001). Ortiz Pérez, Knapp, & Alcorn (2007) também identificam fragilidades na comum abordagem ao design de interfaces musicais com base na exploração de um dado

³⁴ “*the design of a new input device for musical performance is generally directed towards the fulfillment of specific and sometimes idiosyncratic musical goals, but is always based on an engineering corpus of knowledge.*”, no original (Wanderley, 2001, p. 7).

³⁵ “[...] *attempting to build a “super instrument” with no specific musical composition to directly drive the project (principle 5) yields interesting research questions, but with no real product or future direction.*”, no original (Cook, 2001, p. 2).

³⁶ “*Musical interface construction proceeds as more art than science, and possibly this is the only way that it can be done.*”, no original (Cook, 2001, p. 4).

modelo de interação, pelo consequente isolamento face ao processo de composição. Propõem então uma *abordagem baseada na composição* ³⁷, na qual o design da interface é informado no conceito que preside à composição, acabando depois por influenciar as decisões de composição e gerando um entrosamento entre a interface e a composição.

5.3 Implementação da Abordagem Estratificada

A abordagem estratificada permite uma solução de equilíbrio: os motores de espacialização podem ser criados tendo em conta os mais recentes avanços das técnicas de espacialização e a necessidade de adaptação às características dos espaços de difusão; o protocolo de comunicação, enquanto interface primordial, pode ser concebido por forma a que seja legível por humanos ³⁸ e simples de implementar, facilitando a criação de modos personalizados de controlo pelos utilizadores finais; as interfaces podem ser criadas com várias perspectivas, da composicional — i.e., a que materializa e torna possível a experimentação sobre uma ideia musical — à ergonómica — i.e., a que é pensada em função de um modelo de interação —, passando pela que põe em evidência uma determinada questão técnica, dado que “novos algoritmos sugerem novos controladores” ³⁹ (Cook, 2001).

5.3.1 Arquitectura Modular

Os módulos do spatium podem ser divididos em três grandes grupos (figura 5.5):

- os motores de espacialização, que recebem os sinais de áudio monofónicos, quer a partir de outras aplicações de processamento de áudio ⁴⁰, quer a partir de fontes externas, e constroem a cena espacial para uma dada configuração de altifalantes a partir das instruções de espacialização recebidas via OSC;
- as interfaces de espacialização, que oferecem ao utilizador várias abordagens à geração das instruções de espacialização, enviando-as via OSC, para um motor de espacialização, ou via MIDI, para compatibilidade com a automatização das DAW;

³⁷ *Composition-Driven Approach*, no original (Ortiz Pérez, Knapp, & Alcorn, 2007, p. 290).

³⁸ No sentido de *human-readable*, expressão comumente utilizada para designar meios e protocolos de transmissão de informação que são legíveis por humanos, por oposição a *machine-readable*, que designa meios e protocolos de transmissão de informação que são legíveis por máquinas. Um exemplo comum é o código de barras, que contém simultaneamente barras — o elemento *machine-readable* — e números — o elemento *human-readable*. No caso do spatium, e dado que se trata de uma comunicação que se processa exclusivamente em meio digital, procurou-se um protocolo que fosse simultaneamente *human-readable* e *machine-readable*.

³⁹ “*New algorithms suggest new controllers*”, no original (Cook, 2001, p. 1).

⁴⁰ Utilizando um *software* de endereçamento de áudio como o Jack — <http://jackaudio.org> — ou o Soundflower — <http://cycling74.com/soundflower-landing-page/>.

- os *plugins*, que permitem a geração e gravação das instruções de espacialização como automatização numa DAW, possibilitando o seu envio de modo sincronizado com o áudio para o motor de espacialização, via OSC.

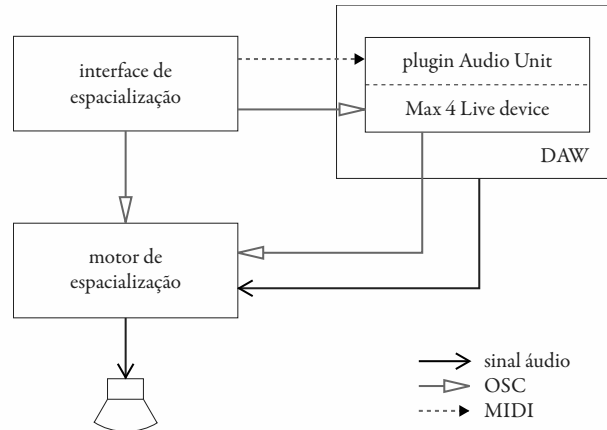


Figura 5.5. Fluxo de sinal entre os diferentes módulos do spatium.

5.3.2 Protocolo de Comunicação

O protocolo de comunicação do spatium foi desenvolvido com o objectivo de ser simples de implementar numa interface personalizada e de ser simultaneamente legível tanto pela máquina como por humanos. A comunicação das instruções de espacialização para o canal # (número inteiro entre 1 e 16) faz-se enviando via UDP, para a porta 11475, a seguinte mensagem OSC:

```
/spatium/#/aer f1 f2 f3
```

sendo f_1 , f_2 e f_3 números decimais que definem, respectivamente, o azimuth, a elevação e o raio, que varia entre 0 e 1⁴¹. Tal como definido no protocolo OSC, a substituição do número do canal pelo símbolo * (asterisco) faz com que a informação seguinte seja enviada para todos os canais em simultâneo. Como forma de acomodar os casos em que as coordenadas são geradas de forma independente, definiu-se ainda uma forma de enviar isoladamente a informação relativa a cada uma das três coordenadas:

```
/spatium/#/azimuth f1
/spatium/#/elevation f2
/spatium/#/radius f3
```

Para que um motor de espacialização seja compatível com o spatium, terá apenas de ser capaz de interpretar estas mensagens. Dado que os motores de espacialização e as interfaces do spatium foram desenvolvidos em

⁴¹ Os âmbitos do azimuth e da elevação são os do sistema de coordenadas definido para este documento.

simultâneo e de forma integrada, foi possível reduzir o protocolo de comunicação a um conjunto mínimo de elementos de fácil implementação, eliminando elementos redundantes como, e.g., a necessidade de interpretar vários sistemas de coordenadas. Não obstante, quer os motores de espacialização, quer as interfaces podem trocar entre si informação adicional — como, e.g., a orientação da fonte sonora virtual — sem que isso implique uma perda de compatibilidade: um motor de espacialização incapaz de interpretar a informação adicional irá simplesmente ignorá-la, construindo a cena espacial utilizando a informação básica acima apresentada.

5.4 Biblioteca para Max

A biblioteca *spatium* para Max inclui objectos para HOA-DE e APbSP, desenvolvidos com o principal objectivo de serem de utilização simples, para o que foi seguido o modelo de implementação do popular objecto VBAP. Os quatro objectos — três para HOA-DE (*spatium-encode*, *spatium-rotate* e *spatium-decode*) e um para APbSP (*spatium-panning*) — são compatíveis com a versão 6 do Max e não processam áudio, gerando em vez disso os dados necessários para controlo da matriz de endereçamento de áudio padrão do Max (*matrix~*). Incluem os tradicionais *patches* de ajuda do Max e alguns *subpatches* adicionais que implementam a descodificação do HOA-DE para reprodução estereofónica e binaural. Esta biblioteca foi utilizada como base para o desenvolvimento dos motores de espacialização do *spatium*.

Os objectos para HOA-DE implementam a codificação da distância num campo sonoro misto de 3ª ordem horizontal e 1ª ordem tridimensional, acrescentando o canal D (distância) aos doze canais já existentes — W (ordem 0), YZX (ordem 1), VTSU (ordem 2) e QONP (ordem 3). Esta escolha reflecte a maior necessidade de resolução espacial no plano transversal, sendo a 3ª ordem horizontal capaz de uma resolução espacial muito superior à do *B-format* e próxima do ideal para a reprodução com configurações octofónicas, o crescente padrão na composição de música electroacústica com espacialização. Mantém, contudo, a capacidade de codificar os sons com $\phi \neq 0^\circ$ para compatibilidade futura ⁴². A restrição a esta configuração do campo sonoro misto é um reflexo da estratégia de criação de constrangimentos como forma de simplificar a utilização (Norman, 1998), já que a escolha do formato HOA mais adequado a um dado trabalho exige conhecimentos prévios sobre a técnica que não são essenciais ao trabalho sobre espacialização ⁴³. Seguindo a mesma estratégia, a escolha dos ganhos das diferentes ordens a utilizar na descodificação para uma dada configuração de altifalantes é realizada de forma automática, optando sempre pela utilização da maior resolução espacial possível e pela maximização do vector de energia,

⁴² O sistema com maior resolução espacial utilizado para testes durante o desenvolvimento do *spatium* foi uma configuração octofónica horizontal. Não foi, infelizmente, possível o acesso a uma configuração regular tridimensional de altifalantes antes da escrita deste documento.

⁴³ O utilizador avançado encontrará noutras bibliotecas — como, e.g., a do ICST ou a *Hoa.Lib*, anteriormente apresentadas — implementações mais flexíveis para a concretização das suas próprias soluções.

seguindo as recomendações resultantes dos testes psicoacústicos realizados por Frank, Zotter, & Sontacchi (2008). Estas escolhas automáticas são, não obstante, alteráveis pelo utilizador utilizando os meios padrão do Max para a manipulação de atributos dos objectos, estrategicamente escondendo as opções avançadas como forma de simplificar a abordagem do utilizador inexperiente (Norman, 1998).

O objecto `spatium.encode` (figura 5.6) codifica as fontes sonoras num campo sonoro HOA-DE. Tem três entradas — da direita para a esquerda ⁴⁴: raio, elevação e azimute — por onde recebe a informação necessária para calcular os ganhos de controlo da matriz de endereçamento de áudio, enviando pela única saída informação no formato `i1 i2 f1`, formato próprio da matriz de endereçamento de áudio e que define, respectivamente, o número inteiro correspondente ao canal de entrada, o número inteiro correspondente ao canal de saída e o número decimal com o ganho do endereçamento. Esta matriz de endereçamento de áudio poderá ter tantos canais de entrada quantos os necessários para espacializar as fontes sonoras, tendo obrigatoriamente 13 saídas, correspondentes aos canais desta implementação do HOA-DE. Este objecto recebe como único argumento o canal, informação necessária para controlar directamente o respectivo canal de entrada de sinal de uma matriz de endereçamento de áudio.

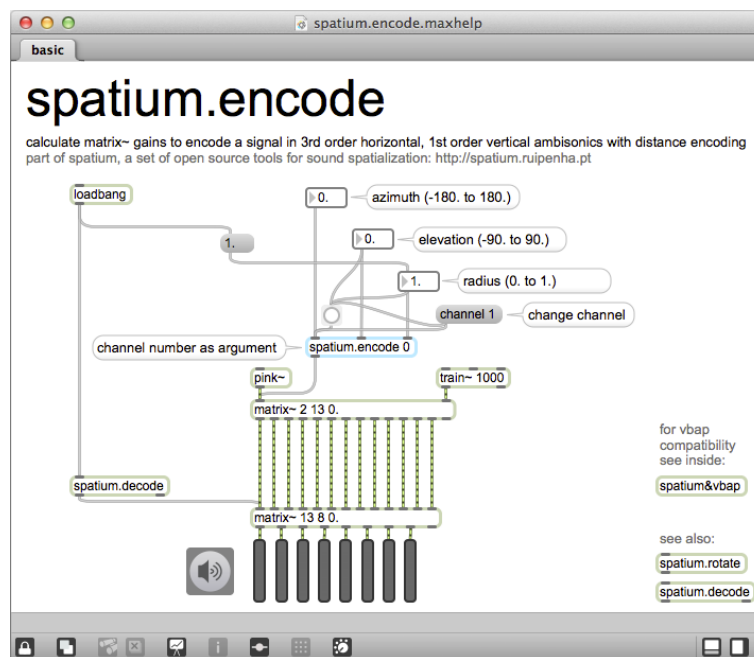


Figura 5.6. Exemplo de utilização do objecto `spatium.encode`.

O objecto `spatium.decode` (figura 5.7) descodifica um campo sonoro HOA-DE para uma dada configuração de altifalantes. Tem duas saídas: a da direita para obter informação sobre a sua configuração actual (cuja saída é desencadeada pela tradicional mensagem *dump*) e a da esquerda que envia informação para controlo de uma matriz de endereçamento de áudio com 13 entradas, correspondentes aos canais de

⁴⁴ Ordem de execução padrão do Max.

HOA-DE, e tantas saídas quantos os canais da configuração de altifalantes em questão. Recebe como único argumento o nome da configuração de altifalantes para descodificação, quer polígonos regulares para descodificação bidimensional — quadrado, pentágono, hexágono, octógono, dodecágono ou hexadecágono —, quer sólidos platónicos para descodificação tridimensional — hexaedro, octaedro, dodecaedro e icosaedro ⁴⁵ —, ou ainda nomes de formatos especiais — *surround* e *toBinaural*, para descodificação binaural com um *subpatch* auxiliar. A definição de configurações de altifalantes personalizadas ou o controlo sobre os ganhos das diferentes ordens podem ser concretizados pelo envio de mensagens através da única entrada do objecto ⁴⁶.

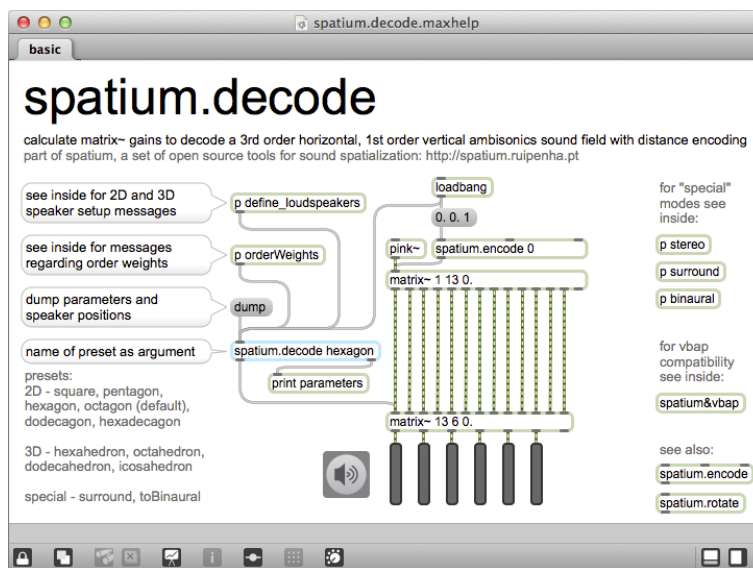


Figura 5.7. Exemplo de utilização do objecto spatium-decode.

A descodificação para três dos formatos disponíveis — estereofonia, ITU 5.1 e binaural — tem implementações particulares. No caso da descodificação para estereofonia, esta é feita não pelo objecto spatium-decode, mas antes por um *subpatch* que implementa a tradução do *B-format* para um formato conhecido como UHJ de dois canais, desenvolvido para tornar possível a transmissão de um *B-format* horizontal através de meios de difusão limitados a dois canais (Gerzon, 1985). Os dois canais do UHJ podem ser difundidos como uma estereofonia tradicional ou descodificados para reconstruir uma difusão bidimensional próxima do *B-format* horizontal original ⁴⁷. A difusão directa com uma estereofonia tradicional produz resultados satisfatórios, tendo este método de codificação ficado conhecido como *super*

⁴⁵ Tanto os nomes dos polígonos regulares como os nomes dos sólidos platónicos são apresentados no spatium em inglês.

⁴⁶ A sintaxe para a mensagem de configuração de altifalantes é, como referido anteriormente, igual à utilizada pelo objecto VBAP. A sintaxe para as mensagens de controlo dos ganhos das diferentes ordens utiliza o padrão do Max para a manipulação de atributos dos objectos.

⁴⁷ A reconstrução dos três canais do *B-format* horizontal original só é possível com o UHJ de três canais, à reconstrução parcial do *B-format* horizontal a partir do UHJ de dois canais Gerzon dá o nome de *E-format* (Gerzon, 1985).

stereo, em virtude de darem à estereofonia resultante a impressão de uma largura superior à dos altifalantes utilizados para reprodução (Elen, 1991). A reprodução para o sistema ITU 5.1 utiliza os ganhos obtidos a partir do *plugin* Wigware ⁴⁸, capazes de uma reprodução mais uniforme na configuração irregular do que os ganhos obtidos da forma tradicional (Farina, 2006). Desta forma, a descodificação com este formato é fixa e não é possível alterar os ganhos das diferentes ordens. A descodificação binaural é feita em dois passos: primeiro, o objecto *spatium-decode* faz uma descodificação para uma configuração bidimensional regular de 24 altifalantes; de seguida, um *subpatch* faz a convolução — utilizando o objecto ‘multiconvolve~’, distribuído como parte das HISSTools (Harker & Tremblay, 2012) — com 24 HRIR obtidas com um manequim KEMAR (Wierstorf et al., 2011).

O último objecto de HOA-DE é o *spatium-rotate* (figura 5.8), que se destina à rotação do campo sonoro em torno do eixo transverso, única possível dado tratar-se de um campo sonoro misto. Este objecto recebe o ângulo de rotação, quer como número decimal através da única entrada, quer como argumento inicial, e envia a informação para controlo de uma matriz de endereçamento de áudio. Esta matriz é assim colocada entre a codificação e a descodificação do campo sonoro HOA-DE, permitindo a rotação do campo sonoro necessária, e.g., à reprodução binaural com rastreo da orientação da cabeça do ouvinte.

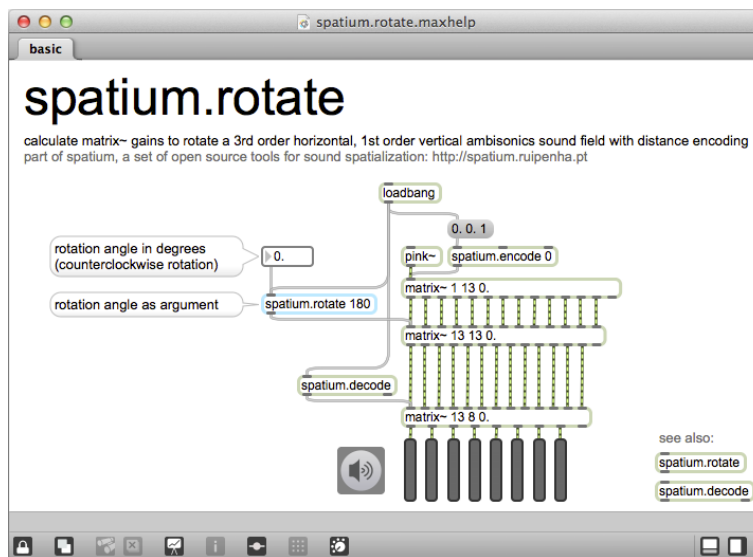


Figura 5.8. Exemplo de utilização do objecto *spatium-rotate*.

O objecto *spatium-panning* (figura 5.9) implementa a técnica APbSP e é o objecto cujo funcionamento mais se aproxima do implementado pelo objecto VBAP. Tem duas entradas — da direita para a esquerda: raio e azimute — através das quais recebe a informação necessária para calcular os ganhos de controlo da matriz de endereçamento de áudio, que tem tantos canais de entrada quantos os necessários para espacializar as fontes sonoras e tantas saídas quantos os canais da configuração de altifalantes em questão.

⁴⁸ http://www.brucewiggins.co.uk/?page_id=78

Este objecto recebe como único argumento o canal, informação necessária para controlar directamente o respectivo canal de entrada de sinal de uma matriz de endereçamento de áudio. A mensagem de configuração de altifalantes utiliza a mesma sintaxe da utilizada com o objecto VBAP, tal como acontece no spatium-decode, embora funcione, neste caso, apenas com configurações de altifalantes bidimensionais. O atributo *useSqrt* pode ser tornado verdadeiro para que o cálculo da panorâmica seja feito por raízes quadradas, em vez da predefinida panorâmica por seno e co-seno.

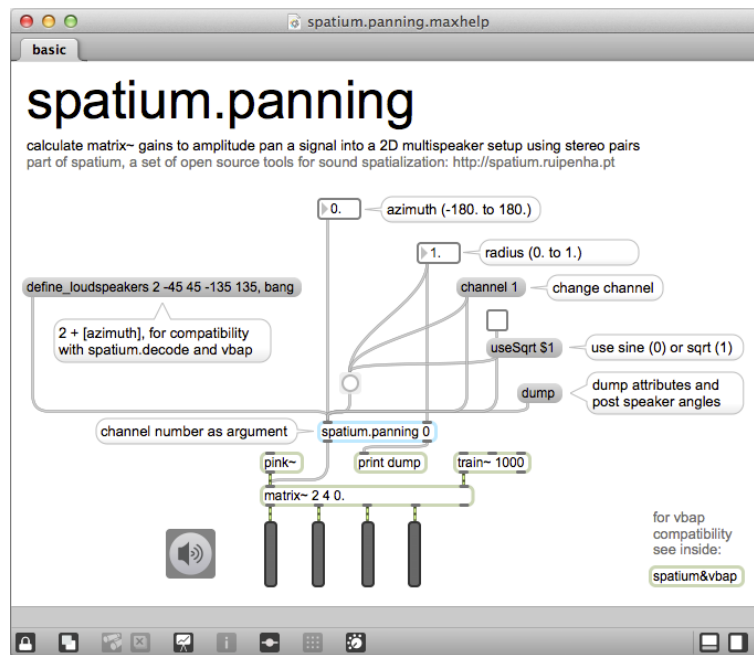


Figura 5.9. Exemplo de utilização do objecto spatium-panning.

5.5 Motores de Espacialização

O spatium tem três motores de espacialização baseados em HOA-DE (de entre os quais o principal é o spatium-ambi) e um motor de espacialização baseado em APbSP (o spatium-panning). O spatium-ambi foi construído como uma mesa de mistura de espacialização capaz de: receber até 16 canais de áudio em simultâneo com as suas instruções de espacialização, sintetizar um campo sonoro HOA-DE, descodificar o campo sonoro para qualquer uma das configurações de altifalantes implementadas na biblioteca spatium para Max e alterar as características da descodificação para cada configuração de altifalantes e espaço de difusão. Torna assim possível a composição a partir de outras aplicações como, e.g., uma DAW, providenciando o retorno sonoro em tempo real com a configuração de altifalantes disponível em cada momento do processo de composição e gravando, por fim, um ficheiro de áudio com os 13 canais do HOA-DE. Este poderá ser, por fim, descodificado de forma adaptada a cada meio de disseminação e espaço de difusão.

Por sua vez, o *spatium-panning* foi concebido como uma forma de explorar uma dada configuração de altifalantes através de uma abordagem mais próxima do espaço fonte de Vande Gorne (2002). Assim, em vez do paradigma da mesa de mistura de espacialização utilizado no *spatium-ambi*, é utilizado o paradigma do editor de áudio. Um editor de áudio é comumente utilizado, na composição de música electroacústica, para trabalhar uma amostra de áudio antes de esta ser colocada na DAW e se tornar parte integrante de uma peça. No *spatium-panning*, uma amostra de áudio é espacializada para uma dada configuração de altifalantes (num máximo de 24 canais) e o resultado é exportado em ficheiros de áudio independentes que poderão ser depois colocados numa DAW. Tal como num editor de áudio, o mesmo ficheiro poderá ser trabalhado de diversas formas para diferentes secções da peça. Ao contrário do *spatium-ambi*, o *spatium-panning* possui uma interface de espacialização cinematográfica incorporada, sendo, não obstante, possível o controlo da espacialização a partir de qualquer uma das interfaces de espacialização do *spatium*.

5.5.1 Motores de Espacialização Baseados em HOA-DE

O principal motor de espacialização baseado em HOA-DE é o *spatium-ambi*. Dado que se destina a ser utilizado em paralelo com outras aplicações, a interface deste motor de espacialização foi concebida com o objectivo de ser o mais compacta possível (figura 5.10). A parte superior da interface mostra os 16 canais de entrada, cada um com uma visualização do seu azimute, elevação, raio e amplitude do sinal de entrada. Embora seja possível introduzir uma instrução de espacialização estática directamente a partir desta interface, o seu principal objectivo é a visualização da informação que chega via OSC. A parte inferior da interface está dividida em duas partes: a metade esquerda apresenta opções que afectam a codificação do campo sonoro HOA-DE e a metade direita apresenta opções que afectam a descodificação deste mesmo campo sonoro.

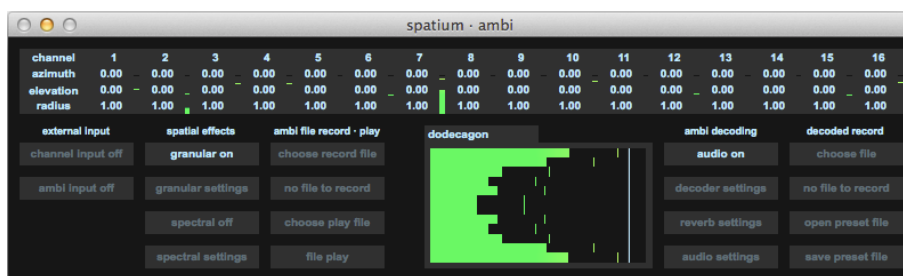


Figura 5.10. Interface do motor de espacialização *spatium-ambi*, um espacializador de 16 canais baseado em HOA-DE.

A primeira coluna de botões a partir da esquerda define o tipo de entrada de áudio: caso a opção *channel input* esteja seleccionada, os 16 canais de entrada estão em funcionamento; caso a opção *ambi input* esteja

seleccionada, os primeiros 13 canais de entrada são interpretados como um campo sonoro HOA-DE e são directamente ligados ao decodificador. A segunda coluna de botões a partir da esquerda refere-se à espacialização de fontes não pontuais: a espacialização granular e a espacialização espectral, dando acesso aos respectivos painéis de controlo.

O painel de controlo da espacialização granular (figura 5.11) apresenta a forma de onda de uma amostra de áudio, na qual é possível escolher a zona de onde são retirados os grânulos sonoros. É possível substituir a amostra de áudio predefinida como demonstração arrastando um novo ficheiro de áudio não comprimido e largando-o sobre esta representação. O comportamento desta síntese granular com 16 correntes paralelas de grânulos — implementada com o Granular Toolkit para Max (Wolek, 2002) — pode ser controlado através de parâmetros familiares: o local da amostra de áudio de onde são retirados os grânulos, o âmbito de aleatoriedade na escolha deste local, o intervalo entre grânulos, o tamanho dos grânulos, a aleatoriedade no tamanho dos grânulos, a direcção de leitura dos grânulos, a velocidade de leitura dos grânulos e a aleatoriedade na escolha desta velocidade, que está directamente relacionada com a frequência percebida. Por fim, cada uma das 16 correntes de grânulos pode ser endereçada para cada um dos 16 canais de entrada do spatium-ambi, permitindo a sua espacialização em conjuntos de diversas configurações.

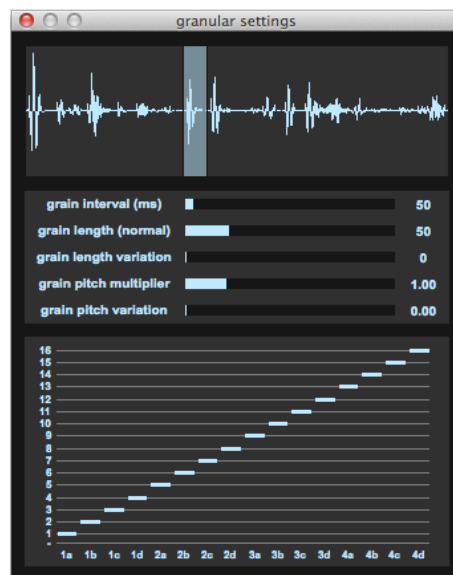


Figura 5.11. Interface para espacialização granular no motor de espacialização spatium-ambi.

Quando é activada a espacialização espectral, o espectro do áudio que chega ao primeiro canal do spatium-ambi é dividido em 28 bandas que podem ser individualmente silenciadas ou endereçadas em diversas configurações para os 16 canais de áudio do spatium-ambi através do respectivo painel de controlo (figura 5.12). Trata-se assim de uma implementação baseada na da panorâmica estereofónica em função da frequência de Torchia & Lippe (2004).

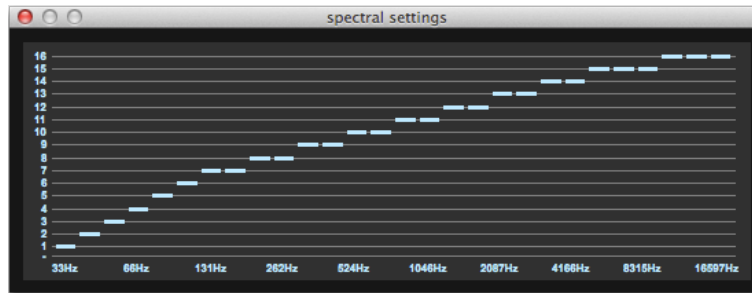


Figura 5.12. Interface para espacialização espectral no motor de espacialização spatium-ambi.

Na terceira coluna de botões a partir da margem esquerda da interface do spatium-ambi encontram-se os controlos que possibilitam a gravação e reprodução de ficheiros de áudio com 13 canais nos quais são codificados campos sonoros HOA-DE. À direita desta coluna aparece o menu que permite a selecção da configuração de altifalantes para reprodução, uma visualização da amplitude de cada um dos canais de reprodução, e um controlo geral de volume. A penúltima coluna de botões a partir da esquerda apresenta o botão para ligar o processamento de áudio e dá acesso aos três painéis com as opções para manipulação da descodificação do campo sonoro HOA-DE: o painel com os parâmetros de descodificação, o painel de controlo da reverberação por convolução e o painel para configuração do sistema de áudio e endereçamento dos seus canais de entrada e saída.

O painel com os parâmetros de descodificação (figura 5.13) permite a rotação do campo sonoro e a manipulação dos ganhos das diferentes ordens. Mais importante para a percepção da distância das fontes sonoras, permite ainda a manipulação do ganho e da equalização do canal central D, parâmetros através dos quais é possível simular a diferença de intensidade, a absorção atmosférica e o efeito de proximidade na descodificação.

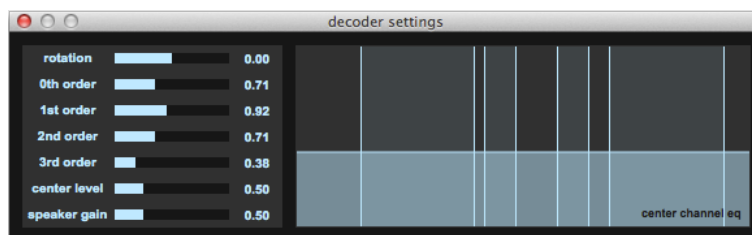


Figura 5.13. Interface para manipulação dos parâmetros de descodificação nos motores de espacialização baseados em HOA-DE.

A reverberação natural é uma característica difícil de antever e controlar nos espaços de difusão. A implementação da reverberação geral no spatium-ambi é por isso colocada na fase de descodificação, de modo a permitir a adaptação das suas características a cada espaço de difusão. Trata-se de uma reverberação

por convolução, utilizando o objecto 'multiconvolve~', distribuído como parte das HISSTools (Harker & Tremblay, 2012), e as IR disponibilizadas em *B-format* pela Open AIR Library ⁴⁹. O facto de a resolução espacial das IRs ser inferior à resolução espacial do campo sonoro HOA-DE não é um problema, já que o objectivo é o de criar uma reverberação difusa. O painel de controlo da reverberação (figura 5.14) apresenta, para além de um menu de selecção das IRs e de informação sobre estas, a possibilidade de manipular a amplitude e a equalização da reverberação, bem como a amplitude da reverberação a ser aplicada ao canal central D, uma forma adicional de simular a distância análoga à utilizada por Chowning (1971).

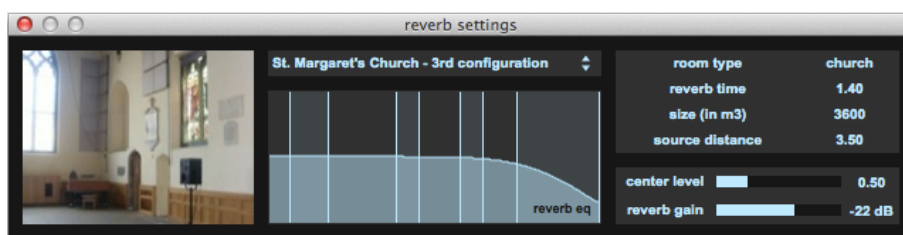


Figura 5.14. Interface para manipulação da reverberação por convolução nos motores de espacialização baseados em HOA-DE.

Por fim, na última coluna de botões a partir da margem esquerda da interface do *spatium-ambi* estão os controlos sobre a gravação dos campos sonoros HOA-DE descodificados (e.g., para a gravação de versões estereofónicas ou binaurais das peças) e os controlos para a gravação e a recuperação das definições de descodificação, que mantêm a compatibilidade mesmo entre diferentes configurações de altifalantes.

Os restantes motores de espacialização baseados em HOA-DE são versões simplificadas do *spatium-ambi* e partilham as suas capacidades de manipulação de descodificação, sendo por isso compatíveis com os suas definições de descodificação. Foram desenvolvidos para funções específicas nos concertos de música electroacústica: o *spatium-player* (figura 5.15) permite a descodificação de campos sonoros HOA-DE previamente gravados com o *spatium-ambi* e sua difusão para qualquer configuração de altifalantes compatível; o *spatium-diffusion* (figura 5.16) permite a difusão de um ficheiro estereofónico a partir da sua codificação para HOA-DE, com a posição e movimento dos dois canais originais controlados a partir de qualquer uma das interfaces de espacialização do *spatium*.

⁴⁹ <http://www.openairlib.net>, uma biblioteca de IRs de espaços acústicos gratuitas, utilizadas sobretudo para reverberação por convolução.

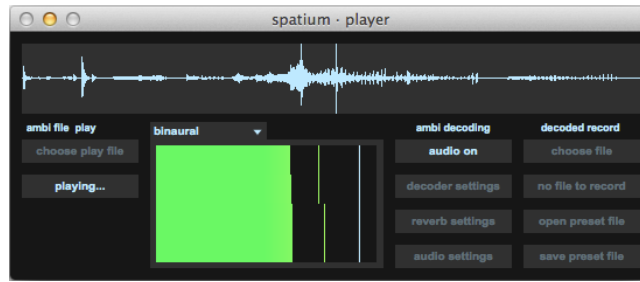


Figura 5.15. Interface do motor de espacialização spatium-player, que descodifica e reproduz campos sonoros codificados pelo espacializador spatium-ambi.

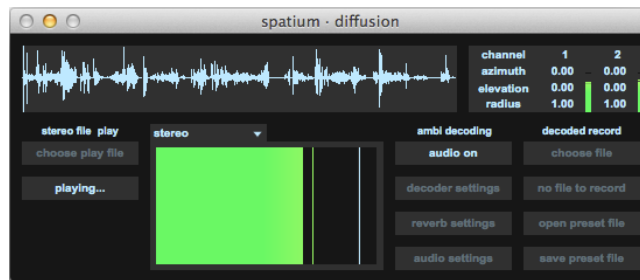


Figura 5.16. Interface do motor de espacialização spatium-diffusion, utilizado para difundir ficheiros estereofónicos.

5.5.2 Motor de Espacialização Baseado em APbSP

Ao contrário do spatium-ambi, o spatium-panning foi concebido como um motor de espacialização utilizável de forma autónoma (i.e., sem implicar o recurso a outros módulos como, e.g., as interfaces de espacialização). Pelo facto de ser baseado numa técnica de espacialização que se presta particularmente a uma abordagem cinematográfica à espacialização, inclui uma interface que permite a construção de formas geométricas a partir da definição de cadeias de segmentos de recta. A progressão destas formas no tempo é definida pela manipulação da posição dos elos sobre a visualização da forma de onda do ficheiro de áudio a espacializar (figura 5.17). Assim, o spatium-panning pode ser visto como uma versão bidimensional e monofónica do mesmo paradigma de interface implementado, e.g., no Holo-Edit. Não obstante o facto de ser baseado no modelo de um editor de áudio e de induzir a manipulação da espacialização por refinamento iterativo e de forma diferida da audição, a integração deste motor de espacialização na arquitectura modular faz-se pela capacidade de gravar a automatização da espacialização a partir de qualquer uma das interfaces do spatium. Esta gravação é feita sob a forma de uma cadeia de segmentos de recta que permanece sempre manipulável.

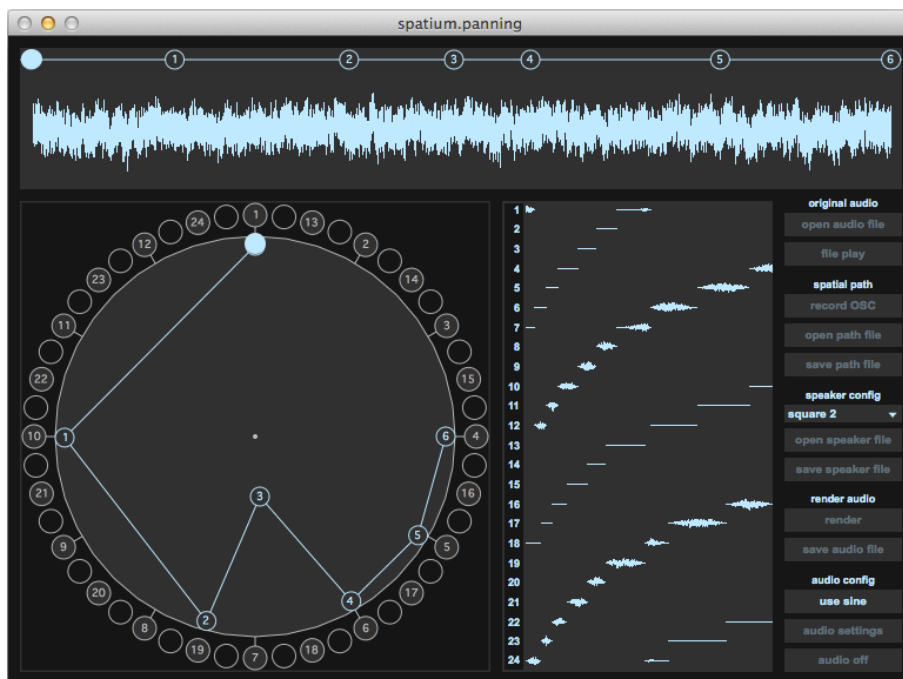


Figura 5.17. Interface do motor de espacialização spatium.panning, baseado APbSP.

A configuração de altifalantes é livremente definida dentro de um conjunto de 48 posições possíveis em torno do espaço circular e pode conter até 24 altifalantes. É possível, e.g., a concretização do mesmo percurso espacial para diversas configurações ou utilizando apenas uma parte dos altifalantes disponíveis, o que pode ser especialmente útil para a segregação de vozes e movimentos necessária ao contraponto espacial. O mesmo percurso espacial pode ainda ser aplicado a várias amostras de áudio diferentes, sendo a sua dimensão temporal automaticamente ajustada ao tamanho de cada amostra. A concretização final é feita sob a forma de vários ficheiros de áudio, um por altifalante, que podem ser depois justapostos e combinados numa DAW. O spatium.panning integra desta forma uma abordagem convencional à espacialização no spatium.

5.6 Interfaces para Espacialização

Foram desenvolvidas dez interfaces para espacialização, reflectindo a taxonomia da espacialização na música electroacústica proposta no capítulo dois: cinco para espacialização dinâmica, duas para espacialização cinematográfica e três para espacialização gestual⁵⁰. Cada uma destas interfaces foi desenvolvida a partir de uma abordagem idiossincrática à espacialização, com o objectivo de obter, por fim, um conjunto variado de opções utilizáveis tanto de forma individual como em simultâneo. Não obstante, procurou-se garantir que os elementos comuns às várias interfaces eram implementados de forma consistente, de modo

⁵⁰ A espacialização estática, não pressupondo movimento no espaço, pode ser concretizada sem recurso às interfaces para espacialização.

a que a curva de aprendizagem necessária à utilização de uma nova interface diga exclusivamente respeito à parte idiossincrática da sua proposta de especialização. A sua implementação em Processing ⁵¹ torna fácil, por um lado, a adaptação destas interfaces para outras plataformas (e.g., Windows, Linux, Android) e, por outro, a fácil adaptação à condição de interface de especialização compatível com o spatium de um crescente número de propostas de design generativo, visualização de dados e interfaces de controlo concebidas pela comunidade de utilizadores desta ferramenta gratuita e de código aberto ⁵².

5.6.1 Implementação do Protocolo de Comunicação

Um elemento comum a todas as interfaces é o facto de enviarem a informação sobre a especialização para outras aplicações, ora via OSC, ora via MIDI ⁵³. Assim, a secção da interface na qual é configurado o envio de OSC (figura 5.18a) é idêntica em todas as interfaces e surge sempre no canto inferior direito da interface. Através do painel relativo ao OSC é possível definir: o endereço de IP para o envio das mensagens OSC para outra aplicação no mesmo computador ⁵⁴ ou para outro computador na mesma rede; a porta para o envio das mensagens OSC, pré-definida para a porta 11475 que os motores de especialização do spatium estão por definição programados para escutar; o endereço da mensagem OSC, pré-definido para `/spatium/1`, ou seja, controlando o primeiro canal de especialização. O utilizador inexperiente não terá de fazer qualquer alteração a estes parâmetros, com a excepção da mudança, quando necessário, do número do canal de especialização no campo com o endereço da mensagem OSC. O utilizador que conheça bem o protocolo OSC, por seu lado, não terá dificuldade em reconhecer estes parâmetros e facilmente os poderá configurar de modo a permitir a utilização de qualquer uma das interfaces do spatium no controlo de outros parâmetros que não a especialização como, e.g., um controlo de timbre de um sintetizador.

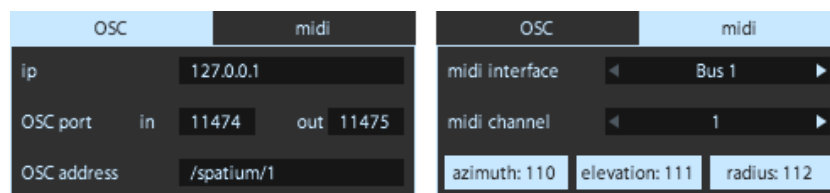


Figura 5.18. Pormenor da interface relativa à configuração de (a, à esquerda) envio de OSC ou (b, à direita) MIDI pelas interfaces de especialização.

⁵¹ <http://processing.org>

⁵² Como, e.g., os trabalhos submetidos no *site* <http://www.openprocessing.org> ou os exemplos dos livros *Generative Gestaltung* (Bohnacker, Gross, & Laub, 2009) e *The Nature of Code* (Schiffman, 2012).

⁵³ Com a excepção das interfaces *spatium-flocking* e *spatium-gravity balls 2D* que, por controlarem o movimento de mais do que uma fonte virtual em simultâneo, não enviam informação via MIDI.

⁵⁴ Caso em que se utiliza o endereço de IP `127.0.0.1`, opção pré-definida.

Todas as interfaces oferecem ainda a possibilidade de automatizar, via OSC, qualquer um dos seus parâmetros ligados à espacialização, bastando para isso o envio de uma mensagem para a porta definida como porta de entrada de mensagens OSC (pré-definida para a porta 11474) utilizando a sintaxe

```
/spatiumControl/*nomeDoParâmetro* f
```

sendo **nomeDoParâmetro** a designação do parâmetro tal como esta aparece na interface e *f* um número decimal dentro do âmbito definido para esse parâmetro. Poder-se-á alterar, e.g., a aceleração da gravidade nas simulações das interfaces de espacialização dinâmica *spatium-pendulum*, *spatium-pendulum 2D* ou *spatium-gravity balls 2D* para 16,4 m/s² utilizando a mensagem

```
/spatiumControl/gravity 16.4
```

Nas interfaces para espacialização dinâmica, a simulação pode ser parada ou lançada através da mensagem

```
/spatiumControl/run i
```

sendo *i* o número inteiro 0, para parar a simulação, ou 1, para a colocar em funcionamento, automatizando assim um controlo que é normalmente conseguido através da tecla espaço.

Seleccionando o painel relativo ao MIDI (figura 5.18b), cessa o envio das mensagens OSC e a informação sobre a espacialização da fonte virtual passa a ser enviada através do protocolo MIDI. É possível seleccionar a interface MIDI (que pode ser real ou virtual, i.e., interaplicação), definir o canal para envio das mensagens de controlo e activar ou desactivar o envio do azimute, da elevação e do raio. Se a informação enviada via OSC respeita o protocolo do *spatium*, a informação enviada via MIDI escala estes valores como números inteiros de 7 bit, i.e., entre 0 e 127. Assim: à variação entre $\theta = -180^\circ$ e $\theta = 180^\circ$ corresponde uma variação do controlador MIDI número 110 entre 0 e 127; à variação entre $\phi = -90^\circ$ e $\phi = 90^\circ$ corresponde uma variação do controlador MIDI número 111 entre 0 e 127; à variação entre raio = 0 e raio = 1 corresponde uma variação do controlador MIDI número 112 entre 0 e 127⁵⁵.

5.6.2 Implementação do Retorno Visual e Modo de Interacção

Foram pensados três tipos de interface quanto à forma como é representada a posição da fonte sonora virtual. Nos casos em que o utilizador interage com um sistema tridimensional através do rato, são apresentadas para interacção três projecções bidimensionais do espaço: no plano transversal, no plano coronal e no plano sagital (figura 5.19). Este primeiro tipo de interface é utilizado nas interfaces

⁵⁵ A implementação destes três parâmetros no *plugin* *spatium-track* faz com que a tradução inversa destes valores em MIDI de novo no formato do protocolo *spatium* aconteça de forma automática através da implementação do controlo MIDI próprio de cada DAW.

spatium-pendulum e spatium-flocking (ambas para espacialização dinâmica), que apresentam ainda, no canto inferior direito, uma visualização em perspectiva sobre o espaço tridimensional, onde é indicado qual o plano de projecção activo para interacção através de uma alteração de cor. Esta visualização não é interactiva e desaparece quando é necessário revelar o menu da interface. No sentido de facilitar a criação de novas interfaces deste tipo pelo utilizador final, esta representação da espacialização em três projecções bidimensionais interactivas e uma visualização em perspectiva foi implementada sob a forma de uma biblioteca para Processing, que recebe as instruções para desenho tridimensional através de uma sintaxe idêntica à do próprio Processing.

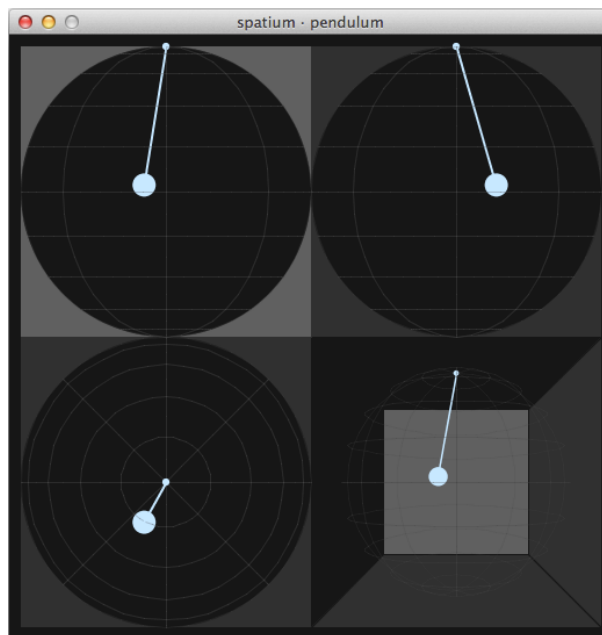


Figura 5.19. Interface de espacialização dinâmica spatium-pendulum, que permite o controlo de um modelo físico tridimensional de um pêndulo simples. É um exemplo de uma interface do tipo 1, na qual são visíveis três projecções bidimensionais: do canto inferior esquerdo e no sentido dos ponteiros do relógio, a projecção no plano transverso, a projecção no plano coronal e a projecção no plano sagital. No canto inferior direito é visível uma perspectiva tridimensional sobre o espaço.

O segundo tipo é constituído pelas interfaces nas quais o utilizador interage com um sistema bidimensional utilizando o rato. Eliminado o constrangimento da necessidade de interacção com um espaço tridimensional através de um meio e forma de visualização bidimensionais (respectivamente, o rato e o monitor), o utilizador interage então com um elemento de espacialização representado no interior de um espaço circular (figura 5.20) idêntico ao do paradigma dominante. Este tipo de interface é utilizada nas interfaces spatium-pendulum 2D, spatium-gravity balls 2D, spatium-springs 2D (para espacialização dinâmica) e spatium-polygonal chain (para espacialização cinemática).

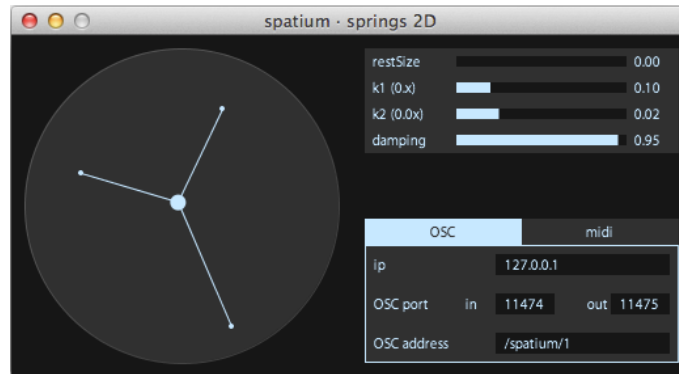


Figura 5.20. Interface de espacialização dinâmica spatium-springs 2D, que permite o controlo de um modelo físico de elásticos. É um exemplo de uma interface do tipo 2, na qual é visível, à esquerda, o elemento de interacção e visualização da espacialização bidimensional.

O terceiro tipo é constituído pelas interfaces nas quais o utilizador interage com o sistema utilizando ora um modo de interacção alternativo ao rato, ora utilizando o rato para controlar a espacialização da fonte sonora virtual de outro modo que não directamente através da sua representação. Nestas, a visualização da posição da fonte sonora virtual não é interactiva e aparece sob a forma de duas projecções, uma no plano transverso e outra no plano coronal (figura 5.21). Este tipo de interface é utilizada nas interfaces spatium-rotation (para espacialização cinemática), spatium-controlOSC, spatium-linear rotation e spatium-trackpad (para espacialização gestual)

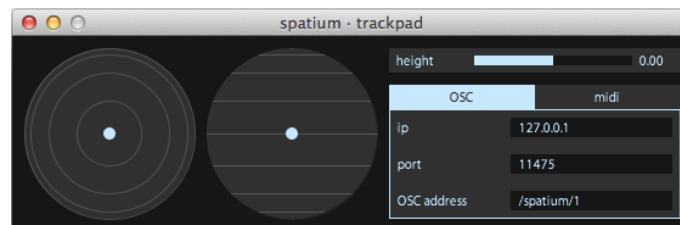


Figura 5.21. Interface de espacialização gestual spatium-trackpad, que permite a utilização de *trackpad* como controlador de posição absoluta. É um exemplo de uma interface do tipo 3, sendo visível, na metade esquerda, a visualização não interactiva da posição da fonte sonora virtual projectada, da esquerda para a direita, no plano transverso e no plano coronal.

5.6.3 Interfaces para Espacialização Dinâmica

Foram desenvolvidas cinco interfaces para a exploração da espacialização dinâmica: spatium-pendulum 2D, spatium-pendulum 2D, spatium-gravity balls 2D, spatium-springs 2D e spatium-flocking. Com a excepção

da interface *spatium·flocking*, todas são consequência directa do estudo sobre a espacialização dinâmica realizado na obra *pendulum* [2012]. Tanto a *spatium·pendulum* 2D (figura 5.22) como a *spatium·pendulum* (figuras 5.19 e 5.23) implementam uma simulação de um pêndulo simples, a primeira utilizando uma versão bidimensional da simulação e uma interface do tipo 2, a segunda utilizando uma versão tridimensional da simulação e uma interface do tipo 1. Na interface *spatium·pendulum* 2D, é possível controlar o azimute da gravidade em tempo real, alterando assim a posição da origem da força exercida sobre o pêndulo. Na interface *spatium·pendulum*, é possível colocar o pivot em qualquer posição no espaço de espacialização.

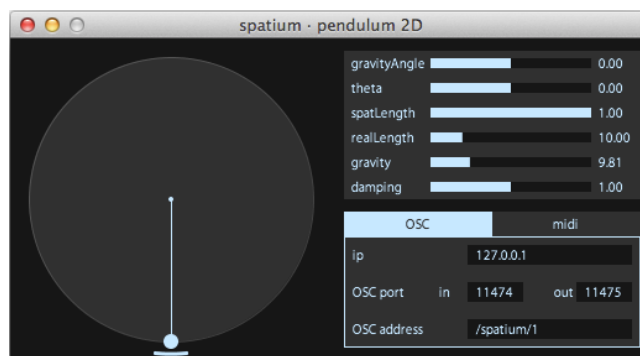


Figura 5.22. Interface de espacialização dinâmica *spatium·pendulum* 2D, que permite o controlo de um modelo físico bidimensional de um pêndulo simples. É visível, abaixo da zona de interacção, um arco através do qual é possível controlar o azimute da gravidade.

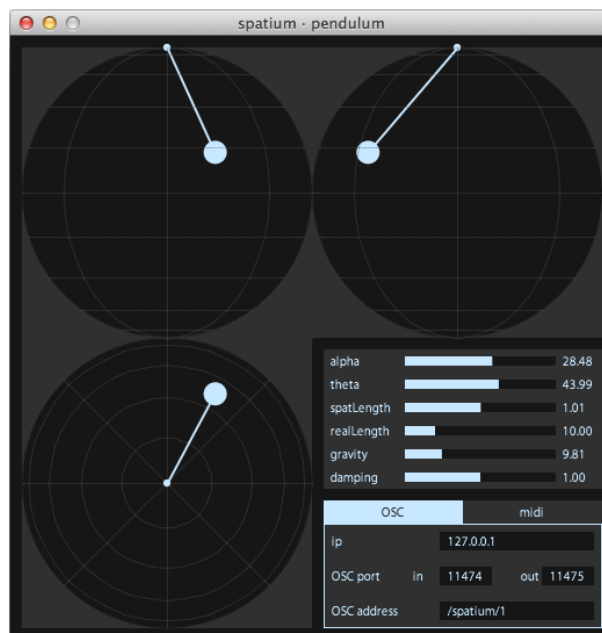


Figura 5.23. Interface de espacialização dinâmica *spatium·pendulum*, que permite o controlo de um modelo físico tridimensional de um pêndulo simples, com o menu visível.

A interface *spatium-springs 2D* é uma interface do tipo 2 (figura 5.20) na qual a fonte sonora virtual é representada por uma bola presa a uma ou mais âncoras através de elásticos. Dispondo um máximo de seis âncoras e interagindo com esta bola, é possível espacializar a fonte sonora virtual através de um movimento oscilatório que retorna sempre, de forma mais ou menos rápida, à posição de repouso inicial.

A interface *spatium-gravity balls 2D* é uma interface do tipo 2 (figura 5.24) e permite o controlo de até 16 fontes sonoras virtuais, representadas por igual número de corpos com diferentes diâmetros e circunscritos ao espaço de espacialização. Estes são atraídos por uma força gravitacional de azimute controlável, ressaltando quando chocam com os limites do espaço ou com os outros corpos. Por fim, cada um dos corpos pode ser lançado contra os restantes através da simulação de uma fisga. Todos os parâmetros que controlam estas interações, incluindo o atrito com o espaço, podem ser controlados através do menu da interface ou automatizados via OSC. Ao permitir o controlo de até 16 canais em simultâneo, é possível utilizar esta interface para controlar o comportamento de uma espacialização granular ou espectral com o motor de espacialização *spatium-ambi*.

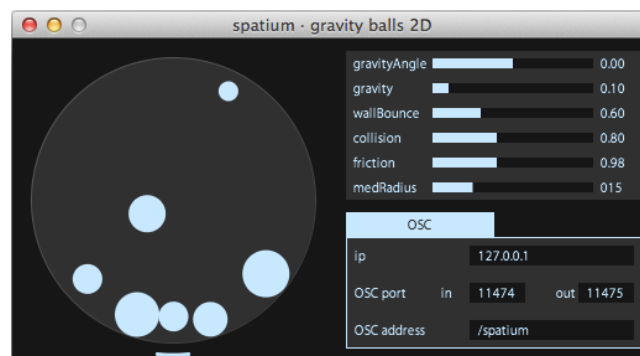


Figura 5.24. Interface de espacialização dinâmica *spatium-gravity balls 2D*, que permite o controlo de até 16 corpos no interior de um modelo físico de gravidade. É visível, abaixo da zona de interação, um arco através do qual é possível controlar o azimute da gravidade.

spatium-flocking é uma interface do tipo 1 que utiliza um algoritmo de simulação do comportamento de um bando de animais para controlar a posição de até 16 fontes sonoras virtuais em simultâneo. Há uma tradição na utilização deste tipo de algoritmo no controlo da espacialização granular (Davis & Karamanlis, 2007; Kim-Boyle, 2005; Mariette, 2009; Schacher et al., 2011; Wilson, 2008), razão para a sua inclusão no *spatium*.

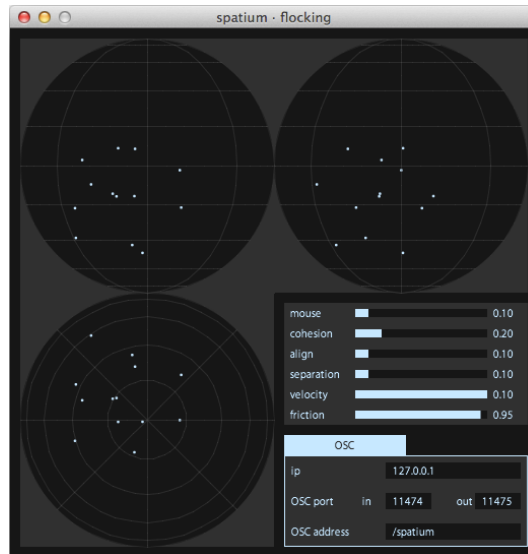


Figura 5.25. Interface de espacialização dinâmica spatium-flocking, que permite o controlo de um algoritmo que mimetiza o comportamento de um bando ou enxame.

5.6.5 Interfaces para Espacialização Cinemática

Como foi referido anteriormente, a espacialização cinemática é aquela que mais naturalmente se presta à concepção abstracta da espacialização e sua implementação num modelo de refinamento iterativo e alternado entre a definição dos percursos e a audição dos resultados. Como também foi analisado anteriormente, uma parte significativa das ferramentas de espacialização existentes induz ou mesmo impõe esta abordagem em consequência do seu modo de implementação, como é, aliás, o caso do spatium-panning, simultaneamente motor e interface de espacialização.

Já existe uma excelente interface, gratuita e de código aberto, que pode ser utilizada, entre outras funções, como meio ideal para a espacialização cinemática: o sequenciador de eventos IanniX. Este permite a criação de formas geométricas no espaço através de cadeias de segmentos de recta, desenho livre ou definição matemática. Estas formas representam simultaneamente percursos no tempo e podem ser percorridas por cursores cuja velocidade e sincronismo são controláveis pelo utilizador. Foi concebido um simples *patch* de Max (figura 5.26) que converte as coordenadas cartesianas enviadas via OSC pelo Iannix para a porta de saída pré-definida em mensagens compatíveis com o protocolo spatium. É assim possível controlar a espacialização bidimensional no spatium-ambi a partir do Iannix (figura 5.27), bastando para

isso atribuir a cada cursor o número do canal a controlar no spatium e definir a área de mapeamento das coordenadas para a área visível no ecrã ⁵⁶.

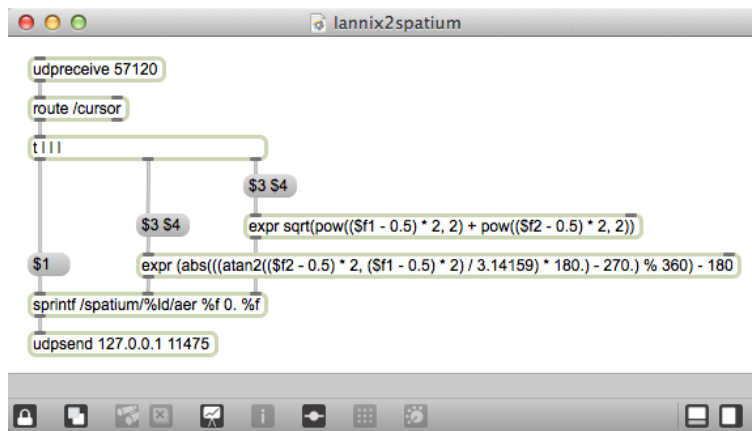


Figura 5.26. Implementação, como *patch* de Max, da conversão das mensagens padrão do Iannix para informação de espacialização bidimensional no protocolo do spatium.

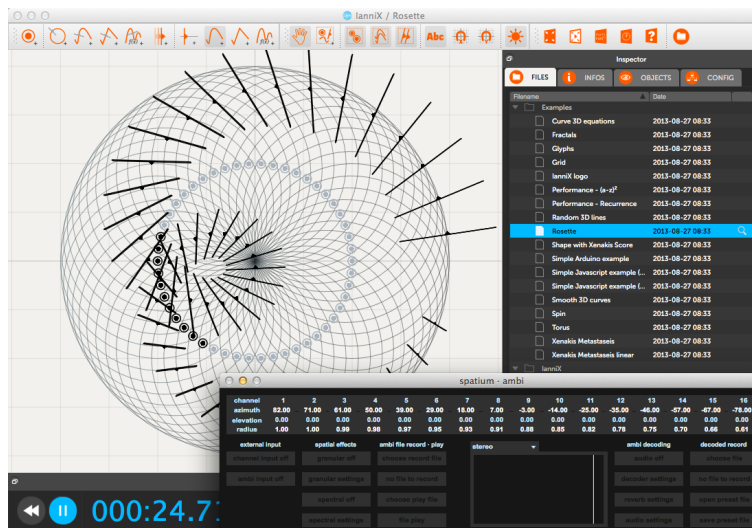


Figura 5.27. Exemplo de espacialização cinemática utilizando o Iannix como interface.

As duas interfaces para espacialização cinemática desenvolvidas para o spatium não procuram então ser uma alternativa à espacialização cinemática com o Iannix ou com a interface integrada no motor de espacialização spatium-ambi. Procuram, pelo contrário, reflectir o papel que o domínio da abordagem

⁵⁶ A pré-definição do Iannix é o mapeamento das coordenadas para a área ocupada por cada figura, i.e., os pontos com $x = 0$, $x = 1$, $y = 0$ e $y = 1$ estão, respectivamente, no extremos esquerdo, direito, inferior e superior do espaço rectangular ocupado por cada figura. Ao definir o mapeamento das coordenadas para a área visível no ecrã, que deverá ser então ajustada de modo a formar um quadrado, torna-se possível o desenho de percursos de espacialização integralmente internos ao campo sonoro, sendo também facilitada a visualização da relação entre os vários percursos.

cinemática na concepção de uma parte significativa das ferramentas de espacialização teve na criação do vocabulário de gestos espaciais da música electroacústica. São ambas interfaces híbridas, que partem de uma abordagem cinemática e a aproximam de uma abordagem gestual, no caso da *spatium-polygonal chain*, e de uma abordagem dinâmica, no caso da *spatium-rotation*, por forma a permitir a sua utilização em tempo real.

A interface *spatium-polygonal chain* (figura 5.28) é uma interface do tipo 2 e permite a construção de formas geométricas a partir da definição de cadeias de segmentos de recta, tal como acontece no *spatium-panning*. Ao contrário do que acontece neste último, contudo, não existe uma definição da posição no tempo de cada elo da cadeia. No caso do *spatium-polygonal chain*, depois de definida a forma do percurso, a posição nesse percurso é definida em tempo real, utilizando o rato, através de uma simulação de potenciómetro linear. A definição geométrica dos percursos espaciais em diferido, típica da espacialização cinemática, encontra assim a espacialização gestual na definição em tempo real da sua morfologia temporal.

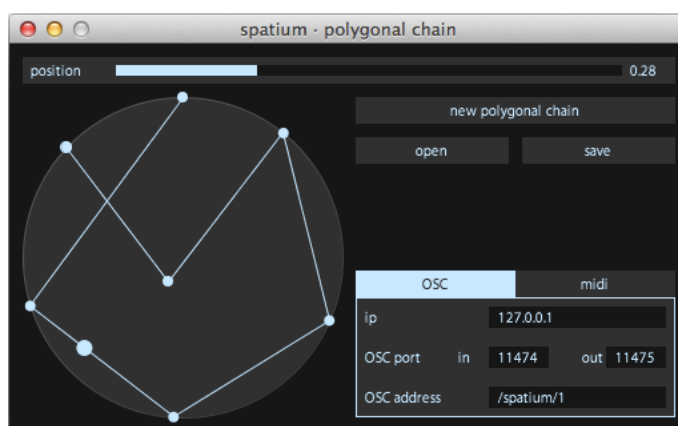


Figura 5.28. Interface de espacialização cinemática *spatium-polygonal chain*, que permite a construção de percursos de espacialização em sequências de linhas rectas.

A interface *spatium-rotation* é directamente inspirada nos altifalantes rotativos utilizados em *Kontakte* [1958-1960] e *Sirius* [1975-1977], de Karlheinz Stockhausen. Nesta interface do tipo 3, o controlo não é exercido directamente sobre a posição da fonte sonora virtual, sendo em vez disso exercido sobre a sua aceleração angular, que pode ser adicionada em qualquer direcção por forma a acelerar ou retardar o movimento. Quando a aceleração é mantida num valor constante, é gerado um movimento uniformemente variado. Quando a aceleração é reposta a zero, o movimento torna-se uniforme. É possível controlar tanto a elevação como o raio em tempo real, permitindo assim a concretização de movimentos em espiral. O facto de o controlo principal ser sobre a aceleração aproxima esta interface de uma abordagem dinâmica.

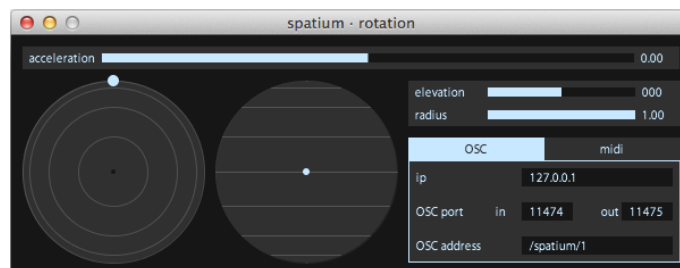


Figura 5.29. Interface de espacialização cinemática spatium-rotation, que permite o controlo sobre a aceleração angular de uma fonte sonora virtual.

5.6.6 Interfaces para Espacialização Gestual

É possível, como foi já referido, a concretização de espacialização gestual a partir de interfaces de espacialização cinemática: esta é, aliás, a forma como o fazem os compositores que utilizam o desenho de curvas de automatização numa DAW para definir percursos de espacialização gestual em paralelo com a visualização da morfologia da amplitude de uma dada amostra de áudio. A concepção de interfaces optimizadas para a espacialização gestual é, não obstante, relevante na medida em que facilita a expressividade no controlo do gesto espacial durante a audição do gesto musical, tal como acontecia com o *pupitre d'espace*. Todas as interfaces para espacialização gestual do spatium têm uma interface do tipo 3.

O paradigma dominante na concepção de interfaces para espacialização permite a espacialização gestual através do rato. A concretização de movimentos circulares no plano transversal — que, dada a maior acuidade na percepção neste plano e a tradição da disposição circular das configurações de altifalantes bidimensionais, se destacam no vocabulário da espacialização — não é contudo beneficiada por este tipo de controlo, já que não é fácil descrever movimentos circulares precisos e uniformes com o rato, sobretudo nos casos em que há aceleração ou alteração do sentido do movimento. A interface spatium-linear rotation (figura 5.30) permite o controlo sobre o azimute de uma fonte sonora virtual utilizando apenas a componente horizontal do movimento de rato (ou de outra superfície de controlo, como, e.g., um *trackpad* ou uma mesa digitalizadora). Uma simulação de potenciômetro linear controla o azimute da fonte sonora num âmbito de 720° (i.e., duas rotações completas), facilitando deste modo a execução gestual de movimentos circulares no plano transversal. A interface spatium-trackpad (figura 5.21), por seu turno, permite a utilização do *trackpad* dos computadores portáteis ou o Magic Trackpad⁵⁷ como controlador de posição absoluta, mapeando a sua superfície para o plano transversal da espacialização. Um só dedo controla a posição da fonte sonora virtual no plano transversal e a introdução de um segundo dedo, em qualquer ponto do *trackpad*, torna possível o controlo sobre a elevação da fonte sonora virtual, o que acontece através da componente latitudinal do seu movimento.

⁵⁷ <http://www.apple.com/pt/magictrackpad/>

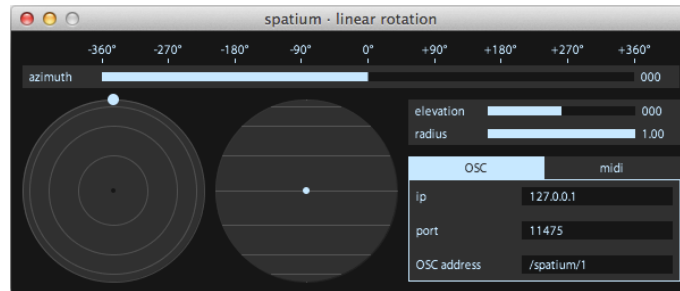


Figura 5.30. Interface de espacialização gestual spatium-linear rotation, que permite o controlo sobre o azimute de uma fonte sonora virtual utilizando um controlo horizontal.

O controlo da espacialização de várias fontes virtuais em simultâneo através da sua representação em superfícies multitoque tem vindo a ser utilizado desde o lançamento das primeiras soluções comerciais deste tipo de dispositivos. Em *Speakings* [2008], de Jonathan Harvey, e.g., o controlo sobre a espacialização é realizado ao vivo e em tempo real utilizando um JazzMutant Lemur ⁵⁸ (Nouno, Cont, Carpentier, & Harvey, 2009). A rápida disseminação de dispositivos multitoque com sistema operativo iOS e Android foi acompanhada pelo lançamento de diversas aplicações para controlo musical via OSC. Destas, a Control ⁵⁹ é particularmente interessante por ser gratuita, de código aberto, por estar igualmente disponível para iOS e Android e por permitir a fácil programação de interfaces personalizadas. Das interfaces que vêm integradas na aplicação, duas são particularmente interessantes para o controlo da espacialização: MultiTouchXY, que envia por OSC a posição bidimensional de até dez dedos sobre o ecrã multitoque, e Gyro + Accelerometer, que envia por OSC os dados recolhidos pelo giroscópio e pelo acelerómetro do dispositivo (figura 5.31).

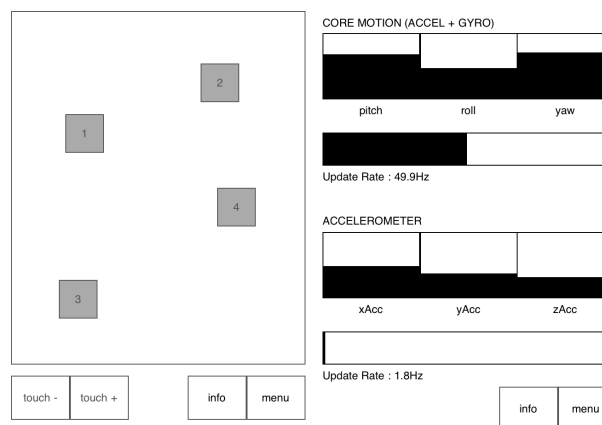


Figura 5.31. Duas interfaces da aplicação Control: MultiTouchXY (à esquerda) e Gyro + Accelerometer (à direita). A cor foi invertida para facilitar a leitura.

⁵⁸ http://www.jazzmutant.com/lemur_overview.php

⁵⁹ <http://charlie-roberts.com/Control/>

A interface *spatium-control OSC* (figura 5.32) traduz as mensagens OSC enviadas pelas interfaces da aplicação *Control* para o protocolo *spatium*, utilizando um de dois modos seleccionáveis: *multitouch*, para utilização com a interface *MultiTouchXY*, e *gyroscope*, para utilização com a interface *Gyro + Accelerometer*. No modo *multitouch*, a interface recebe a posição dos dedos na superfície multitoque e converte as coordenadas cartesianas de cada dedo nas coordenadas polares no plano transversal do canal *spatium* com o mesmo número. É assim possível o controlo sobre a posição no plano transversal de até dez fontes sonoras virtuais, sendo um modo particularmente interessante para utilização com uma superfície multitoque grande (i.e., um *tablet*). Se utilizado em conjunto com o motor de espacialização *spatium-diffusion*, e.g., este modo permite o fácil controlo, sem fios e a partir do *sweet spot*, da difusão no espaço de obras estereofónicas. No modo *gyroscope*, por seu turno, a interface recebe a inclinação do dispositivo móvel — cabeceio, balanço e guinada ⁶⁰ — projectando na superfície da esfera a sua orientação. É assim possível a mimetização do modo de performance do *pupitre d'espace* através da manipulação da orientação de um dispositivo móvel.

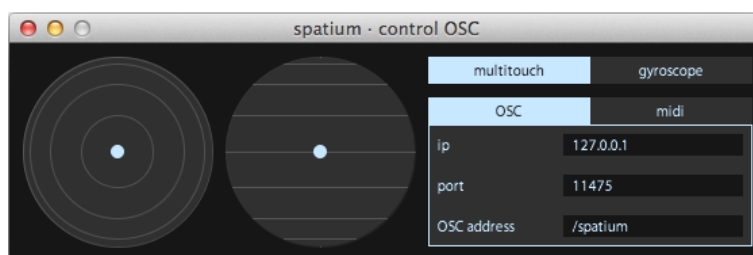


Figura 5.32. Interface de espacialização gestual *spatium-control OSC*, que recebe os dados da aplicação *Control* e os traduz em controlo da espacialização em dois modos: *multitouch*, que envia a posição de cada dedo na superfície multitoque como posição absoluta no plano transversal e *gyroscope*, que define a posição na superfície da esfera através dos dados do giroscópio do dispositivo móvel.

5.7 Plugins

A integração das ferramentas de espacialização com as DAWs é um factor importante para o processo de trabalho de muitos compositores de música electroacústica (Peters et al., 2011b), pelo que o *spatium* inclui três *plugins*: um para integração em qualquer DAW que suporte o formato Audio Unit e dois para integração no Ableton Live, através da extensão Max for Live ⁶¹. Em qualquer um dos casos, estes *plugins* não processam o áudio, passando este sinal inalterado. Permitem, contudo, o envio dos seus parâmetros

⁶⁰ Em inglês, respectivamente, *pitch*, *roll* e *yaw*.

⁶¹ <https://www.ableton.com/en/live/max-for-live/>

automatizáveis via OSC, abrindo a porta à gravação e sincronização das informações de espacialização em paralelo com a informação áudio ou MIDI gravada nas pistas da DAW.

O *spatium-track* (figura 5.33) é um *plugin* Audio Unit que pode ser colocado em qualquer ponto da cadeia de efeitos de uma faixa de áudio para enviar três parâmetros automatizáveis — o azimute, a elevação e o raio — para um dado canal do motor de espacialização através do protocolo do *spatium*. A generalidade das DAW que permitem a automatização também permitem o controlo dos parâmetros automatizáveis a partir de controladores externos. Embora esteja em expansão a integração do OSC como fonte de controlo nas DAW, o MIDI ainda é o protocolo dominante para este efeito. Assim, é possível a utilização das interfaces de espacialização do *spatium* em modo de envio MIDI para controlar e gravar a automatização dos parâmetros de cada instância do *spatium-track*, permitindo a sua posterior manipulação sob a forma de curvas de automatização.

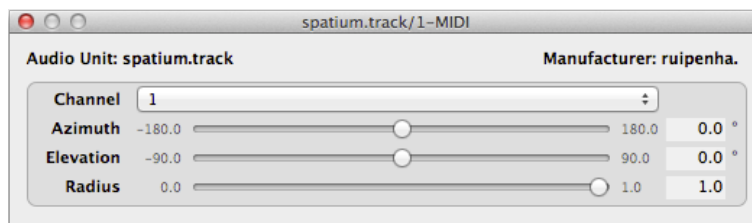


Figura 5.33. Interface do *plugin* *spatium-track*, que permite a gravação e envio da informação para espacialização a partir de uma DAW compatível com Audio Unit.

O *spatium-live* é um *plugin* para Max for Live que, tal como o *spatium-track*, permite o envio de três parâmetros automatizáveis — o azimute, a elevação e o raio — para um dado canal do motor de espacialização através do protocolo *spatium*. No entanto, e ao contrário do *spatium-track*, permite a visualização gráfica dessa informação através da interface (figura 5.34). Também ao contrário do *spatium-track*, permite a recepção da informação a partir das interfaces de espacialização via OSC, utilizando para tal a porta UDP 11476.

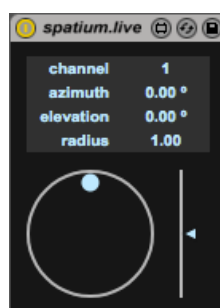


Figura 5.34. Interface do *plugin* *spatium-live*, que permite a gravação, visualização e envio da informação para espacialização a partir da DAW Ableton Live.

Por forma a permitir a automatização dos parâmetros das interfaces de espacialização controláveis via OSC, foi ainda concebido o *plugin* para Max for Live OSCsend (figura 5.35). Este *plugin* permite o envio de um número decimal para um endereço OSC, endereço de IP e porta UDP configuráveis. A variabilidade dos âmbitos dos parâmetros é tornada possível pela manipulação da escala e do desvio a partir da gravação da automatização, sempre feita com um âmbito de 0 a 1.

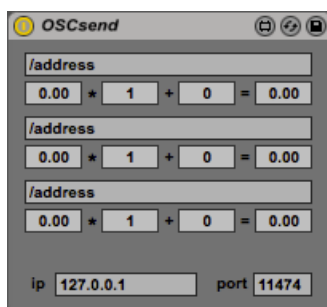


Figura 5.35. Interface do *plugin* OSCsend, que o envio de controlo OSC a partir da DAW Ableton Live.

5.8 Conclusão

A abordagem modular e os diferentes componentes do spatium permitem a sua integração nos diversos processos de trabalho dos compositores. Para além do compositor que opte por basear o seu processo de composição em torno da espacialização com o spatium, é possível a integração de apenas algumas partes da solução proposta em processos pré-existentes. Alguns exemplos:

- o compositor que baseia a sua produção electroacústica na programação das suas próprias ferramentas poderá aproveitar apenas os objectos e patches para Max para construir soluções personalizadas;
- o compositor que baseia a concretização da espacialização no desenho de curvas de automatização numa DAW poderá continuar a fazê-lo, utilizando os *plugins* do spatium, mas ao mesmo tempo usufruir da flexibilidade quanto à configuração de altifalantes oferecida pelos motores de espacialização baseados em HOA-DE;
- o compositor que pretenda explorar o vocabulário geométrico como forma de impor variações sobre o material musical poderá utilizar o spatium-panning para gerar diferentes gestos espaciais, incluindo para diferentes configurações de altifalantes, a partir da mesma amostra sonora;
- o compositor que pretenda coordenar vários movimentos geométricos no espaço poderá utilizar o Iannix para gerar informação espacial para o spatium-ambi;

- o compositor que utiliza fontes externas ao computador poderá fazer corresponder cada entrada de áudio do computador a uma entrada do spatium-ambi e utilizar um computador dedicado como mesa de mistura para colocação do som no espaço;
- o compositor que pretenda fazer novas versões das suas obras electroacústicas poderá utilizar o spatium-ambi para fazer a redução ou expansão das mesmas, bastando para isso fazer a codificação dos canais de áudio existentes nos pontos correspondentes à posição dos altifalantes, seguida da descodificação para a configuração pretendida;
- o intérprete de obras electroacústicas poderá difundir peças estereofónicas através de uma configuração regular de altifalantes utilizando motor de espacialização spatium-diffusion, a interface spatium-control OSC e um iPad para fazer a difusão em tempo real a partir do *sweet spot*;
- o intérprete de obras electroacústicas poderá utilizar as interfaces de espacialização do spatium para controlar a difusão de obras multicanal utilizando os seus modelos de espacialização dinâmica, cinemática e gestual.

A experimentação sobre a espacialização permitida pelas várias interfaces desenvolvidas poderá conduzir à criação de novo vocabulário para a espacialização na música electroacústica. A abordagem modular permite ainda a integração do spatium noutros processos de trabalho nos quais a espacialização seja uma componente importante — como, e.g., o design de som para cinema ou jogos — bastando para isso que as ferramentas utilizadas nesses domínios permitam o endereçamento do áudio para canais de saída independentes e o envio de mensagens através do protocolo OSC. O design de som procedimental para jogos e media digitais é particularmente próximo da proposta da espacialização dinâmica, já que se baseia em grande parte na utilização de modelos físicos para a síntese sonora. A manipulação de objectos sonoros virtuais proposta por Andy Farnell (2010) pode ser assim complementada através da modelação do seu comportamento num espaço acústico virtual.

O principal teste à implementação do spatium foi o realizado na composição e performance de duas das obras incluídas neste trabalho — *auditorium* [2012] e *pendulum* [2012] —, tendo ficado clara a robustez da sua implementação, o potencial expressivo das suas interfaces e a flexibilidade na transição entre diferentes espaços de composição e difusão permitida pelo HOA-DE. Não obstante, a resposta da comunidade ao lançamento da primeira versão, em Outubro de 2012, foi também muito positiva. Relatos da sua utilização na composição, em performance e no ensino chegaram rapidamente de vários locais do mundo, por vezes acompanhados pela descrição de problemas ou sugestões para melhorias. Os primeiros conduziram à correção de vários erros e os últimos ao desenvolvimento de algumas das soluções apresentadas: os motores de espacialização spatium-player e spatium-diffusion, os *plugins* Max for Live e a capacidade de controlo dos parâmetros das interfaces de espacialização via OSC são exemplos de ideias que tiveram origem em sugestões da comunidade de utilizadores.

6. Composição

More than ever before, we have to listen, every day of our lives. We draw conclusions by making tests on ourselves. Whether they are valid for others only our music can show.

Karlheinz Stockhausen ¹

6.1 Sonoridades Líquidas [2007]

Sonoridades Líquidas [2007] nasce de uma encomenda da Fundação Casa da Música, no Porto, para a realização de uma instalação sonora com base em esculturas pré-existentes, concebidas pelo artista sonoro João Ricardo de Barros Oliveira. Foi instalada no Foyer Nascente, corredor que medeia a traseira do palco da Sala Suggia e a face do edifício virada para a Praça de Mouzinho de Albuquerque ². Esta instalação era parte de uma instalação maior, coordenada pelo artista transdisciplinar Luís Miguel Girão, estando disposta como ponto terminal de um percurso definido pela colocação de cerca de 130 esculturas idênticas em vários espaços do edifício. O arquétipo da escultura era constituído por uma estrutura vertical, encimada por uma garrafa de soro, por sua vez acoplada a um gotejador que doseava o ritmo da queda de gotas de água sobre a pele de um pandeiro (figura 6.1). O som acústico do gotejar sobre a pele do pandeiro era amplificado através de microfones de contacto piezoeléctricos. Várias esculturas podiam ser assim controladas para criar polirritmias e explorar desfasamentos rítmicos.

¹ (Griffiths, 2010, p. 97)

² Vulgarmente conhecida como Rotunda da Boavista.



Figura 6.1. Escultura base da instalação *Sonoridades Líquidas* [2007], realizada por João Ricardo de Barros Oliveira, na qual um gotejador de frequência variável, acoplado a uma garrafa de soro com água, deixa cair gotas sobre a pele de um pandeiro amplificado.

No Foyer Nascente, contudo, o objectivo era que não se ouvisse o som directo, antes fosse o conjunto das esculturas uma interface para o controlo de um algoritmo de composição e de síntese sonora. Foi decidido, pelo coordenador da instalação, que seriam colocadas 16 esculturas neste espaço e que seriam montados três altifalantes espaçados no sentido longitudinal do corredor, em lados alternados e a cerca de 1/3 da altura (figura 6.2). Dado que todos os outros espaços da instalação seriam dedicados à exploração da vertente rítmica, foi ainda decidido pela equipa que a interacção com a instalação do Foyer Nascente seria dedicada à exploração da vertente harmónica.



Figura 6.2. Disposição de 16 esculturas no Foyer Nascente da Casa da Música.

Logo na primeira visita ao espaço se tornou claro que a sua acústica peculiar se prestava à exploração do seu longo tempo de reverberação e, sobretudo, da forte presença de modos de ressonância. O Foyer Nascente é

um prisma rectangular com 22 m de comprimento, 5,86 m de largura e 14,42 m de altura, definido por duas paredes de vidro ondulado e quatro outras (incluindo tecto e chão) revestidas por superfícies de metal polido. Procurou-se então tornar a instalação *site-specific*³, partindo da acústica peculiar do espaço para a construção harmónica. A partir da planta e secções do espaço foram calculadas as frequências de ressonância fundamentais f correspondentes às três dimensões L , utilizando a equação

$$f = \frac{343m.s^{-1}}{2L} \quad (6.1)$$

Dada a ondulação das paredes laterais (figura 6.2), não se esperava especial relevância da ressonância dos harmónicos da frequência fundamental correspondente à largura média do espaço — aproximadamente 8 *cents* acima de $L\acute{a}^{\#}_1$ ⁴ — face aos harmónicos da frequência fundamental correspondente ao comprimento do espaço — aproximadamente 18 *cents* acima de Si_3 — e da frequência fundamental correspondente à altura do espaço — aproximadamente 49 *cents* acima de $F\acute{a}^{\#}_2$ —, ambas frequências abaixo do espectro audível. A medição da resposta acústica do espaço a um impulso difundido pelo sistema electroacústico montado para a instalação⁵ revelou uma preponderância dos modos de ressonância harmónicos da frequência fundamental correspondente à altura do espaço. No entanto, as frequências destes harmónicos estavam mais próximas das da série de harmónicos de Sol_2 (i.e., quase 1/4 de tom acima do esperado), o que pode ser explicado por diversos factores — e.g., a existência de imprecisões na construção, a espessura dos revestimentos ou a temperatura do ar no momento da mediação — ou ainda, mais provável, por uma combinação destes. Não foi feita qualquer tentativa de compensação, nem destes factores, nem das limitações próprias do sistema de amplificação — como, e.g., a pouca potência na reprodução das frequências graves e as suas próprias ressonâncias —, já que o objectivo não era a medição da resposta acústica do espaço, mas sim a composição para as condições de apresentação da instalação.

Em algumas visitas efectuadas ao espaço durante a concepção da instalação, foi observado que um músico de um dos agrupamentos residentes na Casa da Música utilizava regularmente o Foyer Nascente, durante a noite, para tocar o seu instrumento, fazendo-o por apreciar as suas características acústicas e a vista, através dos grandes vidros ondulados, sobre a Praça de Mouzinho de Albuquerque. Foi então tomada a decisão de afinar as frequências escolhidas para a construção harmónica da instalação a partir de uma fundamental afinada segundo o temperamento igual e $L\acute{a}_3 = 440$ Hz, por forma a facilitar a integração de instrumentos acústicos tradicionais em eventuais performances na instalação final. Sobre a análise espectral da resposta acústica obtida foram então traçados os harmónicos de $Sol_2 \approx 12,2499$ Hz mais próximos dos picos de ressonância (figura 6.3).

³ Expressão que designa uma instalação criada para um espaço específico, vulgarmente utilizada em inglês.

⁴ Para uma afinação segundo o temperamento igual, com meio tom dividido em 100 *cents*.

⁵ Para a qual foi utilizado o software FuzzMeasure — <http://supermegaultragroovy.com/products/FuzzMeasure/>.

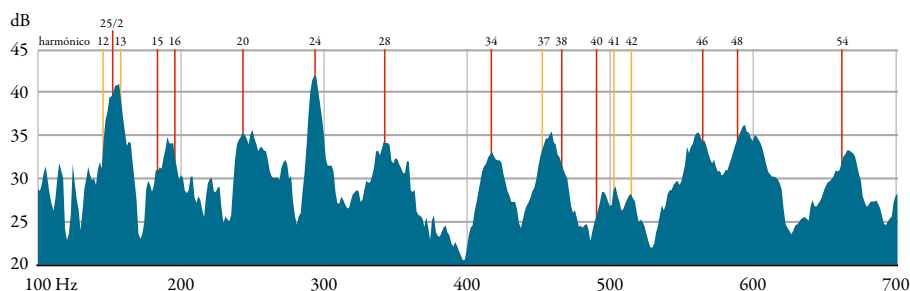


Figura 6.3. Análise espectral da resposta acústica do sistema de amplificação instalado no Foyer Nascente da Casa da Música, com alguns harmônicos de Sol₂. A vermelho os harmônicos utilizados e a amarelo os harmônicos considerados.

Dado que Sol₂ se encontra abaixo do limiar da audição, foi decidido que a definição final da harmonia seria feita sobre a oitava acima da mesma nota (i.e., Sol₁ \approx 24,4997 Hz). Foram então evitados os harmônicos ímpares da série de Sol₂ (i.e., os harmônicos desta que não pertencem à de Sol₁), razão pela qual se preferiu tanto o harmónico 38 ao harmónico 37 como o harmónico 40 ao harmónico 41. As exceções a este princípio foram: a utilização da frequência uma oitava abaixo do harmónico 25⁶, como forma de incluir uma zona particularmente ressonante na região mais grave do espectro considerado, e a utilização do harmónico 15, ao qual foi atribuída uma função análoga à sensível das escalas tonais na chegada à manifestação mais grave da nota principal da série de harmónicos (i.e., o harmónico 16), utilizada no final da progressão harmónica⁷.

Dentro desta macro-harmonia de 12 notas foram definidas oito micro-harmonias (figura 6.4), contendo tanto notas estruturais (i.e., as primeiras a serem escolhidas) como notas complementares (i.e., as que só são escolhidas para evitar a duplicação das notas estruturais). A proeminência dos harmónicos referentes à 5^a da fundamental, neste caso os harmónicos 12 e 24⁸, levou a que fossem escolhidos como notas transversais a todas as micro-harmonias. Foi dado especial ênfase ao harmónico 24 — colocando-o, na implementação do algoritmo, sempre como primeira escolha e atrasando a introdução plena do harmónico 12 — pela possibilidade de articulação deste com o harmónico 23. Esta articulação coloca em evidência a relação entre os dois picos gémeos encontrados na análise espectral da resposta acústica e procura equilibrar o carácter tendencialmente estático inerente à utilização de apenas uma série de harmónicos através da colocação deste intervalo dissonante como referência inicial.

⁶ Portanto uma frequência também inexistente na série de harmónicos de Sol₂.

⁷ Estes harmónicos não existem na série de harmónicos de Sol₁, razão pela qual aparecem na notação da progressão harmónica final como, respectivamente, harmónico 25/4 e 15/2

⁸ Referentes à série de harmónicos de Sol₁, correspondendo, respectivamente, aos harmónicos 24 e 48 da série de harmónicos de Sol₂.

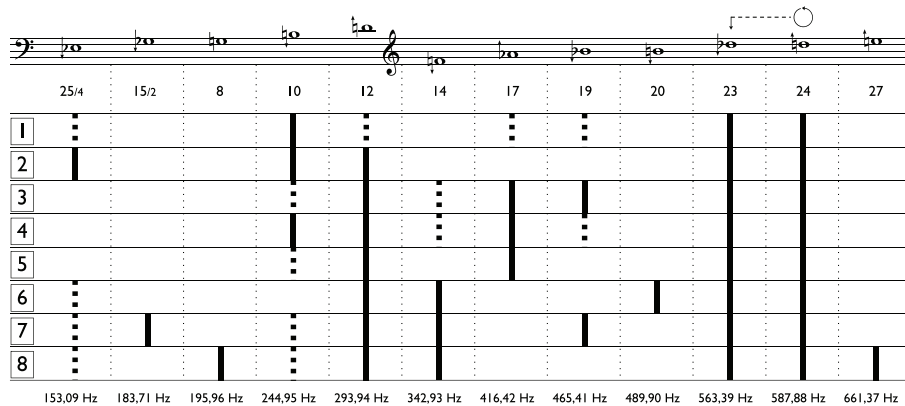


Figura 6.4. Progressão harmónica bidireccional entre oito micro-harmonias.

As linhas a cheio indicam as notas que fazem parte da estrutura de uma dada micro-harmonia, as linhas a tracejado indicam notas complementares.

O microfone de contacto piezoeléctrico de cada escultura foi ligado a um sistema baseado em Arduino ⁹ (figura 6.5). Este sistema era responsável pela digitalização do sinal, pela identificação dos transitórios de ataque e pelo seu envio (via OSC, através da rede *ethernet* da Casa da Música) para o computador responsável pela síntese, colocado nos bastidores da Sala Suggia. Aquando da preparação para a instalação final verificou-se que a utilização de cabos eléctricos não blindados — uma opção tomada pelo grupo de trabalho em função da sua cor branca — potenciava a detecção de falsos ataques. Por esta razão, o sistema de digitalização foi pendurado no centro do Foyer Nascente, de modo a tornar possível o disparo simultâneo de conjuntos de falsos ataques através do manuseamento dos cabos ¹⁰.

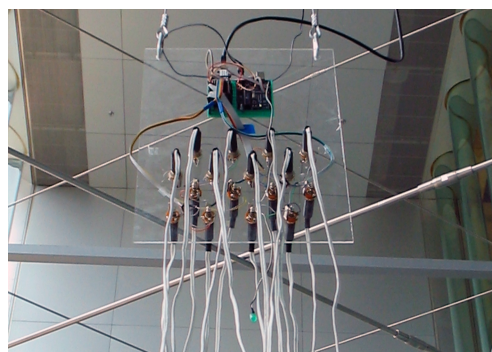


Figura 6.5. Circuito responsável pela detecção das pingas de água e seu envio via OSC. Foi concebido com base numa placa *Arduino* e pendurado no meio do Foyer Nascente.

⁹ <http://www.arduino.cc>

¹⁰ Como se pode ver no vídeo de documentação, incluído como parte do apêndice digital, aos 105 segundos.

Não obstante o facto de as 16 esculturas do Foyer Nascente serem idênticas na sua implementação física, para a implementação da componente digital da instalação foram divididas em três tipos: as esculturas do primeiro tipo despoletavam ataques em modelos de síntese modal, constituídos por bancos de filtros ressonantes afinados a partir da análise de amostras de crótalos, lâminas de vibrafone, gongues, taças japonesas e harmónicos de harpa; as esculturas do segundo tipo disparavam amostras sonoras de lâminas de vibrafone tocadas com um arco de contrabaixo, sujeitas a manipulação espectral por forma a descreverem *glissandi* entre as notas da micro-harmonia; as esculturas do terceiro tipo controlavam a frequência de osciladores de baixa frequência responsáveis pela modulação de amplitude do som produzido pelas esculturas do segundo tipo.

Nas seis esculturas do primeiro tipo, tanto o timbre como a afinação da síntese modal correspondente a cada escultura eram regularmente alterados de forma automática. Por forma a evitar a repetição imediata e regular de sons idênticos, os ataques posteriores à introdução do timbre completo (depois de um período de silêncio ou da mudança de timbre ou afinação) não disparavam todos os parciais da síntese modal, antes articulavam apenas um dos oito parciais mais presentes no timbre em questão, excluindo o identificado como principal ¹¹. Sendo (com a excepção dos harmónicos de harpa) análises de idiofones metálicos, estes parciais eram maioritariamente inarmónicos quer do parcial mais forte do som, quer da fundamental escolhida para a progressão harmónica, contribuindo assim para a riqueza harmónica do conjunto.

Nas cinco esculturas do segundo tipo, a frequência de articulação das notas longas era igual a um quinto da frequência de gotejamento, com as gotas entre ataques a definirem os pontos possíveis para o início dos *glissandi*, concretizados com recurso a processamento espectral. Cada uma destas esculturas foi colocada no espaço em tandem com uma escultura do terceiro tipo, cuja frequência definia a frequência da modulação de amplitude do som resultante. Quando duas gotas eram detectadas em simultâneo (i.e., com um tempo entre ataques inferior a 20 ms) nas duas esculturas de um destes pares, este oscilador de baixa frequência fazia um súbito *glissando* descendente, provocando um efeito de *tremolo* em *ritardando* ¹².

A concretização deste algoritmo e da síntese sonora sob a forma de patch de Max ¹³ trouxe alguns problemas de ordem prática, dada a limitada capacidade de processamento do computador disponível para a instalação. A solução passou pela redução do número de parciais utilizados na síntese modal, referente ao primeiro tipo de esculturas, tornando os timbres finais menos detalhados do que o inicialmente desejado.

O avanço de uma micro-harmonia para a seguinte era feito depois de todas as notas da primeira micro-harmonia terem sido seleccionadas pelo menos três vezes. Deste modo, a velocidade da progressão

¹¹ Como se pode ver no vídeo de documentação, incluído como parte do apêndice digital, aos 60 segundos.

¹² Como se pode ver no vídeo de documentação, incluído como parte do apêndice digital, aos 80 segundos.

¹³ Incluído como parte do apêndice digital.

dependia tanto do número de esculturas em funcionamento como da frequência de gotejamento de cada uma delas. Ao chegar à última micro-harmonia, a direcção era invertida e o percurso harmónico era novamente percorrido, desta feita em sentido contrário. Ao fim de seis minutos com todas as esculturas desligadas, a posição no percurso harmónico era redefinida para a primeira micro-harmonia. Quando mais do que três ataques eram detectados num intervalo de tempo inferior a 20 ms, um de seis gestos musicais pré-gravados era disparado, descrevendo um percurso de espacialização cinemática que percorria não só o comprimento do Foyer Nascente, como os espaços anteriores da instalação (figura 6.6). Caso a instalação estivesse sem visitantes (i.e., sem detectar gotejamento em qualquer uma das esculturas) durante uma hora, esta espacialização cinemática de gestos musicais pré-gravados era igualmente disparada, convidando eventuais visitantes dos espaços anteriores da instalação a visitar o Foyer Nascente.

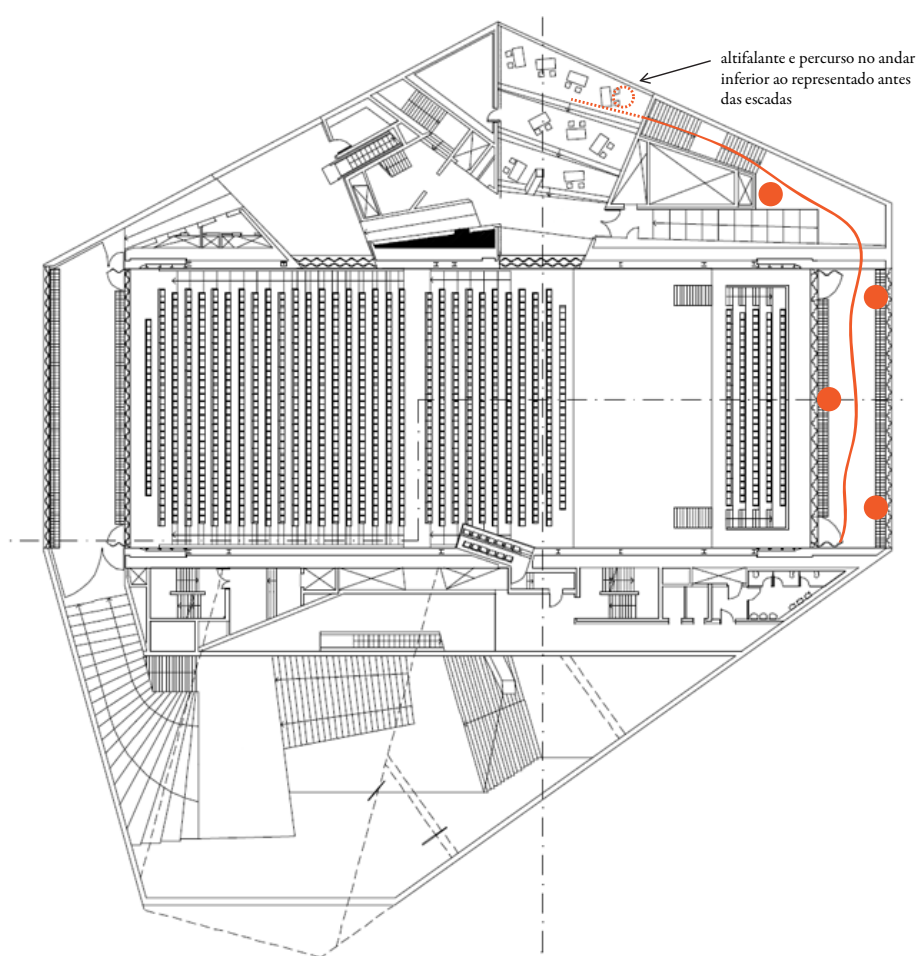


Figura 6.6. Colocação dos 5 altifalantes (círculos laranja) no Foyer Nascente da Casa da Música, incluindo espaços adjacentes, e percurso de espacialização cinemática entre eles.

Apesar da presença destes elementos de espacialização cinemática, esta instalação é sobretudo uma exploração de uma abordagem estática à espacialização. Surge na esteira de obras que exploram os modos de ressonância do espaço, como acontece, e.g., em diversas obras de Alvin Lucier. Ao contrário destas,

contudo, em *Sonoridades Líquidas* a harmonia própria do espaço não é apenas revelada pela performance, sendo antes utilizada como elemento gerador do pensamento composicional e fonte para a composição harmónica que, em articulação com o timbre, constitui o elemento principal deste trabalho. Apesar de ser contemporânea da publicação do seu livro seminal (Blessner & Salter, 2007), o conceito de arquitectura aural é um bom enquadramento para o trabalho desenvolvido em *Sonoridades Líquidas*. Esta instalação esteve em exposição permanente na Casa da Música de 14 de Abril a 30 de Junho de 2007, servindo visitantes ocasionais, visitas guiadas e *workshops* com escolas.

6.2 obra com título longo* [2009]

*obra com título longo** [2009] nasce de uma encomenda, feita pelo Ciclo de Conferências e Concertos Momentum, de uma peça para flauta alto, clarinete em si bemol, vibrafone, piano e electrónica. Foi composta durante uma residência no Visby International Centre for Composers ¹⁴, em Janeiro de 2009, tendo sido depois estreada e gravada pelo Performa Ensemble, constituído pelo flautista Jorge Salgado Correia, pelo clarinetista Luís Carvalho, pelo percussionista Mário Teixeira e pela pianista Helena Marinho. A obra foi editada como parte do CD *Momentum* ¹⁵, editado em 2010 pela Phonediton Records, que inclui também obras dos compositores Carlos Marecos, João Pedro Oliveira, Ângela Lopes, Petra Bachratá, Patrícia Almeida, Sara Carvalho e Evgueni Zoudilkine. O título da peça é uma onomatopose do verdadeiro título:

** Lembro-me de que existia, no meu jardim de infância, uma árvore que dava joaninhas. Enterravas a mão bem fundo no meio das folhas e ela vinha coberta delas. Foi esta árvore, hoje arbusto, que me mostrou pela primeira vez que existiam diferentes estações do ano. Duas, para ser mais preciso... sendo que eu sempre preferi a estação-em-que-há-joaninhas.*

Este arbusto é uma metáfora para o modo de integração da componente electroacústica da obra, difundida através de uma réplica do modelo de coluna hemisférica desenvolvido para a SLOrk (figura 2.33), colocada no centro dos instrumentos acústicos (figura 6.7). Como descrito anteriormente, esta coluna torna o modo de difusão dos sons electroacústicos mais próximo do dos instrumentos acústicos. Ao servir de eixo na articulação de linhas de contraponto que circulam entre os quatro instrumentos, a inclusão dos meios electroacústicos contribui, neste caso, e ao contrário do que é habitual, para a fusão entre os instrumentos puramente acústicos no espaço da performance. A micro-espacialização possibilitada pelos seis altifalantes

¹⁴ <http://vicc.se>

¹⁵ Gravação incluída no apêndice digital.

endereçáveis desta coluna constitui então o elemento central da abordagem estática à espacialização presente em *obra com título longo**.

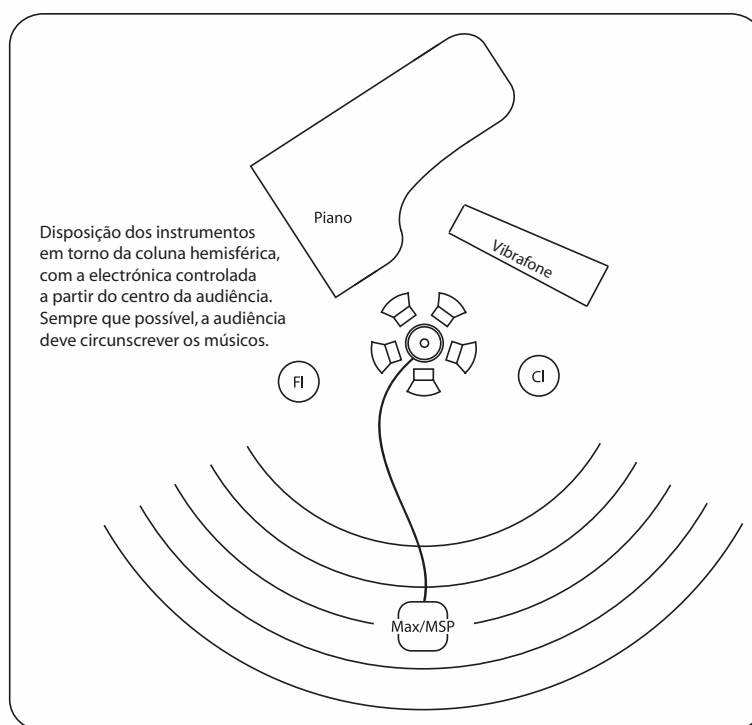


Figura 6.7. Disposição dos instrumentos em torno da coluna hemisférica em *obra com título longo** [2009].

Tendo como objectivo a fusão dos vários instrumentos através do eixo da electroacústica, a construção da peça é baseada num contraponto cerrado e contínuo a quatro vozes que, no entanto, não correspondem directamente aos quatro instrumentos. O material original deste contraponto é exclusivamente rítmico e corresponde a uma construção métrica utilizando agrupamentos de notas com valor unitário e duplo, numa alusão à *brevis e longa* dos modos rítmicos medievais:

(1 2) (2 1) (1 1 1 1) (1 2 1) (2 2 1 1) (2 2)

(1 2) (2 1) (1 1) (2 1) (2 1 2) (1 2 1) (2 2)

(2 2) (2 2) (1 2 1) (2 1) (2) (1 1 1 1) (2 2)

(1 1) (1 2 1) (1 1) (2 1) (2 1) (1 1 2 1) (1 2 2)

Em vez da tradicional distinção das vozes por tessituras (i.e., gamas de frequências do espectro audível) que acontece, e.g., nas fugas do período barroco, as quatro vozes deste contraponto distribuem-se por quatro gamas de frequências abaixo do espectro audível, traduzidas em quatro camadas métricas de leitura do

ritmo apresentado (figura 6.8). Da mais rápida para a mais lenta, descrevem uma progressão inversa à progressão das frequências na série de harmónicos: face ao valor unitário da primeira camada, o valor unitário da segunda camada tem o dobro da duração, o da terceira o triplo e o da quarta o quádruplo. A totalidade da peça descreve um ciclo com o mínimo múltiplo comum das quatro camadas (i.e., começa e acaba com um ataque simultâneo nas quatro vozes), percorrendo assim doze repetições da primeira camada, seis da segunda, quatro da terceira e três da quarta, descrevendo ainda dois ciclos com o mínimo múltiplo comum das três primeiras camadas ¹⁶.

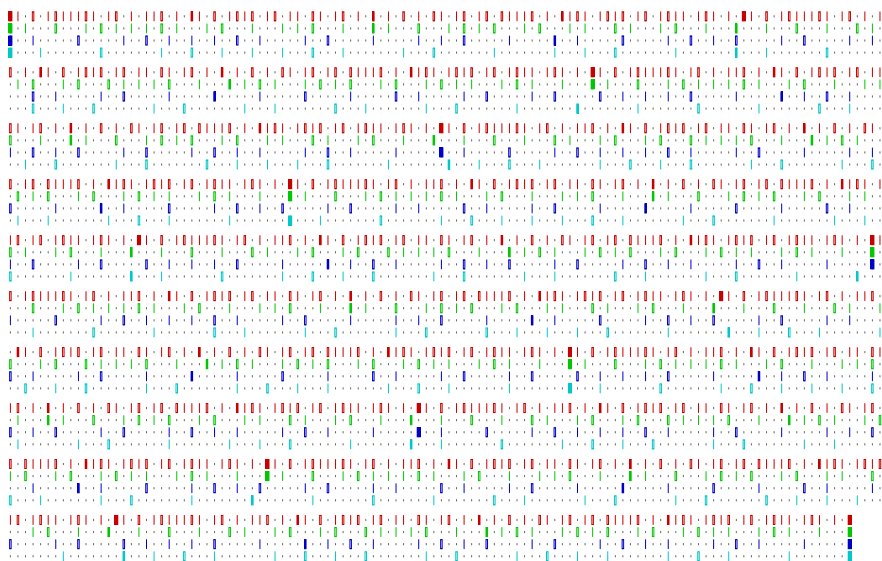


Figura 6.8. A sobreposição de quatro camadas métricas em *obra com título longo** [2009]:
de cima para baixo, da mais rápida, a vermelho, até à mais lenta, a azul claro.

Cada uma destas vozes percorre então os vários instrumentos, utilizando a electroacústica como pivô. Os cruzamentos neste pivô acontecem continuamente e são a única fonte de elementos da componente electroacústica. A possibilidade de passagem de mais do que uma voz em simultâneo pelos instrumentos harmónicos (i.e., o vibrafone e o piano) é explorada como forma de criar breves momentos de pausa na articulação contínua de todos os instrumentos, como acontece no solo de piano (compassos 25 a 28) e no solo de vibrafone (compassos 49 a 55), mantendo-se, não obstante, a articulação de todas as vozes.

A primeira parte da harmonia é baseada na que antes havia sido desenvolvida para a instalação *Sonoridades Líquidas* [2007], transpondo-a, por forma a aproveitar o registo grave da flauta alto e do clarinete em si bemol, e afinando todas as notas no temperamento igual. Mantém-se o harmónico 24 como nota principal, em articulação com o meio-tom abaixo, correspondente ao harmónio 23:

¹⁶ São também descritos ciclos com inícios comuns entre as duas primeiras camadas e entre estas e a quarta camada, dada a relação de duplicação do valor unitário, mas a sua frequência igual à da articulação da camada mais lenta de cada par torna-os comparativamente menos interessantes.

Mi₋₁ 25/4 15/2 8 10 12 14 17 19 20 (23 24) 27

É também mantida a progressão por oito micro-harmonias. No entanto, no final da oitava micro-harmonia é introduzida uma macro-harmonia nova, com uma arquitectura interna semelhante mas construída sobre a nota Fá₁:

Fá₋₁ 27/4 9 19/2 21/2 12 13 (18 20) 23 29 32 34

Esta nova macro-harmonia sobe assim meio tom em relação à anterior, o que se reflecte de forma particularmente audível pela subida de Si₂ para Dó₃, respectivamente o 12º harmónico da primeira e da segunda macro-harmonia. Este movimento ascendente é contrariado pela descida de um tom da nota principal (harmónico 20) e pela expansão da articulação desta com a nota abaixo para um tom (harmónico 18). A expansão do âmbito total da macro-harmonia contrasta ainda com a contracção do seu núcleo principal de notas face ao da macro-harmonia anterior (figura 6.9). A transição súbita para esta segunda macro-harmonia (compasso 42) dá início a um novo ciclo de 8 micro-harmonias, que irá por fim conduzir a uma nova mudança de macro-harmonia (compasso 71), desta feita construída sobre a nota Ré[#]₋₁:

Ré[#]₋₁ 9 21/2 12 13 17 18 (32 34)

Esta última macro-harmonia tem então apenas oito notas e é utilizada como base para quatro micro-harmonias que conduzem a peça ao seu término. A descida da fundamental da série de harmónicos é equilibrada pela subida da nota principal (harmónico 34), agora novamente articulada com uma nota de apoio à distância de meio-tom (harmónico 32).

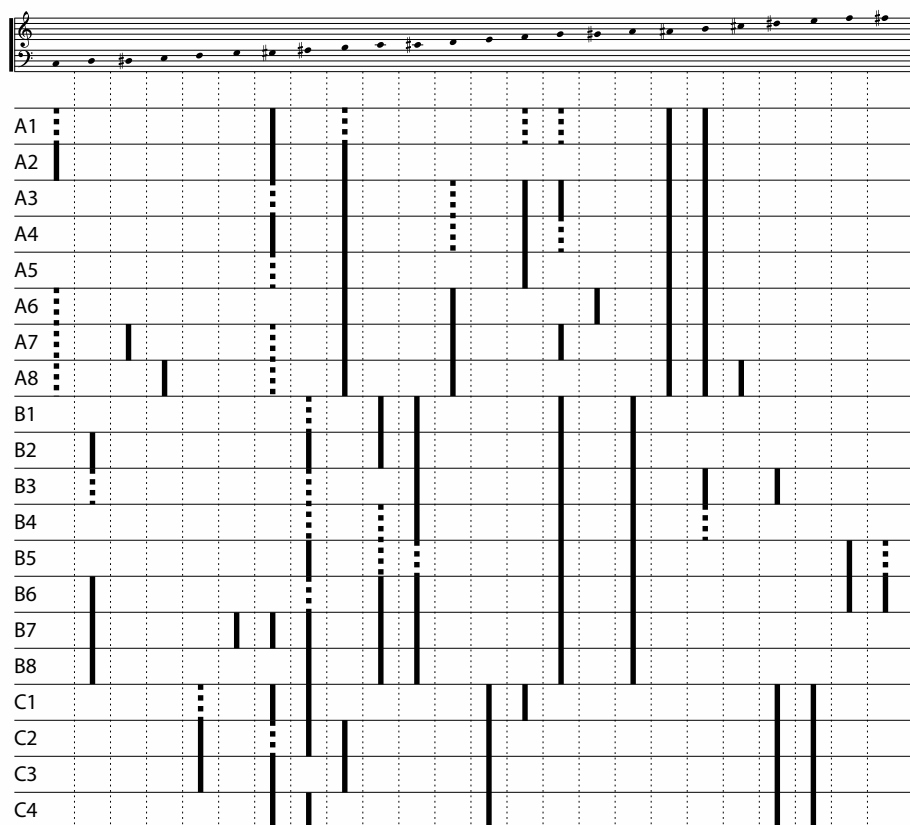


Figura 6.9. Progressão harmónica de 20 micro-harmonias, passando por três macro-harmonias (A, B e C). As linhas a cheio indicam as notas que fazem parte da estrutura de uma dada micro-harmonia, as linhas a tracejado indicam notas complementares.

A camada rítmica mais rápida articula sempre a nota principal de cada macro-harmonia e as restantes camadas são distribuídas em cada momento pelas restantes notas de cada micro-harmonia tendo em conta três factores: o equilíbrio da harmonia vertical nesse ponto, a nota anterior tocada pelo instrumento em questão e, quando aplicável, a nota tocada pelo instrumento anteriormente responsável pela veiculação da camada métrica em questão.

Para atenuar o contraste entre a fluidez da harmonia e a rigidez da estrutura métrica, o andamento da peça é mantido em movimentos de *accelerandi* e *ritardandi*, com a excepção de três breves momentos nos quais o andamento é estável (compassos 20 a 22, 47 a 49 e 56 a 58). Estas alterações de andamento são o resultado da atribuição de uma progressão de tensão e distensão ao material rítmico original (figura 6.10). Estes ciclos de tensão são sobrepostos em camadas correspondentes às camadas do contraponto, às quais se junta ainda uma quinta camada com a distribuição do ciclo de tensão e distensão pela duração integral da peça. Por fim, as camadas são combinadas numa progressão única de tensão e distensão, contribuindo cada uma com um peso relativo de $1/x$, sendo x igual ao número de repetições do ciclo contidas na camada. Esta estrutura é, por fim, simplificada, originando os *accelerandi* e *ritardandi* que se encontram na partitura.

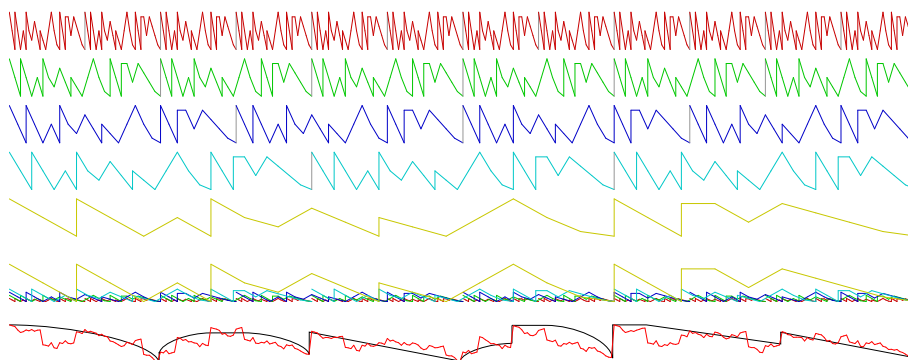


Figura 6.10. A sobreposição de cinco camadas de tensão em *obra com título longo** [2009]: de cima para baixo: a que completa doze ciclos, a vermelho; a que completa seis ciclos, a verde; a que completa quatro ciclos, a azul escuro; a que completa três ciclos, a azul claro; a que completa um ciclo, a amarelo; sobreposição das camadas com visualização dos pesos relativos; resultado final da soma das cinco camadas (a vermelho) e a simplificação na estrutura final de tensão e distensão da peça (a preto).

Para além dos momentos de disjunção harmónica (compassos 42 e 71), de alteração instantânea de andamento (compassos 15, 29, 47, 56 e 71) e da confluência das várias vozes num só instrumento para os solos de piano (compassos 25 a 28) e vibrafone (compassos 49 a 55), *obra com título longo** mantém-se numa homogeneidade que lhe é conferida pelo constante movimento entre vozes e pela articulação permanente dos quatro instrumentos. Como numa sala na qual várias pessoas falam em simultâneo, o ouvinte é convidado a concentrar a sua atenção num só instrumento ¹⁷, mas o caminhar das vozes entre instrumentos e, sobretudo, a passagem pelos timbres electroacústicos no centro do espaço concorrem entre si com o objectivo de captar e conduzir o processo de escuta do ouvinte.

6.3 eCaro [2011]

A performance de música electroacústica ao vivo tem vindo a ganhar relevância nos últimos anos, quer utilizando os computadores portáteis como meta-instrumentos — e.g., nas orquestras de *laptops* como a PLOrk (Trueman et al., 2006) e a SLOrk (G. Wang et al., 2009) —, quer utilizando novas interfaces para expressão musical — e.g., nos trabalhos apresentados anualmente na conferência NIME. Em ambos os casos, o papel de construtor do instrumento e de compositor fundem-se, dando não raras vezes origem a instrumentos profundamente idiomáticos (Cook, 2001). De particular relevância para a tradição da música electroacústica tem sido a vontade de tornar manipulável em tempo real a componente electroacústica (tradicionalmente cristalizada numa gravação) das obras para instrumentos acústicos e meios electroacústicos. Evita-se, deste modo, que o performer tenha de se sujeitar à sincronização unilateral

¹⁷ Num exercício próximo, portanto, do efeito *cocktail party*.

com uma parte pré-gravada e a interação entre componentes aproxima-se do que acontece na música de câmara.

O responsável pela componente técnica (papel não raras vezes desempenhado pelo próprio compositor) tem, contudo, tendência a manter-se na sombra, tal como acontece com o técnico de som responsável pelo reforço electroacústico nos concertos de música popular. É assim estabelecida uma fronteira entre a performance em palco e o controlo, tipicamente escondido ou mesmo invisível, sobre a componente técnica da execução. Esta fronteira não é reflexo de uma diferença de importância entre as componentes, antes colocando em evidência a falta de controlo que o intérprete no palco tem sobre uma das componentes da performance e a sua posição pouco privilegiada para a apreciação do resultado sonoro do conjunto, dado o carácter direccional dos altifalantes comumente utilizados.

Em *eCaro* [2011], uma improvisação estruturada para piano e electroacústica em tempo real realizada em colaboração com Paulo Maria Rodrigues, o principal objectivo foi o de integrar na figura do performer os papéis de compositor, construtor de instrumentos e técnico de som. Os performers são então responsáveis pelas várias fases da construção da peça, da concepção à execução. Tal como em *Rainforest IV* [1973], de David Tudor, transdutores de contacto são acoplados a objectos ressonantes para amplificação dos sons electroacústicos. Tal como em *Shadow Quartet* [2007], de Pedro Rebelo, estes transdutores de contacto são acoplados ao mesmo tipo de instrumento que é utilizado para a componente acústica. Em *eCaro*, no entanto, o instrumento acústico e a fonte de amplificação electroacústica são o mesmo instrumento — o piano de cauda —, aproveitando a sua dimensão para colocar quatro transdutores de contacto no tampo harmónico (figura 6.11) e todos os meios técnicos necessários à execução da peça dentro da caixa do instrumento. Todos os sons electrónicos são difundidos através deste sistema, adquirindo no processo características tímbricas e de relação com o espaço acústico próprias do piano. Para além da distorção tímbrica imposta pelo tampo harmónico, também as cordas ressoam por simpatia — tal como acontecia no difusor Palme, das Ondes Martenot, e num altifalante de *Dialogue de l'ombre double* [1985], de Pierre Boulez —, permitindo a utilização do pedal para alterar a morfologia dos sons electrónicos.

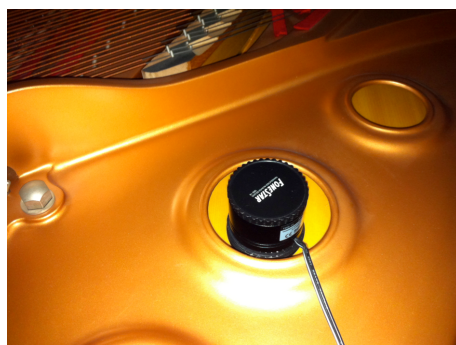


Figura 6.11. Transdutor FoneStar TDO-15 sobre o tampo harmónico do piano.

Um continuum ¹⁸ foi escolhido como principal fonte de sons electrónicos, dada a complementaridade da sua forma de execução relativamente ao piano. O continuum é uma interface para expressão musical em desenvolvimento desde a década de 1990. Tem uma superfície de tecido elástico sobre molas capaz de digitalizar com elevada precisão a posição dos dedos em três dimensões, providenciando um retorno táctil pela resistência da superfície. A versão utilizada em *eCaro* tem também um sintetizador incorporado, capaz de grande riqueza tímbrica, utilizando técnicas como, e.g., síntese por modelação física ou síntese granular. Se o piano está, na sua técnica de execução tradicional, limitado a uma afinação fixa e estável para cada nota tocada, o continuum permite qualquer afinação entre notas e a execução de vibratos ou *glissandi* contínuos depois dos ataques. Ao contrário do piano tocado com a técnica tradicional, a manipulação do timbre e do comportamento da envolvente é possível, no continuum, em qualquer momento da execução de uma nota ou morfologia sonora. A colocação do continuum sobre o piano permite a execução em simultâneo dos dois instrumentos (figura 6.12).



Figura 6.12. Continuum Fingerboard sobre o piano.

A estrutura formal da improvisação foi definida antes da performance, tendo em vista a construção de estratégias para a fusão entre o piano tocado com técnica tradicional e o continuum, incluindo ainda a utilização de recursos tímbricos adicionais (figura 6.13). A peça divide-se em três grandes secções: A, que se inicia de forma distante da técnica tradicional de piano, mas que acaba por se tornar a secção mais tradicional; B, que se inicia de forma mais próxima da técnica tradicional de piano, mas que acaba por se tornar a secção na qual o sistema electroacústico mais se evidencia; C, que cumpre a função de *coda* e liga a técnica tradicional ao continuum utilizando as técnicas estendidas como pivô. A duração das três grandes secções é decrescente e as fronteiras são definidas por pausas, uma longa entre as secções A e B e uma mais curta entre as secções B e C. Do ponto de vista do ouvinte, é assim possível que a forma se aproxime mais de uma tradicional forma binária AB, sendo, neste caso, a secção B finalizada por uma coda.

¹⁸ <http://www.hakenaudio.com/Continuum/>

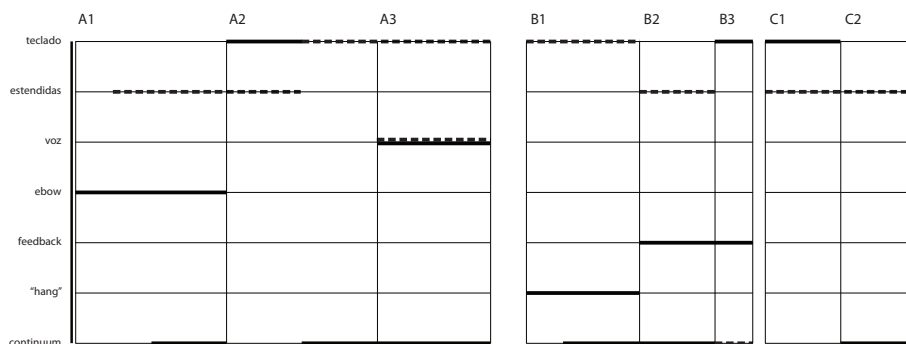


Figura 6.13. Estrutura formal de *eCaro* [2011]. Cada linha representa um instrumento, as linhas cheias indicam o primeiro performer e a tracejado o segundo performer.

Cada uma das grandes secções é ainda subdividida em secções internas: A e B dividem-se em três partes, que mimetizam a duração decrescente da estrutura completa, e C em duas partes. A secção A1 inicia-se com o som de cinco EBows ¹⁹ previamente colocados sobre as cordas do piano (figura 6.14), produzindo uma harmonia de sons próximos de oscilações puras (i.e., ondas sinusoidais). Esta harmonia surge lentamente após o levantamento de todos os abafadores pelo primeiro performer, utilizando o pedal da direita do piano, sendo posteriormente manipulada pelo controlo individual dos abafadores através das teclas do piano. São assim utilizadas técnicas tradicionais — o teclado e o pedal — para despoletar e controlar sons primordiais da síntese sonora com meios electrónicos.



Figura 6.14. EBows sobre as cordas do piano.

O segundo performer entra então em palco e introduz um sexto EBow sobre uma das cordas do piano (o que tem como consequência a revelação da origem dos sons ouvidos até então), manipulando-o por forma a produzir uma modulação de amplitude. Esta modulação contrasta com a quase estática morfologia anterior e abre caminho à introdução do continuum, com um timbre próximo do produzido pelos EBows mas com vibrato variável. O segundo performer utiliza então unhas postiças para beliscar as cordas do piano, produzindo acordes com envolventes mais próximas do som tradicional do piano (i.e., ataque rápido seguido de decaimento), apesar da relativa distância tímbrica. Os EBows são lentamente retirados até ao fim da secção A1, que termina com a introdução de *glissandi* pelo continuum. A secção A2 inicia-se com a

¹⁹ <http://www.ebow.com>

introdução da técnica tradicional do piano pelo primeiro performer, logo de seguida alterada pela articulação de harmónicos naturais das cordas do piano, e com a mimetização, pelo segundo performer, dos movimentos de *glissandi* utilizando técnicas estendidas sobre as cordas. Depois de uma transição para o registo grave, o timbre das técnicas estendidas sobre as cordas é transferido para o continuum, iniciando-se um momento de diálogo entre este e o piano, que acontece já com o segundo performer ao teclado. A secção A3 é dominada pelo som da voz, que surge primeiro através de uma gravação, depois pelo continuum e mais tarde pela articulação entre este, a voz de ambos os performers e o piano.

Após uma pausa, a secção B1 inicia-se com amostras de som de um *hang drum*²⁰ (disparadas a partir de um iPhone ligado aos transdutores de contacto) acompanhadas por harmonias consonantes tocadas ao teclado. O continuum é então utilizado para introduzir notas dissonantes face às harmonias do piano, tendo depois lugar um efeito de contágio harmónico. O que havia começado como um ambiente sonoro muito tradicional é então transformado numa articulação de sons não idiomáticos do piano e a secção B2 é dominada pelo som da retroalimentação provocada por um microfone de contacto no seu tampo harmónico. Através da manipulação de um filtro ressonante entre este microfone e os transdutores de contacto responsáveis pela sua amplificação, é possível controlar a afinação da retroalimentação, construindo melodias e arpejos pelos seus modos estáveis. A esta retroalimentação junta-se, no continuum, o som residual de uma síntese de instrumento de sopro e, como técnica estendida, a fricção das cordas do piano. A secção B3 encerra esta secção central com a integração progressiva dos sons agrestes da retroalimentação e do som residual do continuum em longos acordes consonantes tocados ao teclado.

A secção C1 inicia-se com um súbito ataque na região grave do piano, utilizando simultaneamente o teclado e técnicas estendidas. As técnicas estendidas servem, por fim, como elemento de ligação na passagem do teclado para o continuum, na secção C2, e para a finalização da improvisação. *eCaro* foi estreada na conferência *Performa'11 — Conference on Performance Studies*, em Aveiro, em Maio de 2011²¹ e repetida na Casa da Música, no Porto, no mês seguinte.

6.4 in many, many ears [2011]

in many, many ears [2011], para flauta de bisel amplificada, surge de uma encomenda do Atelier de Composição e é dedicada ao flautista António Carrilho, responsável pela sua estreia no Teatro da Vilarinha, no Porto, e na Universidad de Salamanca, em Junho de 2011²². A peça explora a especialização gestual na sua vertente performativa, tal como acontecia com o *pupitre d'espace*. Em *in many, many ears*, no

²⁰ <http://www.hang-music.com/hang.php>

²¹ Performance de estreia, que deu origem à gravação presente no apêndice digital.

²² Performance cuja gravação se encontra no apêndice digital.

entanto, não existem sons pré-gravados e os movimentos do intérprete no palco produzem simultaneamente o som e a sua espacialização. A construção dos gestos musicais foi assim condicionada pela sua componente espacial e, não obstante o facto de se tratar de uma peça para flauta de bisel, a sua espectromorfologia reflecte a linguagem da música acusmática e não a linguagem idiomática tradicional do instrumento.

O sistema utilizado para amplificação da flauta de bisel parte da colocação de microfones binaurais (figura 6.15) no interior do pavilhão auditivo do próprio intérprete. Como referido anteriormente, a captação binaural utiliza a cabeça humana como obstáculo entre os dois microfones, permitindo assim a captação das diferenças interaurais e pistas monaurais para a reprodução com auscultadores.



Figura 6.15. Microfones binaurais Soundman OKM II Studio.

Em *in many, many ears*, no entanto, esta captação binaural é difundida através de um par de altifalantes colocado nos extremos do palco (figura 6.16), anulando assim a possibilidade de correcta recepção do desfasamento interaural pelos ouvintes, em consequência do inevitável *cross-talk*. As diferenças de intensidade interaurais na zona aguda do espectro são captadas e difundidas como diferenças de intensidade entre os canais estereofónicos. As diferenças de tempo interaural dos transientes também se traduzem na difusão, o que, mesmo sem uma correspondência ao que aconteceria num espaço acústico real, pode provocar um efeito de precedência na percepção e assim potenciar a segregação espacial dos transientes. Dependendo das características acústicas do espaço da performance, pode ainda ser adicionada reverberação estereofónica artificial ao som captado.

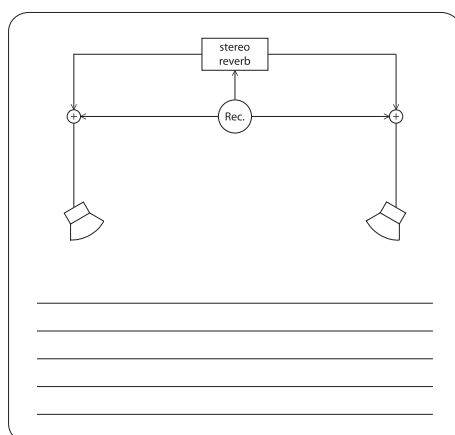


Figura 6.16. Disposição em palco e circuito de amplificação de *in many, many ears* [2011].

Tal como acontecia em *Bird and Person Dying* [1975], de Alvin Lucier, o que o público ouve durante a performance de *in many, many ears* é uma consequência da perspectiva do performer. Ao contrário da obra de Lucier, no entanto, o resultado desta perspectiva é, neste caso, a concretização de uma espacialização gestual baseada na utilização da flauta de bisel como deflector do fluxo de ar e como ressoador. Em nenhum momento da peça a flauta de bisel é utilizada do seu modo convencional, o que conduziu à necessidade de criação de uma notação não convencional para sua partitura. Para além das técnicas estendidas da flauta de bisel, são também utilizados elementos externos como o som da respiração, a voz, a articulação de consoantes e o assobio. Sobre a única linha da partitura é desenhado o contorno do sopro ou a percussão dos orifícios, ambos elementos que se reflectem directamente na morfologia do gesto musical. Acima desta linha, são colocados símbolos que especificam a posição da flauta e a direcção do sopro (figura 6.17), elementos que afectam sobretudo a percepção da posição e do movimento do gesto espacial.



Figura 6.17. Notação de gesto espacial e musical, em *in many, many ears* [2011], que utiliza a posição do bico da flauta de bisel para direccionar o fluxo de ar expelido pelo instrumentista para os microfones.

Abaixo da linha de cada pauta são colocadas as dedilhações e, quando aplicável, a direcção do sopro para os orifícios (figura 6.18), elementos que ajudam a definir o comportamento espectral ao longo da morfologia definida pelo sopro (i.e., o gesto musical), bem como a sua direcção face aos microfones (i.e., o gesto espacial).

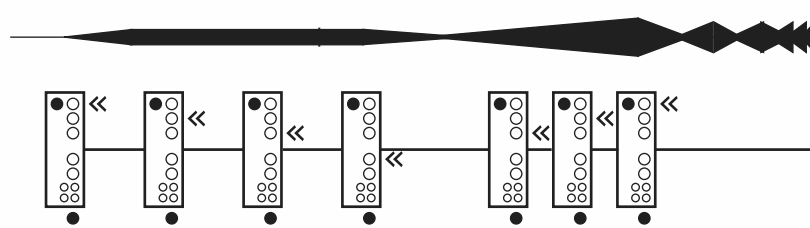


Figura 6.18. Notação de gesto espacial e musical, em *in many, many ears* [2011], que utiliza os orifícios da flauta de bisel como orifícios para entrada de ar.

Para o processo de composição da peça foi adoptado o processo da música acusmática. Um sistema idêntico ao utilizado na performance, mas com gravação em lugar da difusão, foi utilizado para gravar vários sons produzidos com a flauta de bisel. Estes sons foram depois isolados, escutados e escolhidos quais os que seriam utilizados como elementos base para a composição. A combinação de sons em gestos musicais mais complexos foi feita tendo em conta a sua exequibilidade com o sistema original, quebrando por isso o processo acusmático, sendo por fim concretizada a sua notação em partitura.

O resultado é uma peça que não é acusmática, já que a fonte sonora não só está visível em palco, como a identificação da relação entre os gestos físicos do performer e os consequentes gestos musicais e espaciais se torna em si mesma um elemento relevante para a apreciação da peça. Também não se trata, por outro lado, de uma peça puramente instrumental, já que o elemento electroacústico é tão essencial à performance quanto o instrumento tradicional. Poderia ser enquadrada como uma peça de electroacústica ao vivo, já que a flauta de bisel é integrada no sistema electroacústico, situação em que o ênfase seria colocado nos meios de captação e difusão. Contudo, a sua interpretação por um flautista no contexto de um concerto com outras obras para flauta de bisel faz com que o elemento central se torne o gesto do performer. Foi neste sentido que se procurou, na estreia da obra, esconder os meios electroacústicos, em particular os microfones binaurais. Sendo a amplificação ténue, sobretudo no caso dos espaços pequenos, já que é limitada pela retroalimentação, a sua função torna-se assim a de projectar e expandir o gesto físico do performer no espaço, transformando-o num gesto espacial de modo análogo ao que acontecia na performance com o *pupitre d'espace*.

6.5 auditorium [2012]

Em *in many, many ears* [2011] o objectivo era o de dar aos ouvintes a perspectiva auditiva do performer. No entanto, todos os gestos espaciais foram definidos previamente numa fase de composição dominada pelo processo da música acusmática, pelo que a perspectiva do performer é inevitavelmente condicionada à execução da perspectiva do compositor. Isto contrasta com o que acontecia em *Bird and Person Dying* [1975], de Alvin Lucier, obra na qual o intérprete é livre para fazer escolhas sonoras dentro da execução do processo, única condicionante definida pelo compositor.

auditorium [2012], escrita para o percussionista Nuno Aroso, retoma a espacialização gestual através da captação binaural, mas está mais próxima de uma improvisação estruturada, como *eCaro* [2011], do que de uma composição totalmente cristalizada, como *in many, many ears* [2011]. Deste modo, a peculiar escuta de cada intérprete é revelada pelas opções que toma no decorrer da estrutura definida pela partitura, utilizando como material sonoro pequenos objectos do quotidiano: uma moeda, uma escova, um par de berlindes e taças metálicas de vários tamanhos. A estas taças ²³ foram adicionadas pegas de cortiça, para facilitar o manuseamento, e em duas das mais pequenas foram ainda pendurados pequenos badalos, de modo a transformá-las em sinos.

auditorium é também um estudo sobre a espacialização cinemática. Como visto anteriormente, é comum o trabalho sobre a espacialização cinemática acontecer em diferido face à composição sonora. Na performance desta peça, essa característica reflecte-se na separação entre os momentos de gravação da

²³ Facilmente reconhecíveis como utensílios de cozinha da loja de mobiliário IKEA.

especialização gestual (i.e., a morfologia primária) e momentos de difusão dessas gravações com espacialização cinemática (i.e., a morfologia secundária, imposta à primeira). A performance inicia-se com o intérprete sentado sobre um palco preto, com os instrumentos dispostos em torno de si (figura 6.19) ²⁴. Ao levantar uma das taças, é iniciado o processo de gravação dos dois minutos da primeira secção da partitura. Durante esta gravação, o público vê todo o processo mas, dada a fraca intensidade dos sons produzidos, não ouve o resultado dos gestos. Quando a taça é de novo colocada na posição inicial, arranca a reprodução do que foi anteriormente gravado, em torno do público, com espacialização cinemática pré-programada e imposta à espacialização gestual do intérprete, tal como acontecia em *Watershed IV* [1995], de Roger Reynolds. Durante esta reprodução o intérprete mantém-se imóvel.



Figura 6.19. Performance de *auditorium* [2012].

Finda a reprodução da primeira secção, o processo repete-se para gravação de uma segunda secção. Os sons utilizados nesta são ligeiramente mais intensos e o público será assim capaz de antecipar alguns dos resultados sonoros que ouvirá no passo seguinte do processo. No entanto, à reprodução da segunda secção junta-se uma nova reprodução da primeira e ainda de alguns sons pré-gravados, cuja reprodução é desencadeada pela identificação de pontos chave no fluxo espectral do áudio gravado em ambas as secções. Assim, procura-se potenciar a emergência de um processo de escuta reduzida pela repetição dos sons gravados sem um estímulo visual simultâneo e pela tentativa de frustração da vontade de identificação da origem dos sons na reprodução.

A terceira secção é a única que é gravada e ouvida pelo público em simultâneo. Nesta, o áudio captado pelos microfones binaurais é enviado para os altifalantes mais próximos do performer, num volume que é aumentado de forma progressiva até ao limiar da retroalimentação. Para controlar esta retroalimentação, o performer coloca um par de taças sobre os ouvidos. Consoante a posição do corpo no espaço e a forma de colocação de cada taça junto do ouvido, a retroalimentação surge numa frequência diferente. Afastando a taça do ouvido, a retroalimentação desaparece lentamente. O movimento da taça pode ainda ser utilizado para manipular em tempo real a morfologia da retroalimentação. A quarta secção retoma o processo inicial e é, por fim, revelada a forma final da peça com a reprodução das quatro secções sobrepostas.

²⁴ Tanto a figura 6.19 como a gravação no apêndice digital se referem a uma ante-estreia da obra, anterior à definição da sua forma final, apresentada neste subcapítulo.

O controlo do *software*, que corre num computador escondido do público, é feito através de uma fotoresistência (i.e., uma resistência variável em função da incidência de luz) embutida numa das bases de cortiça que suportam as taças de dimensão média. Esta fotoresistência está ligada a uma pequena caixa de madeira que contém a placa Arduino responsável pela digitalização da resistência variável (figura 6.20) e pelo envio desta informação sem fios, através de um módulo XBee ²⁵, para o computador. O *software* de *auditorium* utiliza então a informação da fotoresistência para detectar se a taça está pousada ou levantada e assim desencadear o processo próprio de cada secção da peça.

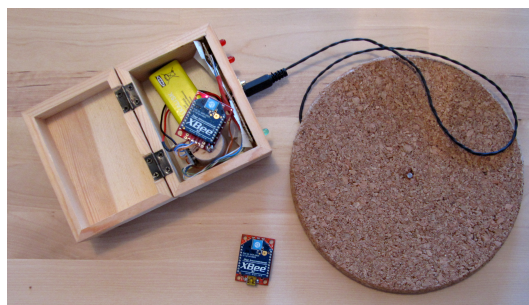


Figura 6.20. Controlador sem fios de *auditorium* [2012].

Três luzes embutidas na face da caixa de madeira virada para o performer dão-lhe o retorno de informação do computador: a intermitência da luz verde confirma o correcto funcionamento de todo o sistema e o par de luzes vermelhas utiliza um código escrito na partitura para veicular a passagem do tempo na gravação de cada secção. O performer pode, deste modo, sincronizar os momentos chave das quatro secções, com ênfase no ponto central, ao fim do primeiro minuto. O controlador e a taça são dispostos no palco de modo a que a sua presença seja integrada no conjunto de instrumentos (figura 6.21), evitando que o público perceba de imediato a presença de elementos digitais. Do mesmo modo, os microfones binaurais são colocados de forma discreta, e.g., passando o cabo pelo interior da roupa, pela parte anterior do pescoço e, se possível, escondendo-o no cabelo do performer.

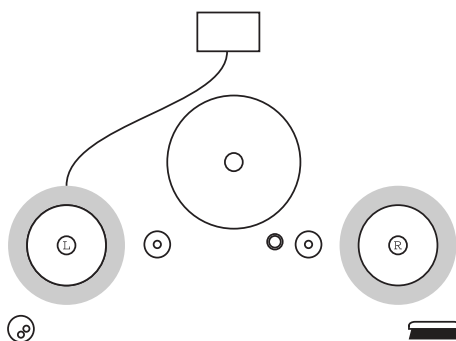


Figura 6.21. Disposição do controlador e dos instrumentos em *auditorium* [2012].

²⁵ <http://www.digi.com/xbee/>

Apesar dos instrumentos utilizados em *auditorium* serem comuns e facilmente replicáveis, os gestos musicais pré-gravados e os filtros que controlam a retroalimentação na terceira secção foram afinados pelos principais modos de vibração das taças, pelo que a construção de um novo conjunto obrigaria a um novo processo de afinação. A preparação técnica da secção três é particularmente delicada, dada a natural idiossincrasia do processo de retroalimentação de cada espaço de performance e configuração de altifalantes. Para facilitar o processo, e também como forma de permitir a preparação de toda a peça sem intervenção de um técnico de som, foi concebida uma interface de controlo para a aplicação Control, disponível para iOS e Android, que possibilita o controlo sem fios sobre os principais parâmetros do *software* de *auditorium* ²⁶. Para a interpretação de *auditorium*, o intérprete recebe uma pequena mala com todos os instrumentos e meios técnicos necessários. *auditorium* foi já interpretada por vários performers, para além da estreia pelo seu dedicatário em Agolada, na Galiza, em Agosto de 2012.



Figura 6.22. Instrumentos e materiais utilizados em *auditorium* [2012].

6.6 pendulum [2012]

pendulum [2012], para flauta, clarinete baixo, piano, violino, violoncelo, vídeo e electrónica em tempo real, é um estudo sobre espacialização dinâmica. Nesta obra, modelos físicos simulados em ambiente digital são utilizados para gerar tanto gestos espaciais como gestos musicais, sendo representados durante a performance através de um vídeo controlado em tempo real pelo pianista. Estes modelos incluem pêndulos simples, pêndulos de ondas, sistemas gravitacionais com vários corpos e sistemas elásticos. Estão, como referido, na origem de parte significativa das interfaces para espacialização dinâmica do spatium.

Foi decidido, logo no início da concepção da obra, que um vídeo representando os modelos físicos seria projectado durante a performance, procurando assim beneficiar a percepção da espacialização sonora pela

²⁶ Quer o *software* para execução da peça, quer a interface de controlo encontram-se no apêndice digital.

associação à sua representação visual. Por motivos de ordem prática, relacionados tanto com a disposição da sala na qual teve lugar a estreia como com a necessidade de utilizar a mesma configuração dos altifalantes para as várias peças programadas para o concerto, algumas limitações foram impostas à partida: o piano ficaria no palco; a projecção de vídeo seria feita num plano vertical sobre o piano; a configuração de altifalantes seria horizontal e disposta de forma regular em torno do público. Estas limitações conduziram a uma contradição entre o plano vertical da representação visual o plano horizontal da difusão sonora. Foi assim decidido que: o vídeo se relacionaria primordialmente com o piano, dada a proximidade física entre ambos; a peça seria dividida em secções pela exploração ora de movimentos de um lado para o outro da sala (i.e., seguindo a projecção de vídeo), ora de movimentos circulares em torno do público (i.e., seguindo a difusão sonora); os restantes instrumentos seriam dispostos em ambos os lados do público (figura 6.23), por forma a permitir a espacialização quer de movimentos laterais (entre flauta e violoncelo, do lado esquerdo, e violino e clarinete baixo, do lado direito), quer de movimentos circulares (completando a parte traseira da sala de concertos, não visível pelo público, apenas com a componente electroacústica).

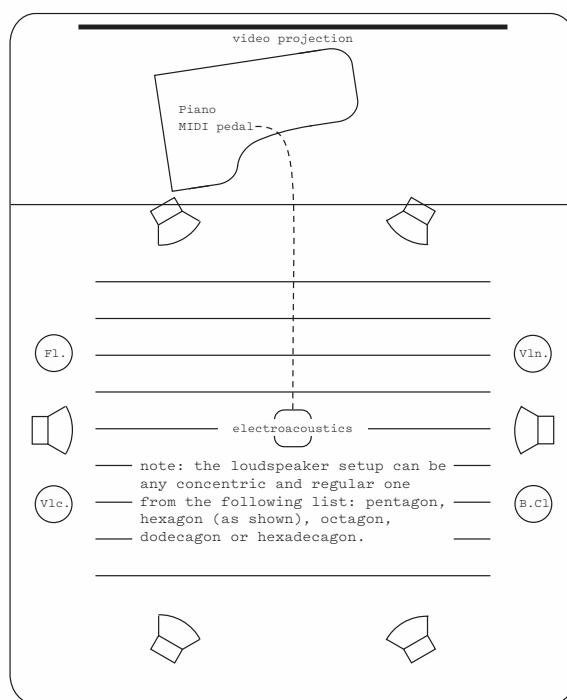


Figura 6.23. Disposição dos instrumentos e dos altifalantes em *pendulum* [2012].

pendulum tem uma tradicional forma ternária ABA', seguida de uma pequena coda. A divisão entre as secções é marcada pela já referida alteração de plano dos movimentos e pelos diferentes modelos físicos utilizados na concepção dos seus gestos espaciais e musicais. A concepção dos modelos físicos e a definição da sua sequência na estrutura formal da peça antecedeu a sua definição musical. Apesar deste facto, esteve presente em todo o processo a consciência de que o objectivo era a construção de uma peça musical, pelo que as decisões tomadas reflectem uma inevitável antevisão do conseqüente resultado sonoro. Nas secções

A e A' (respectivamente, os compassos 1 a 37 e 100 a 129) os movimentos fazem-se de um lado para o outro da sala (i.e., aproximadamente no plano coronal, para o ouvinte no *sweet spot*), sendo o pivô dos pêndulos representado na parte superior do vídeo (figura 6.24). Na secção B (compassos 38 a 99), os movimentos fazem-se no plano transversal, sendo o pivô dos pêndulos representado no centro do vídeo (figura 6.25). Na coda (compassos 130 a 143), o pivô oscila entre as duas posições anteriores. As passagens entre secções são marcadas pela transição, lenta e em silêncio, da posição do pivô representado no vídeo. A excepção é a passagem para a coda, que é marcada pela introdução do atrito na simulação dos modelos físicos.

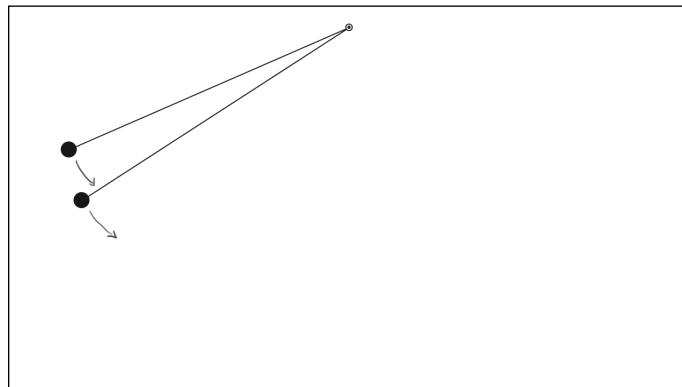


Figura 6.24. Fotograma de *pendulum* [2012], mostrando dois pêndulos a oscilar para a direita.

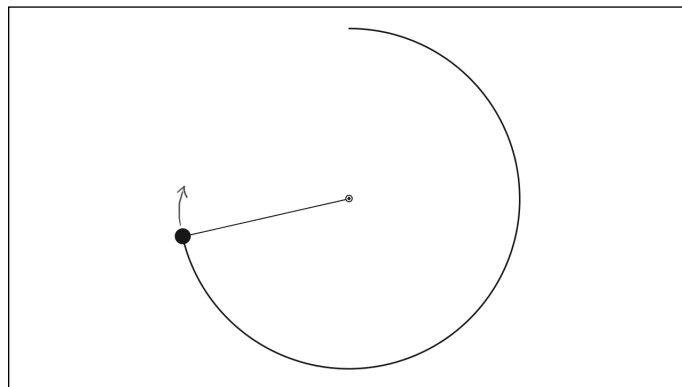


Figura 6.25. Fotograma de *pendulum* [2012], mostrando um pêndulo a definir uma circunferência com a sua oscilação.

Nas secções A e A' são utilizados exclusivamente modelos de pêndulos simples e pêndulos de ondas sem atrito. Com apenas com uma força a actuar sobre os corpos — a gravidade “da Terra”, atracção exercida por um corpo que, não sendo representado, é imaginado abaixo da margem inferior do vídeo —, nenhum movimento representado é auto-extinguível e necessita, como tal, de uma intervenção externa para a sua finalização. O piano, colocado debaixo da projecção, logo mais próximo “da Terra”, desempenha tanto o

papel de gerador como o de extintor dos pêndulos representados. O elemento central das secções A e A' é uma simulação de um sistema de pêndulo de ondas (compassos 18 a 37 e 106 a 128), no qual 15 pêndulos com diferentes comprimentos descrevem uma coreografia complexa num ciclo de um minuto, mínimo múltiplo comum dos períodos de todos os pêndulos. No decorrer deste ciclo em espelho (já que os movimentos descritos nos primeiros 30 segundos são depois repetidos em sentido inverso) emergem pontualmente na percepção do espectador agrupamentos consequentes à posição momentânea dos pêndulos. No sentido de potenciar essa percepção, foram adicionadas linhas que conectam os pêndulos contíguos (i.e., um dado pêndulo com o imediatamente mais comprido e com o imediatamente mais curto) (figura 6.26). Na re-exposição deste material, não só estas linhas, como também as linhas dos próprios pêndulos desaparecem, com a excepção da linha do pêndulo mais comprido. Estas opções reforçam a percepção de que, não obstante a sua origem em modelos físicos, se trata de um exercício estético que não busca outra verosimilhança com o mundo real que não a do comportamento espacial dos modelos físicos utilizados.

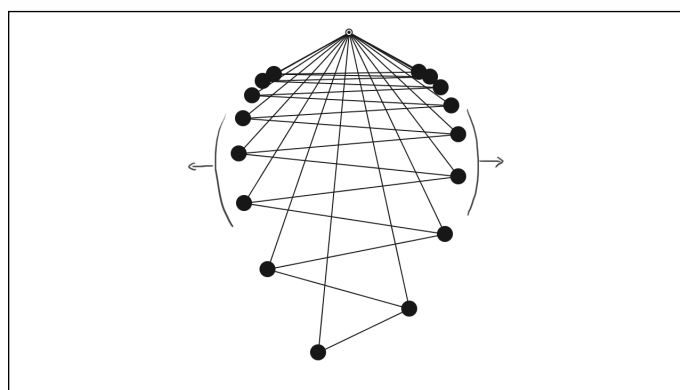


Figura 6.26. Fotograma de *pendulum* [2012], mostrando as linhas que conectam os pêndulos contíguos a descrever um movimento ascendente.

A secção B inicia-se com a descida do pivô para a posição central e com a definição de um espaço circular delimitado pelo movimento do pêndulo (figura 6.25). Dado que se inicia numa posição muito próxima da vertical, este movimento pendular começa e termina o seu ciclo quase parando na posição superior. Apesar do menor comprimento na representação, a simulação é a de um pêndulo substancialmente mais comprido do que os simulados nas secções A e A', o que resulta em períodos mais longos. O corpo responsável pela principal atracção gravítica mantém-se sob a margem inferior da representação do vídeo, mas a sua representação no espaço sonoro é, desta feita, colocada no fundo da sala (i.e., atrás do público). É nesta secção que são introduzidos os sistemas gravíticos com muitos corpos e na qual surgem pela primeira vez múltiplas forças, pelo que alguns movimentos são finalmente capazes de se auto-extinguir ou de se diluir pelo efeito de forças mais intensas. Os movimentos dos corpos são circunscritos ao espaço circular definido pelo pêndulo e surgem sempre numa relação com este: primeiro, os corpos são gerados por notas do piano,

caindo desde a posição do pêndulo principal; depois, deixam de ser estar sujeitos à atracção gravítica “da Terra” e passam a ser atraídos pelo pêndulo principal, seguindo assim o seu movimento (figura 6.27); por fim, acordes do piano provocam explosões que lançam os corpos no espaço, sendo este movimento contrariado pela atracção do pêndulo principal.

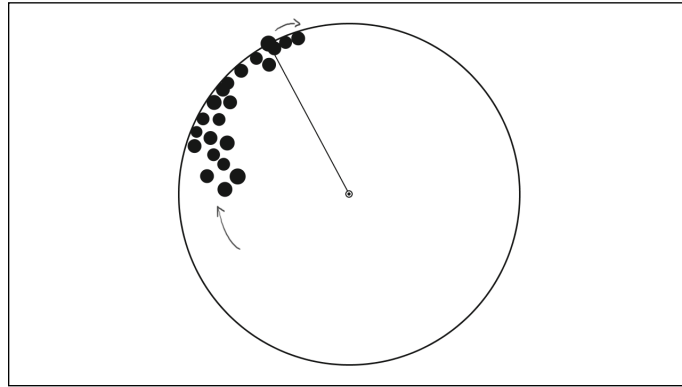


Figura 6.27. Fotograma de *pendulum* [2012], mostrando a atracção dos corpos pelo pêndulo.

Com um aumento da aceleração da gravidade “da Terra”, o pêndulo principal (nesta fase, o único afectado por esta força) acelera, vence a posição superior e inicia um movimento circular que concentra os corpos no centro do espaço, em consequência da atracção que sobre eles exerce (figura 6.28).

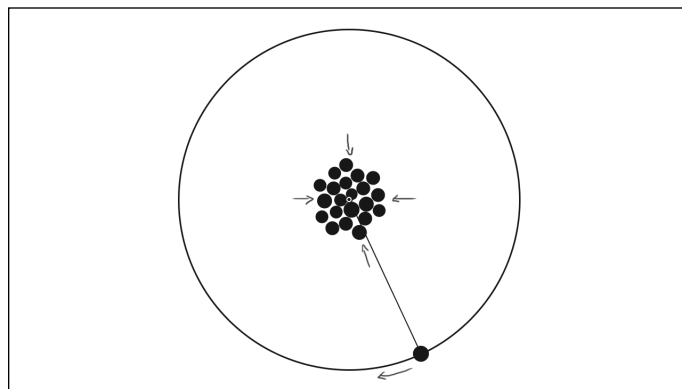


Figura 6.28. Fotograma de *pendulum* [2012], mostrando a concentração dos corpos no centro pelo movimento rápido do pêndulo que os atrai.

Como o vídeo é representado através de 50 fotogramas por segundo, torna-se então visível um efeito estroboscópico que faz com que o pêndulo principal seja representado não apenas uma, mas sim várias vezes na imagem, aparentando rodar lentamente em sentido contrário ao movimento real. Dado que a interação entre as simulações acontece com a mesma frequência de amostragem do vídeo, é também afectada pelo efeito estroboscópico, o que leva a que, nos momentos em que é visível apenas um pêndulo

em movimento lento, os corpos no centro do espaço se movam ligeiramente na sua direcção. A secção B termina com uma rápida dispersão dos corpos para além da circunferência que os delimitava.

Na coda, a introdução do atrito faz com que exista pela primeira vez a aplicação simultânea de forças em conflito, tornando auto-extinguível o movimento do pêndulo que faz a transição. A coda inicia-se com um pêndulo na posição das secções A e A' e termina com um pêndulo na posição da secção B. Entre estes, são apresentados os sistemas elásticos, material que é exclusivo da coda.

Só depois de terminada a forma e materializada a sequência de modelos físicos foi então iniciado o trabalho sonoro. Ao piano coube o papel de disparar, através de um pedal MIDI, os eventos dos modelos físicos, pelo que o ritmo de grande parte das suas notas é uma consequência directa desta necessidade. O objectivo inicial era o de não haver uma partitura convencional, por forma a que os intérpretes dos restantes instrumentos pudessem conhecer de antemão o processo e seguir o vídeo como uma partitura dinâmica. Foi, por essa razão, criada uma harmonia muito simples que se mantém ao longo de toda a peça. Esta harmonia parte da análise espectral de uma gravação da nota mais grave do violoncelo (D₀₁) e da mesma nota gravada pelo clarinete baixo (que, não sendo a nota mais grave nos modelos comuns do clarinete baixo, se encontra no extremo grave do seu registo). Como expectável, no caso do clarinete a energia concentra-se nos harmónicos ímpares. Foi então coligida uma lista com os parciais mais fortes das duas análises espectrais, utilizada como base harmónica da peça. Estes parciais foram arredondados para o meio tom do temperamento igual mais próximo, por forma a permitir a sua execução pelo piano, e transpostos uma oitava abaixo, de modo a melhor aproveitar os registos graves do violoncelo e do clarinete baixo. Esta harmonia final (figura 6.29) foi então segregada em três conjuntos de parciais: os que estão presentes de forma idêntica em ambas as análises espectrais (1, 3, 5, 9, 11, 13, 16, 17, 21 e 23), utilizáveis por todos os instrumentos; os que predominam ou existem apenas na análise espectral do violoncelo (2, 4, 6, 7, 8, 10 e 12), utilizáveis apenas pelos instrumentos do lado esquerdo da sala (i.e., a flauta e o violoncelo); os que predominam ou existem apenas na análise espectral do clarinete baixo (14, 15, 19, 25, 27 e 29), utilizáveis apenas pelos instrumentos do lado direito da sala (i.e., o violino e o clarinete baixo). São, desta forma, criadas duas zonas tímbricas distintas no espaço, funcionando como ressonâncias dentro da mesma harmonia geral.

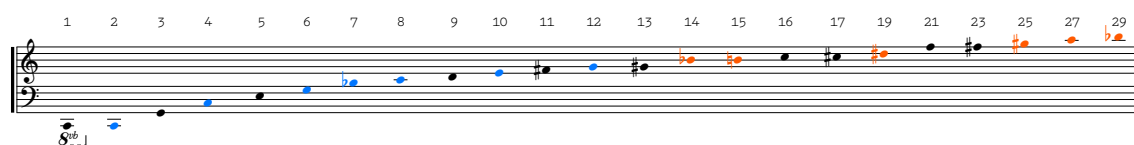


Figura 6.29. Macro-harmonia de *pendulum* [2012]: a preto as notas gerais; a azul as notas atribuídas apenas à flauta e ao violoncelo; a laranja as notas atribuídas apenas ao violino e ao clarinete baixo.

Nos primeiros momentos das secções A, B e A', os movimentos dos pêndulos gerados pelo piano controlam simplesmente a envolvente de amplitude dos restantes sons, quer os tocados pelos instrumentos, quer os difundidos pelos meios electroacústicos. Dada a imobilidade dos instrumentos acústicos, a escrita destes movimentos é feita na partitura pela dissolução da intensidade dos instrumentos do lado esquerdo para os instrumentos do lado direito e vice-versa. Esta solução é análoga à utilizada para simulação de movimento no espaço na música instrumental, como, e.g., em *Terretektorh* [1965-1966], de Iannis Xenakis (Santana, 1998). À transição espacial é também inerente uma transição tímbrica consequente quer aos diferentes instrumentos, quer à forma de distribuição da harmonia (e.g., compassos 1 a 17).

Nos pêndulos de ondas das secções A e A', os instrumentos tocam gestos musicais que procuram traduzir as formas que parecem emergir na representação visual do movimento, enquanto a articulação alternada de um Dó₁ pelo violoncelo e pelo clarinete baixo (e.g., compassos 23 e 24) marca o tempo definido pelo pêndulo mais longo. O ponto de simetria destes ciclos é preparado por movimentos melódicos ascendentes e seguido de movimentos melódicos descendentes, que mimetizam assim o movimento aparente das linhas que unem os pêndulos contíguos. Na segunda aparição deste material, na secção A', algumas coincidências de vários pêndulos alinhados conduzem ao congelar momentâneo do movimento dos pêndulos e, como tal, ao congelar do movimento musical (compassos 120 e 123), reiniciado logo de seguida por uma sequência de acordes do piano. A relativa complexidade de escrita destes momentos conduziu, por fim, à necessidade prática do recurso quer a uma partitura convencional, quer a um maestro para coordenação dos instrumentistas.

Na secção B, a libertação de corpos que atravessam o espaço acústico define a espacialização de sons gerados a partir de síntese granular, à qual são aplicados filtros ressonantes. Estes são afinados pela nota do piano que originou o corpo em questão. A articulação reiterada de transientes na síntese granular escolhida ajuda à percepção do movimento pelo interior do espaço acústico e ao reconhecimento da diferente interação com a reverberação artificial ao longo deste percurso. A síntese granular é também utilizada com as explosões destes corpos no espaço, mas desta feita com um *ritardando* na periodicidade dos grânulos, para melhor veicular a perda da energia após a explosão. Na última explosão, pelo contrário, há um *acelerando* da periodicidade dos grânulos, fazendo a transição para as notas rápidas e em pianíssimo que se seguem na parte instrumental. Esta articulação acompanha o efeito estroboscópico através do destaque pontual de vozes com diferentes subdivisões do tempo em simultâneo com a aparição da ilusão de múltiplos pêndulos em rotação lenta (e.g., compassos 93 a 96).

Na coda é também utilizada a síntese granular, incluindo a sua simulação instrumental (compassos 130 e 132), mas desta feita em perturbações que rapidamente se extinguem, como os movimentos elásticos que traduzem. Sons reminescentes da respiração são também introduzidos com a representação do movimento

que estica o elástico da simulação, veiculando o papel do atrito na criação da tensão que será depois expelida e dissipada.

pendulum foi estreada no Goethe-Institut Portugal, em Lisboa, em Outubro de 2012 ²⁷ pelo Sond'Ar-te Electric Ensemble ²⁸, dirigido pelo maestro Guillaume Bourgogne e constituído pela flautista Sílvia Cancela, pelo clarinetista Luís Gomes, pela pianista Joana Gama, pela violinista Suzanna Lidegran e pelo violoncelista Nelson Ferreira. O apoio técnico foi realizado por José Grossinho e Miguel Azguime. A gravação da estreia foi editada como parte do CD *Portuguese Chamber Works of the XXI*, editado em 2014 pela Miso Records, que inclui também obras dos compositores Miguel Azguime, Tiago Cutileiro, António de Sousa Dias, Bruno Gabirro, Cândido Lima, Ângela Lopes, Ricardo Ribeiro, António Chagas Rosa e Luís Tinoco.

²⁷ Performance de estreia, que deu origem à gravação presente no apêndice digital.

²⁸ <http://sondarte.com>

7. Conclusão

Aux yeux de ces amateurs d'inquiétude et de perfection, un ouvrage n'est jamais achevé, mot qui pour eux n'a aucun sens, mais abandonné; et ce abandon, que le livre aux flammes ou au public (et qu'il soit l'effet de la lassitude ou de l'obligation de livrer), leur est une sorte d'accident, comparable à la rupture d'une réflexion, que la fatigue, le fâcheux, ou quelque sensation viennent rendre nulle part.

Paul Valéry ¹

7.1 Sumário

No âmbito deste trabalho foi feito o levantamento de fontes relativas às perspectivas composicionais sobre a espacialização na música electroacústica. Este levantamento informou a proposta de uma taxonomia da espacialização na música electroacústica, com a qual se procurou colocar em evidência o pensamento conducente à definição do gesto espacial nas diferentes abordagens, bem como a consequente relação entre o gesto espacial e o gesto musical. Esta taxonomia classifica as abordagens à espacialização em quatro tipos:

- espacialização estática: colocação significativa de sons no espaço sem gesto espacial;
- espacialização gestual: colocação de sons no espaço utilizando gestos espaciais concebidos para enfatizar, ornamentar ou pôr em evidência a morfologia dos gestos musicais;
- espacialização cinemática: colocação de sons no espaço utilizando gestos espaciais que articulam os gestos musicais, sendo gerados a partir da geometria do seu movimento;
- espacialização dinâmica: colocação de sons no espaço utilizando gestos espaciais que articulam os gestos musicais, sendo gerados a partir de modelos físicos das forças que afectam o seu movimento;

¹ (Valéry, 1957, p. 1497)

A espacialização estática e a espacialização cinemática partem das definições de estereofonia estática e estereofonia cinemática propostas por Iannis Xenakis (1996), que, por sua vez, remetem para as definições de relevo estático e relevo cinemático propostas por Pierre Schaeffer (Poullin, 1999). A espacialização gestual parte da relação entre a espaçomorfologia e a espectromorfologia, definidas por Denis Smalley (1997). Destaca-se assim a conceptualização da espacialização dinâmica como uma contribuição deste trabalho. A utilização, pelos compositores, da imagética da dinâmica para descrever movimentos acelerados e a identificação destes como responsáveis pela transmissão ao movimento de uma maior sensação de intencionalidade (i.e., do potencial de identificação enquanto gesto) (Wishart, 1996), bem como a hipótese de que a nossa percepção do movimento é condicionada pela representação mental de uma física intuitiva, tornam a espacialização dinâmica particularmente interessante para a geração de gestos espaciais.

Esta taxonomia, em si mesma uma contribuição deste trabalho, permite uma análise retrospectiva da abordagem à espacialização nas obras históricas apresentadas e determina as abordagens à espacialização das obras compostas no âmbito deste trabalho.

O levantamento das fontes relacionadas com as técnicas de espacialização permitiu a identificação das suas características mais relevantes para a espacialização na música electroacústica. Os sistemas baseados em *Ambisonics* são particularmente interessantes sob o ponto de vista da disseminação das obras, dada a flexibilidade trazida pela separação dos momentos de codificação e decodificação dos campos sonoros. O HOA permite uma maior definição espacial, mantendo a retrocompatibilidade com sistemas de baixa resolução espacial. A colocação de fontes sonoras virtuais no interior do espaço definido pelos altifalantes utilizando expansões das técnicas baseadas em HOA pressupunha, contudo, o conhecimento prévio sobre o diâmetro da configuração de altifalantes, o que anulava uma parte da flexibilidade inerente ao *Ambisonics*. Foi assim proposta uma solução para a codificação da distância num campo sonoro *Ambisonics* — o HOA-DE, contribuição deste trabalho — que permite a manipulação dos parâmetros relevantes à percepção da distância apenas na altura da decodificação.

A VBAP é uma técnica de espacialização interessante como complemento ao HOA-DE, já que, ao contrário desta última, coloca em evidência a posição dos altifalantes no espaço e facilita a utilização de configurações irregulares de altifalantes. A sua implementação não prevê, contudo, a colocação de fontes sonoras virtuais no espaço interior ao definido pela configuração concêntrica de altifalantes. Foi testada uma solução para este problema a partir da dispersão angular da VBAP (i.e., a MDAP), mas a utilização de todos os altifalantes para a reprodução das fontes sonoras virtuais no interior da configuração deteriorava o reconhecimento da posição destes no espaço e, com isso, esbatia a premência da sua utilização em contraponto com o HOA-DE. Foi então proposta uma nova técnica de espacialização, também baseada na panorâmica de amplitudes, que coloca em evidência a posição dos altifalantes no espaço para fontes sonoras virtuais no interior da configuração de altifalantes: a APbSP, contribuição deste trabalho.

Foi desenvolvido um conjunto de ferramentas informáticas para espacialização, ao qual foi dado o nome de *spatium*. Desenvolvido sob a perspectiva do utilizador compositor, este conjunto consiste numa abordagem estratificada à espacialização na música electroacústica que inclui: uma biblioteca de objectos para Max que implementam as técnicas de espacialização propostas; motores de espacialização baseados nas técnicas de espacialização propostas; interfaces para espacialização concebidos com base na taxonomia da espacialização proposta; *plugins* para integração do sistema nas DAWs; um protocolo para comunicação de informações de espacialização entre os vários módulos do conjunto. Este sistema permite a integração da espacialização em processos de composição diversos e a materialização de várias abordagens à espacialização na música electroacústica, sendo ainda facilmente expansível. O *spatium* é, no seu conjunto, uma contribuição deste trabalho.

Foram, por fim, compostas seis obras musicais, principais contribuições deste trabalho:

- três estudos sobre espacialização estática: *Sonoridades Líquidas* [2007], uma instalação interactiva; *obra com título longo** [2009], para flauta alto, clarinete em si bemol, vibrafone, piano e electrónica; *eCaro* [2011], para piano protésico;
- um estudo sobre espacialização gestual: *in many, many ears* [2011], para flauta de bisel amplificada;
- um estudo sobre espacialização cinematográfica: *auditorium* [2012], para pequenos instrumentos de percussão e electrónica em tempo real;
- um estudo sobre espacialização dinâmica: *pendulum* [2012], para flauta, clarinete baixo, violino, violoncelo, vídeo e electrónica em tempo real.

7.2 Composição

As seis obras compostas no âmbito deste trabalho são estudos de caso sobre a integração no pensamento composicional dos modelos de espacialização propostos. Procuram tornar a espacialização no elemento primordial do processo de composição e assim contribuir para a sua emancipação enquanto parâmetro musical. Respondem, então, à principal pergunta formulada na introdução:

Como pode a espacialização do som na música electroacústica ser utilizada enquanto elemento gerador do pensamento composicional?

A proposta inicial deste trabalho era a da composição de uma peça musical sobre cada uma das abordagens composicionais à espacialização identificadas na taxonomia da espacialização da música electroacústica proposta. A espacialização estática, contudo, acabou por ser abordada em três peças: *Sonoridades Líquidas* [2007], *obra com título longo** [2009] e *eCaro* [2011]. Esta escolha é a consequência de dois motivos principais — a diversidade das soluções para a espacialização estática encontradas no levantamento de

fontes e a inexistência de um gesto espacial na espacialização estática — que serão de seguida analisados em separado.

O conjunto de obras identificadas, no levantamento de fontes, como tendo uma abordagem estática à espacialização é aquele que contém uma maior diversidade de propostas quanto aos modos de interacção entre os meios electroacústicos e os espaços acústicos de performance ou instalação. Esta comparativa diversidade é uma consequência natural do enfoque que, face à ausência de movimento espacial, é colocado no modo de interacção com o espaço: a intencionalidade da espacialização reside, nestes casos, exclusivamente neste factor. As três peças exploram assim três abordagens diversas para a colocação do som no espaço acústico:

- Em *Sonoridades Líquidas* os modos de ressonância resultantes da interacção entre os meios electroacústicos e o espaço da instalação servem como base para a criação de um pensamento harmónico que, ao ser devolvido ao espaço, o instrumentaliza. Pode, em retrospectiva, ser interpretado como um exemplo de arquitectura aural.
- Em *obra com título longo** uma coluna hemisférica é utilizada como forma de promover a fusão com os instrumentos acústicos, não só pela mimetização do seu modo de interacção com o espaço acústico, mas também pela micro-espacialização que é possibilitada pela configuração dos seus altifalantes.
- Em *eCaro* a amplificação da componente electrónica pela indução de vibrações sonoras no tampo harmónico do piano permite, tal como em *obra com título longo**, a mimetização do seu modo de interacção com o espaço acústico e a fusão entre fontes, que é neste caso completa. Permite também a utilização de recursos electrónicos para expandir o comportamento idiomático da fonte acústica, como acontece na retroalimentação provocada pela colocação de um microfone no tampo harmónico e controlada através de um filtro ressonante. Por fim, possibilita ainda a utilização de recursos acústicos tradicionais para alterar o timbre e a morfologia dos sons gerados electronicamente, como acontece aquando da utilização do pedal do piano para controlar a ressonância simpática das suas cordas consequente aos sons de origem electrónica.

A inexistência de gesto espacial, intrínseca à definição da espacialização estática, tem como consequência a inexistência de uma clara morfologia temporal no espaço, o que dificulta a geração de gestos musicais a partir da espacialização. As três peças exploram então três abordagens diferentes para a geração dos gestos musicais:

- Em *Sonoridades Líquidas* não existem gestos musicais no sentido tradicional, já que se trata de uma instalação interactiva cujo resultado musical depende em larga medida do comportamento dos visitantes. O que existe é um potencial para geração de gestos musicais, patente na textura pontilhista das esculturas do primeiro tipo — consequência directa do modo de interacção com as esculturas sonoras pré-existentes — e nos *glissandi* e modulação de amplitude das restantes esculturas —

consequência da abordagem à construção e progressão harmónica da instalação. A excepção são os gestos musicais pré-concebidos e difundidos por um percurso de espacialização cinematográfica.

- Em *obra com título longo** o gesto musical nasce da abordagem à espacialização estática pela via conceptual, no sentido em que os materiais musicais não surgem directamente da articulação da espacialização, mas sim da procura de uma homogeneidade textural capaz de promover a fusão entre as fontes sonoras e a imersão no ambiente acústico criado.
- Em *eCaro* a articulação do gesto musical é deixada para os improvisadores, que exploram livremente o potencial acústico dos instrumentos dentro da forma criada para estruturar a apresentação do material tímbrico.

As abordagens à espacialização nas quais existe um gesto espacial — i.e., a espacialização gestual, a espacialização cinematográfica e espacialização dinâmica — permitem uma relação mais directa entre a espacialização e a geração dos gestos musicais. A espacialização gestual, no entanto, pressupõe uma simbiose entre estes gestos que é beneficiada pela precedência da definição do gesto musical e que dificulta a utilização do gesto espacial como ponto de partida para a geração do material musical. Se os gestos espaciais, nesta abordagem, são concebidos para enfatizar, ornamentar ou pôr em evidência a morfologia dos gestos musicais, a inversão do processo pode aproximar a espacialização gestual da fronteira com a espacialização cinematográfica — como acontece, e.g., em *Signes émergents* [2003], de Mario Mary — ou com a espacialização dinâmica — como acontece, e.g., em *Vol d'Arondes* [1999], de Francis Dhomont. A solução proposta em *in many, many ears* [2011] é a utilização do gesto físico do intérprete como veículo não só do gesto musical, como tradicionalmente acontece na performance, mas também do gesto espacial. O ponto de partida para a composição foi então a selecção dos objectos sonoros² resultantes da exploração, através do manuseamento físico da flauta de bisel, do potencial para a geração de gestos espaciais consequente ao sistema de captação utilizado.

A espacialização cinematográfica tem já alguma tradição na utilização do gesto espacial como ponto de partida para a composição. Em obras como, e.g., *Watershed IV* [1995], de Roger Reynolds, é a definição geométrica do movimento do instrumentista que informa a articulação tímbrica dos instrumentos dispostos no palco. Em *auditorium* [2012] procurou-se evidenciar o processo de composição com a aplicação diferida da espacialização cinematográfica — como o que originou, e.g., em *Cosmic Pulses* [2006-2007], de Karlheinz Stockhausen —, tornando a separação entre a criação sonora e a imposição de uma morfologia espacial geométrica no elemento central da performance. A expectativa sentida pelo compositor no tradicional processo iterativo de aperfeiçoamento da definição visual de percursos de espacialização e audição do seu

² Aqui a designação de objecto sonoro refere-se ao processo de composição, que não teve em conta a origem destes sons de outro modo que não a verificação final da sua exequibilidade instrumental. Para o ouvinte da obra ao vivo, contudo, a perspectiva acústica é impossibilitada pela visão do intérprete.

resultado sonoro é aqui transferida para o público através da criação de uma oportunidade de antecipação do resultado sonoro pelo visionamento prévio da articulação gestual no palco.

A simbiose entre gesto musical e gesto espacial conseguida pela geração do material musical a partir da espacialização é especialmente clara na espacialização dinâmica de *pendulum* [2012], para o que não será despreciando o visionamento, durante a performance, dos modelos físicos que estão na sua origem. A espacialização dinâmica, aliás, presta-se particularmente a uma perspectiva não-acusmática sobre os gestos espaciais (i.e., à identificação da origem da sua morfologia), já que a dinâmica pressupõe a identificação das forças que originam o movimento. O facto de ter sido possível definir, na fase primordial da composição, todos os modelos físicos que estiveram na base da estrutura da obra é revelador do potencial da espacialização dinâmica enquanto elemento gerador do material musical. A fluência musical dos gestos gerados a partir de sistemas de forças simples sugere uma relevância do conhecimento empírico sobre as leis da física no reconhecimento de uma intencionalidade no movimento.

7.3 Trabalho Futuro

A taxonomia da espacialização na música electroacústica foi proposta apenas num alto nível, privilegiando a abrangência em detrimento da pormenorização. Será naturalmente possível a identificação de níveis mais baixos que permitam a criação de subclasses dentro das abordagens propostas. A relevância desta taxonomia poderá ainda ser potenciada pela integração de elementos das propostas anteriores para a classificação de espaços e catalogação de vocabulários de movimentos no espaço.

A abordagem estratificada do *spatium* permite a sua fácil expansão e algumas direcções para esta expansão parecem ser particularmente prementes. No caso dos motores de espacialização e objectos de Max baseados em HOA-DE, estas direcções para expansão são:

- a modelação de fontes não pontuais, de fontes com orientação e de fontes com padrões de radiação dependentes da frequência;
- a integração da simulação das primeiras reflexões com mais elevada resolução espacial do que a reverberação difusa já implementada;
- a integração da possibilidade de simulação do efeito de Doppler;
- a integração de configurações de altifalantes adicionais, nomeadamente as das principais salas e sistemas de difusão utilizados para concertos de música electroacústica;
- a integração da elevação na descodificação para reprodução binaural e da possibilidade de rastreio da posição da cabeça, importante para resolução do cone de confusão e das ambiguidades na localização das fontes sonoras no plano sagital;

- a automatização dos parâmetros que regem a simulação das pistas relevantes para a percepção da distância;
- o aprofundamento das implementações da espacialização granular e espectral.

No caso do motor de espacialização e objecto de Max baseado em APbSP, estas direcções para expansão são:

- a expansão do algoritmo para incluir a espacialização com configurações de altifalantes tridimensionais;
- a concepção de uma interface que facilite o trabalho com amostras de áudio de dimensões superiores.

No caso das interfaces de espacialização, estas direcções para expansão são:

- a integração de novas simulações de sistemas dinâmicos;
- a reformulação das interfaces dinâmicas para utilização com ecrãs tácteis;
- o desenvolvimento de métodos para a espacialização gestual com base em descritores do som — e.g., rastreio da envolvente, detecção de transientes e análise de fluxo espectral —, permitindo a criação de espacialização gestual automática, análoga à que acontece em *Répons* [1981-1984], de Pierre Boulez.

Finalmente, é possível a adaptação tanto dos modelos propostos como das ferramentas desenvolvidas a outros domínios nos quais a espacialização sonora desempenha um papel relevante. O design de som para multimédia, quer nas suas abordagens fixas (como, e.g., o cinema tradicional), quer nas suas abordagens interactivas (como, e.g., os jogos de computador), é um exemplo de uma área que, não obstante independente, tem fortes ligações históricas à composição de música electroacústica. A ligação conceptual entre a modelação física utilizada para a espacialização dinâmica neste trabalho e a modelação física utilizada para a síntese sonora no design de som procedimental (Farnell, 2010) permite antever a criação de instrumentos interactivos para design de som constituídos por objectos que utilizam os mesmos algoritmos para a geração do som e para a sua colocação no espaço, beneficiando deste modo a percepção auditiva do conjunto.

Bibliografia

- Ahrens, J., Geier, M., & Spors, S. (2012). *Introduction to the SoundScape Renderer (SSR)*. Berlin: TU Berlin.
- Algazi, V. R., Duda, R. O., Thompson, D. M., & Avendano, C. (2001). The CIPIC HRTF Database. Comunicação apresentada no 2001 IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics, New York.
- Austin, L. (2000). Sound diffusion in composition and performance: an interview with Denis Smalley. *Computer Music Journal*, 24(2), 10–21.
- Baalman, M. A. J. (2007). On Wave Field Synthesis and Electro-Acoustic Music - State of the Art 2007. Comunicação apresentada na International Computer Music Conference 2007, Copenhagen.
- Baalman, M. A. J. (2010). Spatial composition techniques and sound spatialisation technologies. *Organised Sound*, 15(3), 209–218.
- Bachratá, P. (2010). *Gesture Interaction in Music for Instruments and Electroacoustic Sounds*. Tese de doutoramento, Universidade de Aveiro, Aveiro.
- Bascou, C. (2010). Adaptive spatialization and scripting capabilities in the spatial trajectory editor Holo-Edit. Comunicação apresentada na Sound and Music Computing Conference 2010, Barcelona.
- Batteau, D. W. (1967). The role of the pinna in human localization. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 168(11), 158–180.
- Bauer, B. B. (1961). Phasor Analysis of Some Stereophonic Phenomena. *Journal of the Acoustical Society of America*, 33(11), 1536–1539.
- Bayle, F. (1993). *Musique Acousmatique: Propositions Positions*. Paris: Buchet/Chastel.
- Begault, D. R. (1986). Spatial Manipulation and Computers: a Tutorial for Composers. *Ex Tempore*, 4(1).
- Begault, D. R. (1990). The composition of auditory space: recent developments in headphone music. *Leonardo*, 23(1), 45–52.
- Begault, D. R. (1994). *3-D Sound for Virtual Reality and Multimedia*. Cambridge, MA: Academic Press Professional.
- Bennett, J. C., Barker, K., & Edeko, F. O. (1985). A New Approach to the Assessment of Stereophonic Sound System Performance. *Journal of the Audio Engineering Society*, 33(5), 314–321.

- Berkhout, A. J. (1988). A Holographic Approach to Acoustic Control. *Journal of the Audio Engineering Society*, 36(12), 977–995.
- Berkhout, A. J., Vries, D. de, & Vogel, P. (1993). Acoustic Control by Wave Field Synthesis. *Journal of the Acoustical Society of America*, 93(5), 2764–2779.
- Blard, G., Fiel, R., Vieira, J., Campos, G., & Oliveira, A. (2012). Auscultadores Virtuais. Comunicação apresentada na 14ª Encontro da Associação Portuguesa de Engenharia de Áudio, Porto.
- Blauert, J. (1996). *Spatial Hearing - Revised Edition: The Psychophysics of Human Sound Localization*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Blessner, B., & Salter, L.-R. (2007). *Spaces Speak, Are You Listening?* Cambridge, MA: The MIT Press.
- Blumlein, A. (1933). Patent Specification 394,325. British Patent.
- Bohnacker, H., Gross, B., & Laub, J. (2009). *Generative Gestaltung*. Mainz: Hermann Schmidt.
- Boulez, P. (1986). Technology and the Composer. In *Orientations* (pp. 486–495). Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Boulez, P., & Gerzso, A. (1988). Computers in Music. *Scientific American*, 258(4), 44–50.
- Braasch, J., Peters, N., & Valente, D. L. (2008). A loudspeaker-based projection technique for spatial music applications using virtual microphone control. *Computer Music Journal*, 32(3), 55–71.
- Bregman, A. (1990). *Auditory Scene Analysis*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Brown, G. J. (1992). *Computational Auditory Scene Analysis: a Representational Approach*. Doctoral dissertation, University of Sheffield, Sheffield.
- Cage, J. (1991). *John Cage: An Anthology*. Cambridge, MA: Da Capo.
- Câmara, J. B. (2010). Os órgãos da Basílica de Mafra num relatório de Francisco de Lacerda (1927). Consultada em Agosto de 2012 em http://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/2581/1/Os%20órgãos%20da%20Bas%C3%ADlica%20de%20Mafra%20num%20relatório%20de%20Francisco%20de%20Lacerda%20_1927_%20B.pdf.
- Chadabe, J. (1997). *Electric Sound: The Past and Promise of Electronic Music*. New Jersey: Prentice Hall.
- Cheng, C. I., & Wakefield, G. (2001). Moving sound source synthesis for binaural electroacoustic music using interpolated head-related transfer functions (HRTFs). *Computer Music Journal*, 25(4), 57–80.
- Cherry, C. (1953). Some Experiments on the Recognition of Speech, with One and with Two Ears. *Journal of the Audio Engineering Society*, 25(5), 975–979.
- Chion, M. (1983). *Guide des Objets Sonores: Pierre Schaeffer et la Recherche Musicale*. Paris: Buchet/Chastel.

- Chowning, J. M. (1971). The Simulation of Moving Sound Sources. *Journal of the Audio Engineering Society*, 19(1), 2–6.
- Chowning, J. M. (1973). The Synthesis of Complex Audio Spectra by Means of Frequency Modulation. *Journal of the Audio Engineering Society*, 21(7), 526–534.
- Chowning, J. M. (1999). Perceptual Fusion and Auditory Perspective. In *Music, Cognition and Computerized Sound*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Chowning, J. M. (2011). Turenas: the realization of a dream. Comunicação apresentada nas Journées d'Informatique Musicale 2011, Saint-Etienne.
- Clark, H. A. M., Dutton, G. F., & Vanderlyn, P. B. (1958). The “Stereosonic” Recording and Reproducing System. *Journal of the Audio Engineering Society*, 6(2), 102–117.
- Clarke, M., & Manning, P. (2008). The Influence of Technology on the Composition of Stockhausen's Octophonic, with Particular Reference to the Issues of Spatialisation in a Three-Dimensional Listening Environment. *Organised Sound*, 13(3), 177–187.
- Clozier, C. (2001). The Gmebaphone Concept and the Cybernéphone Instrument. *Computer Music Journal*, 25(4), 81–90.
- Colafrancesco, J. (2012). L'Ambisonie d'ordre supérieur et son appropriation par les musiciens: présentation de la bibliothèque Max/MSP Hoa.Lib. Comunicação apresentada nas Journées d'Informatique Musicale 2012, Mons.
- Colafrancesco, J., Guillot, P., & Paris, E. (2013). La Bibliothèque Hoa, Bilan Et Perspectives. Comunicação apresentada nas Journées d'Informatique Musicale 2013, Paris.
- Colavita, F. B. (1974). Human sensory dominance. *Perception & Psychophysics*, 16(2), 409–412.
- Collins, N. (2006). *Handmade Electronic Music*. London: Routledge.
- Cook, P. R. (2001). Principles for designing computer music controllers. Comunicação apresentada na New Interfaces for Musical Expression 2001, Seattle.
- Cook, P. R., & Trueman, D. (1998). A database of measured musical instrument body radiation impulse responses, and computer applications for exploring and utilizing the measured filter functions. Comunicação apresentada no International Symposium on Musical Acoustics 1998, Leavenworth.
- Daniel, J. (2001). *Représentation de champs acoustiques, application à la transmission et à la reproduction de scènes sonores complexes dans un contexte multimédia*. Thèse de doctorat, Université Paris 6, Paris.
- Daniel, J. (2003). Spatial sound encoding including near field effect: introducing distance coding filters and a viable, new Ambisonic format. Comunicação apresentada na AES 23rd International Conference, Copenhagen.

- Daniel, J., & Moreau, S. (2004). Further study of sound field coding with higher order Ambisonics. Comunicação apresentada na 116th AES Convention, Berlin.
- Davis, T., & Karamanlis, O. (2007). Gestural control of sonic swarms: composing with grouped sound objects. Comunicação apresentada na Sound and Music Computing Conference 2007, Lefkada.
- Deleflie, E., & Schiemer, G. (2009). Spatial grains: imbuing granular particles with spatial-domain information. Comunicação apresentada na Australasian Computer Music Conference 2009, Queensland.
- Dhomont, F. (1995). Rappels acousmatiques. *Contact!*, 8(2).
- Dhomont, F. (Ed.). (1988). *L'Espace du Son*. Ohain: Musiques et Recherches.
- Dhomont, F. (Ed.). (1991). *L'Espace du Son II*. Ohain: Musiques et Recherches.
- Driscoll, J., & Rogalsky, M. (2004). David Tudor's 'Rainforest': An Evolving Exploration of Resonance. *Leonardo Music Journal*, 14, 25–30.
- Duda, R. O. (2000). 3-D Audio for HCI. Consultada em Agosto de 2012 em <http://interface.cipic.ucdavis.edu/sound/tutorial/index.html>.
- Elen, R. (1991). Whatever happened to Ambisonics? *AudioMedia Magazine*, November 1991.
- Emmerson, S. (2007). *Living Electronic Music*. Aldershot: Ashgate Publishing.
- Farina, A. (2006). Analysis of the behaviour of three Ambisonics decoders for rendering 2nd order horizontal-only B-format over an ITU 5.1 layout. Consultada em Fevereiro de 2013 em http://pcfarina.eng.unipr.it/Public/B-format/5_1_conversion/5_1_decoders.htm.
- Farina, A., & Ugolotti, E. (1998). Software implementation of B-format encoding and decoding. Comunicação apresentada na 104th AES Convention, Amsterdam.
- Farnell, A. (2010). *Designing Sound*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Frank, M., Zotter, F., & Sontacchi, A. (2008). Localization experiments using different 2D ambisonics decoders. Comunicação apresentada na Tonmeistertagung 2008, Leipzig.
- Freyd, J. J., & Finke, R. A. (1984). Representational Momentum. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 10(1), 126–132.
- Gabel, G. R. (1985). Compositional Uses of The Crossing Phenomenon In Recent Music. *Ex Tempore*, III(1).
- García-Karman, G. (2007). *Spatialization of Karlheinz Stockhausen's Cosmic Pulses*. Kürten: Stockhausen Foundation.

- Gardner, M. B. (1968). Lateral localization of 0 degrees-or near-0 degrees-oriented speech signals in anechoic space. *Journal of the Acoustical Society of America*, 44(3), 797–802.
- Gardner, W. G., & Martin, K. (1994). *HRFT measurements of a KEMAR dummy-head microphone*. Cambridge, MA: MIT Media Lab.
- Garity, W. E., & Hawkins, J. N. A. (1941). Fantasound. *Journal of the Society of Motion Picture Engineers*, 37.
- Geier, M., & Spors, S. (2008). ASDF: audio scene description format. Comunicação apresentada na International Computer Music Conference 2008, Belfast.
- Geier, M., Ahrens, J., & Spors, S. (2008). The SoundScape Renderer: A Unified Spatial Audio Reproduction Framework for Arbitrary Rendering Methods. Comunicação apresentada na 124th AES Convention, Amsterdam.
- Gerzon, M. (1973). Periphony: with-height sound reproduction. *Journal of the Audio Engineering Society*, 21, 2–10.
- Gerzon, M. (1985). Ambisonics in multichannel broadcasting and video. *Journal of the Audio Engineering Society*, 33(11), 859-871.
- Gerzon, M. (1990). Three channels: the future of stereo? *Studio Sound*, 32(6), 112–125.
- Gerzon, M. (1992). General Metatheory of Auditory Localisation. Comunicação apresentada na 92nd AES Convention, Vienna.
- Gerzon, M. (1986, July). Stereo shuffling: new approach – old technique. *Studio Sound*, July.
- Gerzon, M. A., & Barton, G. J. (1992). Ambisonic Decoders for HDTV. Comunicação apresentada na 92nd AES Convention, Vienna.
- Getzmann, S., & Lewald, J. (2007). Localization of moving sound. *Percept & Psychophysics*, 69(6), 1022–1034.
- Getzmann, S., Lewald, J., & Guski, R. (2004). Representational momentum in spatial hearing. *Perception*, 33(5), 591–599.
- Gorne, A. V. (2002). L'interprétation spatiale. *Revue DEMéter*. Consultada em Agosto de 2012 em <http://demeter.revue.univ-lille3.fr/interpretation/vandegorne.pdf>.
- Gorne, A. V. (Ed.). (2011). *L'Espace du Son III*. Ohain: Musiques et Recherches.
- Griesinger, D. (2002). Stereo and Surround Panning in Practice. Comunicação apresentada na 112th AES Convention, Munich.
- Griffiths, P. (2010). *Modern Music and After*. New York: Oxford University Press.

- Gritten, A., & King, E. (Eds.). (2006). *Music and Gesture*. Surrey: Ashgate Publishing.
- Grout, D. J., & Palisca, C. V. (1994). *História da Música Ocidental*. Lisboa: Gradiva.
- Haas, H. (1972). The Influence of a Single Echo on the Audibility of Speech. *Journal of the Audio Engineering Society*, 20, 145–159.
- Harker, A., & Tremblay, P. A. (2012). The Hisstools impulse response toolbox: convolution for the masses. Comunicação apresentada na International Computer Music Conference 2012, Ljubljana.
- Harley, J. (2002). The electroacoustic music of Iannis Xenakis. *Computer Music Journal*, 26(1), 33–57.
- Harley, M. A. (1997). An American in space: Henry Brant's "spatial music". *American Music*, 15(1), 70–92.
- Harrison, J. (1998). Sound, space, sculpture: some thoughts on the 'what', 'how' and "why" of sound diffusion. *Organised Sound*, 3(2), 117–127.
- Harrison, J. (2000). Imaginary Space. *eContact!*, 3(2), 1–8.
- Harrison, J. (2011). The Final Frontier? Spatial Strategies in Acousmatic Composition and Performance. *eContact!*, 14(4).
- Hatfield, G. (2002). Perception as Unconscious Inference. In *Perception and the Physical World: Psychological and Philosophical Issue in Perception*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Hatten, R. S. (2006). A Theory of Musical Gesture and its Application to Beethoven and Schubert. In *Music and Gesture*. Surrey: Ashgate Publishing.
- Heller, A., Lee, R., & Benjamin, E. (2008). Is my decoder Ambisonic?. Comunicação apresentada na 125th AES Convention, San Francisco.
- Henrique, L. L. (2002). *Acústica Musical*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Hollerweger, F. (2008). An introduction to higher order Ambisonic. Consultada em Agosto de 2012 em <http://flo.mur.at/writings/HOA-intro.pdf/>.
- Howard, D. M., & Angus, J. (2009). *Acoustics and psychoacoustics*. Waltham, MA: Focal Press.
- Hubbard, T. L. (1995). Environmental invariants in the representation of motion: Implied dynamics and representational momentum, gravity, friction, and centripetal force. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2(3), 322–338.
- Hubbard, T. L. (2005). Representational momentum and related displacements in spatial memory: A review of the findings. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12(5), 822–851.
- ITU. (2012). *Multichannel Stereophonic Sound System with and Without Accompanying Picture*. Geneva: International Telecommunication Union.

- Jakovich, J., & Beilharz, K. (2007). ParticleTexture: interactive granular soundspaces for architectural design. Comunicação apresentada na New Interfaces for Musical Expression 2007, New York.
- Jensenius, A. R., Wanderley, M. M., Godøy, R. I., & Leman, M. (2010). Musical Gestures: Concepts and Methods in Research. In *Music, Gesture, and the Formation of Embodied Meaning*. London: Routledge.
- Jot, J.-M. (1997). Real-Time Spatial Processing of Sounds for Music, Multimedia and Interactive Human-Computer Interfaces. *Multimedia Systems*, 7(1), 55–69.
- Jot, J.-M. (2012). *Spatialisateur: User Manual*. Paris: IRCAM.
- Kapralos, B., Jenkin, M., & Milios, E. (2003). *Auditory Perception and Spatial (3D) Auditory Systems*. Ontario: York University.
- Kearney, G., Bates, E., Boland, F., & Furlong, D. (2007). A comparative study of the performance of spatialization techniques for a distributed audience in a concert hall environment. Comunicação apresentada na AES 31st International Conference, London.
- Kendall, G. S. (1995). A 3-D sound primer: directional hearing and stereo reproduction. *Computer Music Journal*, 19(4), 23–46.
- Kim-Boyle, D. (2005). Sound spatialization with particle systems. Comunicação apresentada na 8th International Conference on Digital Audio Effects, Madrid.
- Kistler, D. J., & Wightman, F. L. (1992). A Model of HRTFs Based on Principal Component Analysis and Minimum-Phase Reconstruction. *Journal of the Acoustical Society of America*, 91(3), 1637–1647.
- Lee, R. (2008). Shelf filters for Ambisonic decoders. *Ambisonic Info*. Consultada em Agosto de 2012 em <http://ambisonic.info/info/ricardo/shelfshtml>.
- Leitner, B. (1998). *SOUND:SPACE*. Ostfildern: Cantz.
- Leitner, B. (2008). *.P.U.L.S.E.* Ostfildern: Cantz.
- Licata, J. M. (2009). *Physical Gesture, Spatialization, Form and Transformation in Watershed I/IV, for Solo Percussion and Real-Time Computer Spatialization, by Roger Reynolds*. Doctoral dissertation, University of North Texas, Denton.
- Licht, A. (2007). *Sound Art: Beyond Music, Between Categories*. New York: Rizzoli.
- Lossius, T., Baltazar, P., & Hogue, T. de L. (2009). DBAP - distance-based amplitude panning. Comunicação apresentada na International Computer Music Conference 2009, Montreal.
- Lucier, A. (2012). *Music 109: Notes on Experimental Music*. Middletown: Wesleyan University Press.

- Lyon, E. (2008). Spatial Orchestration. Comunicação apresentada na Sound and Music Computing Conference 2008, Berlin.
- Maconie, R. (1990). *The Works of Karlheinz Stockhausen* (2nd ed.). Oxford: Clarendon Press.
- Makita, Y. (1962). On the Directional Localisation of Sound in the Stereophonic Sound Field. *EBU Review*, 73(A), 102–108.
- Malham, D. G. (1990). Ambisonics - a theory for low cost, high precision, three dimensional sound diffusion. Comunicação apresentada na International Computer Music Conference 1990, Glasgow.
- Malham, D. G. (1992). Experience with large area 3-D Ambisonic sound systems. Comunicação apresentada na Institute of Acoustics Autumn Conference on Reproduced Sound 8, Windermere.
- Malham, D. G. (2003). Higher order Ambisonic systems. *University of York*. Consultada em Agosto de 2012 em http://www.york.ac.uk/inst/mustech/3d_audio/higher_order_ambisonics.pdf.
- Malham, D. G. (2007). 3-D acoustic space and its simulation using Ambisonics. *Dxarts*. Consultada em Agosto de 2012 em http://wiki.dxarts.washington.edu/groups/general/wiki/111c7/attachments/61e42/malham_3d.pdf.
- Malham, D. G., & Myatt, A. (1995). 3-D sound spatialization using Ambisonic Techniques. *Computer Music Journal*, 19(4), 58–70.
- Mariette, N. (2009). AmbiGrainer - a higher order Ambisonic granulator in PD. Comunicação apresentada na 1st International Symposium on Ambisonics and Spherical Acoustics, Graz.
- Mary, M. (2013). De la idea a la obra: los caminos de la creatividad. *Sonic Ideas*, 5(10), 1–17.
- Mathews, M. (1963). The Digital Computer as a Musical Instrument. *Science*, 142(3592), 553–557.
- McGee, R. (2010). *Sound Element Spatializer*. Master Thesis, University of California, Santa Barbara.
- McGee, R., & Wright, M. (2011). Sound Element Spatializer. Comunicação apresentada na International Computer Music Conference 2011, Huddersfield.
- McGurk, H., & MacDonald, J. (1976). Hearing lips and seeing voices. *Nature*, 264(5588), 746–748.
- Melo, V. (2003). A Abelha, a Escada e o Jardim. In *Compositores Portugueses Contemporâneos: João Pedro Oliveira*. Porto: Edições Atelier de Composição.
- Menezes, F. (1996a). Um Olhar Retrospectivo sobre a História da Música Eletroacústica. In *Música Eletroacústica*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo.
- Menezes, F. (Ed.). (1996b). *Música Eletroacústica*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo.
- Menzies, D. (2002). W-panning and O-format, tools for object spatialization. Comunicação apresentada na AES 22nd International Conference, Espoo.

- Merlier, B. (2006). Vocabulaire de l'espace et de la spatialisation des musiques électroacoustiques: présentation, problématique et taxinomie de l'espace. Comunicação apresentada na Electroacoustic Music Studies Conference 2006, Beijing.
- Miller, P. (2009). *Stockhausen and the Serial Shaping of Space*. Doctoral Dissertation, Eastman School of Music, Rochester.
- Moore, R. (1983). A General Model for Spatial Processing of Sounds. *Computer Music Journal*, 7(3), 6–15.
- Mountain, R. (2009). Auditory Scene Analysis and Electroacoustics. Comunicação apresentada na Electroacoustic Music Studies Conference 2009, Buenos Aires.
- Noisternig, M., Musil, T., Sontacchi, A., & Höldrich, R. (2003). 3D binaural sound reproduction using a virtual Ambisonic approach. Comunicação apresentada no International Symposium on Virtual Environments, Human-Computer Interfaces, and Measurement Systems, Lugano.
- Norman, D. (1998). *The Design of Everyday Things*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Nouno, G., Cont, A., Carpentier, G., & Harvey, J. (2009). Making an Orchestra Speak. Comunicação apresentada na Sound and Music Computing Conference 2009, Porto.
- NTNU. (2010). Panning and Crossfade. *Norwegian University of Science and Technology*. Consultada em Agosto de 2012 em <http://folk.ntnu.no/oyvinbra/delete/Lesson1Panning.html>.
- Ojala, J. (2009). *Space in Musical Semiosis*. Helsinki: International Semiotics Institute.
- Ortiz Pérez, M., Knapp, B., & Alcorn, M. (2007). Díamair: Composing for Choir and Integral Music Controller. Comunicação apresentada na New Interfaces for Musical Expression 2007, New York.
- Otondo, F. (2007). Creating sonic spaces: an interview with Natasha Barrett. *Computer Music Journal*, 31(2), 10–19.
- Otondo, F. (2008). Contemporary trends in the use of space in electroacoustic music. *Organised Sound*, 13(01).
- Ouzounian, G. (2007). Visualizing acoustic space. *Circuit: Musiques Contemporaines*, 17(3), 45–56.
- Overholt, S. A. (2006). *Karlheinz Stockhausen's spatial theories: analyses of Gruppen für drei Orchester and Oktophonie, Elektronische Musik vom Dienstag aus Licht*. Doctoral dissertation, University of California, Santa Barbara.
- Penha, R. (2008). Distance encoding in Ambisonics using three angular coordinates. Comunicação apresentada na Sound and Music Computing Conference 2008, Berlin.
- Peters, N. (2010). *Sweet [re]production*. Doctoral dissertation, McGill University, Montreal.

- Peters, N. (2012). ViMiC - Virtual Microphone Control. *ViMiC*. Consultada em Janeiro de 2013 em https://github.com/Nilson/ViMiC-and-friends/blob/master/ViMiC_manual.pdf.
- Peters, N., Braasch, J., & McAdams, S. (2011a). Sound spatialization across disciplines using virtual microphone control (ViMiC). *Journal of Interdisciplinary Music Studies*, 5(2), 167–190.
- Peters, N., Lossius, T., & Schacher, J. C. (2012a). SpatDIF: principles, specification, and examples. Comunicação apresentada na Sound and Music Computing Conference 2012, Copenhagen.
- Peters, N., Lossius, T., Schacher, J. C., Baltazar, P., Bascou, C., & Timothy, P. (2009). A stratified approach for sound spatialization. *Sound and Music Computing Conference 2009*.
- Peters, N., Marentakis, G., & McAdams, S. (2011b). Current technologies and compositional practices for spatialization: a qualitative and quantitative analysis. *Computer Music Journal*, 35(1), 10–27.
- Peters, N., Matthews, T., Braasch, J., & McAdams, S. (2008). Spatial sound rendering in Max/MSP with ViMiC. Comunicação apresentada na International Computer Music Conference 2008, Belfast.
- Peters, N., Schacher, J. C., & Lossius, T. (2012b). SpatDIF specification Version 0.3, draft version - rev. 271. *SpatDIF*. Consultada em Janeiro de 2013 em <http://redmine.spatdif.org/attachments/download/105/SpatDIF-specs-V0.3.pdf>.
- Pierce, J. (1999). Hearing in Time and Space. In *Music, Cognition and Computerized Sound*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Pombo, F. (2003). A Ficção do Tempo. In *Compositores Portugueses Contemporâneos: João Pedro Oliveira*. Porto: Edições Atelier de Composição.
- Pope, S. T. (2008). Interchange formats for spatial audio. Comunicação apresentada na International Computer Music Conference 2008, Belfast.
- Poullin, J. (1999). L'apport Des Techniques D'enregistrement Dans La Fabrication De Matières Et De Formes Musicales Nouvelles. Applications À La Musique Concrète. *Ars Sonora*, 9, 31–45.
- Pulkki, V. (1997). Virtual sound source positioning using vector base amplitude panning. *Journal of the Audio Engineering Society*, 45(6).
- Pulkki, V. (1999). Uniform Spreading of Amplitude Panned Virtual Sources. Comunicação apresentada no 1999 IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics, New York.
- Pulkki, V. (2000). Generic panning tools for Max/MSP. Comunicação apresentada na International Computer Music Conference 2000, Berlin.
- Pulkki, V., & Lokki, T. (1998). Creating Auditory Displays with Multiple Loudspeakers Using VBAP: a Case Study with DIVA Project. Comunicação apresentada na International Conference on Auditory Display 1998, Glasgow.

- Queiroz, E. de. (1901). *A Cidade e as Serras*. Porto: Lello & Irmão.
- Ramakrishnan, C. (2008). Zirkonium. *ZKM*. Consultada em Agosto de 2012 em <http://ima.zkm.de/zirkonium/ZirkoniumManual.pdf>.
- Ramakrishnan, C., Goßmann, J., & Brümmer, L. (2006). The ZKM Klangdom. Comunicação apresentada na New Interfaces for Musical Expression 2006, Paris.
- Rayleigh, J. W. S. (1907). On Our Perception of Sound Direction. *Philosophical Magazine*, 13(74), 214–232.
- Reynolds, C. W. (1987). Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model. *Computer Graphics*, 21(4), 25–34.
- Reynolds, R. (1978). Thoughts on Sound Movement and Meaning. *Perspectives of New Music*, 16(2), 181–190.
- Roads, C. (1996). *The Computer Music Tutorial*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Roads, C. (2001). *Microsound*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Rudy, P. (2003). Estratégias Tímbricas, Temporais e Harmónicas em Íris. In *Compositores Portugueses Contemporâneos: João Pedro Oliveira*. Porto: Edições Atelier de Composição.
- Russolo, L. (1996). A Arte dos Ruídos: Manifesto Futurista. In *Música Eletroacústica*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo.
- Salazar, Á. (2003). Para um Retrato de João Pedro Oliveira. In *Compositores Portugueses Contemporâneos: João Pedro Oliveira*. Porto: Edições Atelier de Composição.
- Santana, H. (1998). Terretêktorh: Space and Timbre, Timbre and Space. *Ex Tempore*, 9(1).
- Savioja, L., Huopaniemi, J., Lokki, T., & Väänänen, R. (1999). Creating Interactive Virtual Acoustic Environments. *Journal of the Audio Engineering Society*, 47(9), 675–705.
- Schacher, J. C. (2010). Seven years of ICST Ambisonics tools for MaxMSP - a brief report. Comunicação apresentada na 2nd International Symposium on Ambisonics and Spherical Acoustics, Paris.
- Schacher, J. C., & Kocher, P. (2006). Ambisonics spatialization tools for Max/MSP. Comunicação apresentada na International Computer Music Conference 2006, New Orleans.
- Schacher, J. C., Bisig, D., & Neukom, M. (2011). Composing with swarm algorithms – creating interactive audio-visual pieces using flocking behaviour. Comunicação apresentada na International Computer Music Conference 2011, Huddersfield.
- Schaeffer, P. (1952). *A La Recherche D'une Musique Concrète*. Paris: Seuil.
- Schaeffer, P. (1966). *Traité des objets musicaux: essai interdisciplines*. Paris: Seuil.

- Schafer, R. M. (1994). *The Soundscape: Our Sonic Environment and the Tuning of the World*. Rochester, VT: Destiny Books.
- Schiffman, D. (2012). *The Nature of Code*. New York: Daniel Schiffman.
- Schönberg, A. (1983). *Theory of Harmony*. London: Faber & Faber.
- Schroeder, M. R., Gottlob, D., & Siebrasse, K. F. (1974). Comparative Study of European Concert Halls: Correlation of Subjective Preference with Geometric and Acoustic Parameters. *Journal of the Acoustical Society of America*, 56(4), 1195–1201.
- Settel, Z., & Lippe, C. (1994). Real-Time Timbral Transformation: FFT-based Resynthesis. *Contemporary Music Review*, 10(2), 171–179.
- Shepard, R. (1999). Cognitive Psychology and Music. In *Music, Cognition and Computerized Sound*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Slattery, W. H., & Middlebrooks, J. C. (1994). Monaural sound localization: acute versus chronic unilateral impairment. *Hearing Research*, 75(1-2), 38–46.
- Smalley, D. (1986). Spectro-morphology and Structuring Processes. In *The Language of Electroacoustic Music* (pp. 61–93). London: MacMillan Press.
- Smalley, D. (1997). Spectromorphology: Explaining Sound-Shapes. *Organised Sound*, 2(2), 107–126.
- Smalley, D. (2007). Space-form and the acousmatic image. *Organised Sound*, 12(1), 35–58.
- Smalley, J. (2000). *Gesang der Jünglinge: History and Analysis*. Columbia University. Consultada em Maio de 2012 em <http://www.music.columbia.edu/masterpieces/notes/stockhausen/>
- Smallwood, S., Cook, P. R., Trueman, D., & McIntyre, L. (2009). Don't forget the loudspeaker - a history of hemispherical speakers at Princeton, plus a DIY guide. Comunicação apresentada na New Interfaces for Musical Expression 2009, Pittsburgh.
- Smallwood, S., Trueman, D., Cook, P. R., & Wang, G. (2008). Composing for Laptop Orchestra. *Computer Music Journal*, 32(1), 9–25.
- Spors, S., & Rabenstein, R. (2006). Spatial Aliasing Artifacts Produced by Linear and Circular Loudspeaker Arrays Used for Wave Field Synthesis. Comunicação apresentada na 120th AES Convention, Paris.
- Steinberg, J. C., & Snow, W. B. (1934). Auditory Perspective — Physical Factors. *Electrical Engineering*, 9–11.
- Stockhausen, K. (1958). Musik im Raum. In *Texte zur Musik (Vol. 1)*. Köln: DuMont-Buchverlag.
- Stockhausen, K. (1971). *Texte zur Musik 1963-1970 (Vol. 4)*. Köln: DuMont-Buchverlag.

- Stockhausen, K. (1989). *Stockhausen on Music: Lectures and Interviews*. London: Marion Boyars.
- Stockhausen, K. (1993). Octophony: electronic music from Tuesday from Light. *Perspectives of New Music*, 31(2), 150–170.
- Theile, G. (2004). Wave field synthesis – a promising spatial audio rendering concept. Comunicação apresentada na 7th International Conference on Digital Audio Effects, Naples.
- Theile, G., & Plenge, G. (1977). Localization of Lateral Phantom Sources. *Journal of the Audio Engineering Society*, 25(4), 196–200.
- Theile, G., Wittek, H., & Reisinger, M. (2003). Potential Wavefield Synthesis Applications in the Multichannel Stereophonic World. Comunicação apresentada na *AES 24th International Conference*, Banff.
- Thurlow, W. R., Mangels, J. W., & Runge, P. S. (1967). Head movements during sound localization. *Journal of the Acoustical Society of America*, 42(2), 489–493.
- Torchia, R. H., & Lippe, C. (2004). Techniques for multi-channel real-time spatial distribution using frequency-domain processing. Comunicação apresentada na *New Interfaces for Musical Expression 2004*, Hamamatsu.
- Travis, C. (2009). A new mixed-order scheme for Ambisonic signals. Comunicação apresentada na 1st International Symposium on Ambisonics and Spherical Acoustics, Graz.
- Truax, B. (1996). Soundscape, acoustic communication and environmental sound composition. *Contemporary Music Review*, 15(1), 49–65.
- Truax, B. (1999). Composition and diffusion: space in sound in space. *Organised Sound*, 3(2), 141–146.
- Trueman, D. (2007). Why a laptop orchestra? *Organised Sound*, 12(2), 171–179.
- Trueman, D., & Cook, P. R. (1999). BoSSA: the deconstructed violin reconstructed. Comunicação apresentada na International Computer Music Conference 1999, Beijing.
- Trueman, D., Bahn, C., & Cook, P. R. (2000). Alternative voices for electronic sound:. Comunicação apresentada na International Computer Music Conference 2000, Berlin.
- Trueman, D., Cook, P. R., Smallwood, S., & Wang, G. (2006). PLOrk: the Princeton laptop orchestra, year 1. Comunicação apresentada na International Computer Music Conference 2006, New Orleans.
- Tutschku, H. (2002). On the interpretation of multi-channel electroacoustic works. *Journal of Electroacoustic Music*, 14, 14–16.
- Valéry, P. (1957). *Œuvres (Vol. I)*. Paris: La Pléiade.

- Valle, A., Tazelaar, K., & Lombardo, V. (2010). In a Concrete Space. Reconstructing the Spatialization of Iannis Xenakis' *Concret Ph* on a Multichannel Setup. Comunicação apresentada na Sound and Music Computing Conference 2010, Barcelona.
- Varèse, E., & Wen-chung, C. (1966). The liberation of sound. *Perspectives of New Music*, 5(1), 11–19.
- Vassilandonakis, Y. (2009). An interview with Trevor Wishart. *Computer Music Journal*, 33(2), 8–23.
- Vriezenga, C., & Rebelo, P. (2011). The Prosthetic Mbira: Prosthesis as design strategy. Comunicação apresentada na International Computer Music Conference 2011, Huddersfield.
- Wakefield, G. (2006). Third-order Ambisonic extensions for Max/MSP with musical applications. Comunicação apresentada na International Computer Music Conference 2006, New Orleans.
- Wakefield, G., & Smith, W. (2011). Cosm: a toolkit for composing immersive audio-visual worlds of agency and autonomy. Comunicação apresentada na International Computer Music Conference 2011, Huddersfield.
- Walstijn, M. V., & Rebelo, P. (2005). The Prosthetic Conga: Towards an Actively Controlled Hybrid Musical Instrument. Comunicação apresentada na International Computer Music Conference 2005, Barcelona.
- Wanderley, M. M. (2001). Gestural Control of Music. Comunicação apresentada no International Workshop Human Supervision and Control in Engineering and Music, Kassel.
- Wang, D., & Brown, G. J. (Eds.). (2006). *Computational Auditory Scene Analysis*. New York: IEEE Press.
- Wang, G., Bryan, N., Oh, J., & Hamilton, R. (2009). Stanford Laptop Orchestra (Slork). Comunicação apresentada na International Computer Music Conference 2009, Montréal.
- Wang, G., Trueman, D., Smallwood, S., & Cook, P. R. (2008). The laptop orchestra as classroom. *Computer Music Journal*, 32(1), 26–37.
- Warusfel, O. (2002). Listen HRTF Database. *Ircam*. Consultada em Agosto de 2012 em <http://recherche.ircam.fr/equipes/salles/listen/>.
- Wierstorf, H., Geier, M., Raake, A., & Spors, S. (2011). A Free Database of Head-Related Impulse Response Measurements in the Horizontal Plane with Multiple Distances. Comunicação apresentada na 130th AES Convention, London.
- Wilson, S. (2008). Spatial swarm granulation. Comunicação apresentada na International Computer Music Conference 2008, Belfast.
- Wishart, T. (1996). *On Sonic Art*. London: Routledge.
- Witteck, H. (2002). *OPSI: Optimised Phantom Source Imaging of the high frequency content of virtual sources in Wave Field Synthesis*. München: Institut für Rundfunktechnik.

- Wittek, H. (2003). *Perception of Spatially Synthesized Sound Fields*. Surrey: University of Surrey.
- Wolek, N. (2002). A granular toolkit for Cycling74's Max/MSP. Comunicação apresentada na SEAMUS 2002 National Conference, Iowa City.
- Wozniowski, M., Settel, Z., Quessy, A., Matthews, T., & Courchesne, L. (2012). SpatOSC: Providing Abstraction for the Authoring of Interactive Spatial Audio Experiences. Comunicação apresentada na International Computer Music Conference 2012, Ljubljana.
- Wörner, K. (1973). *Stockhausen: Life and Work*. London: Faber and Faber.
- Xenakis, I. (1992). *Formalized Music: Thought and Mathematics in Composition*. Stuyvesant: Pendragon.
- Xenakis, I. (1996). *Musique et originalité*. Paris: Séguier.
- Yadegari, S., Moore, R., Castle, H., Burr, A., & Apel, T. (2002). Real-Time Implementation of a General Model for Spatial Processing of Sounds. Comunicação apresentada na International Computer Music Conference 2002, Gothenburg.
- Zelli, B. (2009). Space and Computer Music. *eContact!*, 11(4), 1–9.
- Zelli, B. (2010). An Interview with John Chowning. *eContact!*, 12(2).
- Zvonar, R. (2004). A History of Spatial Music. *eContact!*, 7(4).

Bibliografia Musical

Antheil, George [1923-1924]. *Ballet Mécanique*

Partitura — New York: G. Schirmer.

Beethoven, Ludwig van [1804-1805, r. 1806-1814]. *Fidelio* Op. 72

Partitura — Leipzig: Breitkopf & Härtel.

Gravação — Karajan, Herbert von et al. (1989). Berlin: Deutsche Grammophon.

Berlioz, Hector [1837]. *Grande Messe des Morts / Requiem* Op. 5

Partitura — Leipzig: Breitkopf & Härtel.

Gravação — Previn, André et al. (2009). London: EMI Classics.

Boulez, Pierre [1981-1984]. *Répons*

Partitura — Vienna: Universal Edition.

Gravação — Boulez, Pierre et al. (1998). Berlin: Deutsche Grammophon.

Boulez, Pierre [1985]. *Dialogue de l'ombre double*

Partitura — Vienna: Universal Edition.

Gravação — Damiens, Alain (1998). Berlin: Deutsche Grammophon.

Brant, Henry [1953]. *Antiphony I*

Partitura — New York: Carl Fischer Music.

Gravação — Bernstein, Leonard et al. (2000). New York: New York Philharmonic.

Cage, John [1951]. *Imaginary Landscape No. 4*

Partitura — London: Edition Peters.

Gravação — Williams, Jan et al. (2006). Basel: Hat Hut Records.

Cage, John [1960]. *Cartridge Music*

Partitura — London: Edition Peters.

Gravação — Cage, John, & Tudor, David (2012). Mainz: Wergo.

Chowning, John [1971]. *Sabelithe*

Gravação — Chowning, John (1999). Mainz: Wergo.

Chowning, John [1972]. *Turenas*

Gravação — Chowning, John (1999). Mainz: Wergo.

- Chowning, John [1977]. *Stria*
Gravação — Chowning, John (1999). Mainz: Wergo.
- Chowning, John [1980-1981]. *Phoné*
Gravação — Chowning, John (1999). Mainz: Wergo.
- Collins, Nicolas [1974, r. 2002-2011]. *Pea Soup*
Documentação — <http://www.nicolascollins.com/aboutpeasoup.htm>.
Gravação — Collins, Nicolas, & Cremaschi, George (2004). Chicago: Apestaartje.
- Dhomont, Francis [1999]. *Vol d'Arondes*
Gravação — Dhomont, Francis (2003). Montréal: empreintes DIGITALes.
- Disney, Walt [1940]. *Fantasia*
Registo Audiovisual — Disney, Walt et al. (2000). Burbank: The Walt Disney Company.
- Gabrieli, Giovanni [c. 1597]. *Gloria a 12*
Partitura — Leinfelden-Echterdingen: Carus-Verlag.
Gravação — Hengelbrock, Thomas et al. (2001). Freiburg, : Deutsche Harmonia Mundi.
- Gabrieli, Giovanni [c. 1597]. *In Ecclesiis*
Partitura — London: Novello.
Gravação — Skidmore, Jeffrey et al. (2012). Londo: Hyperion.
- Gorne, Anette Vande [1983]. *Métal*
Gravação — Gorne, Anette Vande (1993). Montréal: empreintes DIGITALes.
- Gorne, Anette Vande [1984]. *Eau*
Gravação — Gorne, Anette Vande (1993). Montréal: empreintes DIGITALes.
- Gorne, Anette Vande [1986]. *Feu*
Gravação — Gorne, Anette Vande (1993). Montréal: empreintes DIGITALes.
- Gorne, Anette Vande [1986]. *Bois*
Gravação — Gorne, Anette Vande (1993). Montréal: empreintes DIGITALes.
- Gorne, Anette Vande [1989-1991]. *Terre*
Gravação — Gorne, Anette Vande (1993). Montréal: empreintes DIGITALes.

- Harvey, Jonathan [2008]. *Speakings*
Partitura — London: Faber Music.
Gravação — Volkov, Ilan et al. (2010). Bruxelles: Æon.
- Heide, Edwin van der [1998]. *A World Beyond the Loudspeaker*
Documentação — http://www.evdh.net/portfolio/EvdH_portfolio.pdf.
- Heide, Edwin van der, & Nijs, Marnix de [2001]. *Spatial Sounds (100 dB at 100km/h)*
Documentação — http://www.evdh.net/portfolio/EvdH_portfolio.pdf.
- Ives, Charles [1908]. *The Unanswered Question*
Partitura — New York: Southern Music Publishing.
Gravação — Bernstein, Leonard et al. (1998). New York: Sony Classical.
- Leitner, Bernhard [1969]. *Soundcube*
Documentação — (Leitner, 1998).
- Leitner, Bernhard [1975-191]. *Ton-Liege*
Documentação — (Leitner, 1998).
- Leitner, Bernhard [1975-1980]. *Raum-Wiege*
Documentação — (Leitner, 1998).
- Leitner, Bernhard [1980]. *Grosse Raum-Wiege*
Documentação — <http://www.bernhardleitner.at/works>.
- Leitner, Bernhard [1980]. *Kneten I*
Documentação — (Leitner, 1998).
- Leitner, Bernhard [1992-1995]. *Pendel-Liege*
Documentação — (Leitner, 1998).
- Leitner, Bernhard [1995]. *Pendel-Liege II*
Documentação — (Leitner, 1998).
- Letellier, David [2010]. *Tessel*
Documentação — <http://www.davidletellier.net/works.html>.
- Letellier, David [2011]. *Versus*
Documentação — <http://www.davidletellier.net/works.html>.

- Lopes, Filipe [2012]. *Vexations*
Documentação — <http://www.filipelopes.net/SelectedWorks/vexations.html>.
- Lopes, Filipe [2012]. *Numa Sala com Cortiça e Som*
Documentação — <http://www.filipelopes.net/SelectedWorks/cortica.html>.
- Lucier, Alvin [1965]. *Music for Solo Performer*
Documentação — (Lucier, 2012).
Registo Audiovisual — In Ashley, Robert (1975). *Music with Roots in the Aether: Alvin Lucier*.
<http://www.ubu.com/film/aether.html>.
Registo Audiovisual — In Rusche, Viola, & Harder, Hauke (2013). *No Ideas but in Things: The composer Alvin Lucier*. Mainz: Wergo.
- Lucier, Alvin [1968]. *Vespers*
Documentação — (Lucier, 2012).
Gravação — Lucier, Alvin (2002). New York: New World Records.
Registo Audiovisual — In Rusche, Viola, & Harder, Hauke (2013). *No Ideas but in Things: The composer Alvin Lucier*. Mainz: Wergo.
- Lucier, Alvin [1969]. *I am sitting in a room*
Documentação — (Lucier, 2012).
Gravação — Lucier, Alvin (1990). New York: Lovely Music.
Registo Audiovisual — In Rusche, Viola, & Harder, Hauke (2013). *No Ideas but in Things: The composer Alvin Lucier*. Mainz: Wergo.
- Lucier, Alvin [1975]. *Bird and Person Dying*
Registo Audiovisual — In Ashley, Robert (1975). *Music with Roots in the Aether: Alvin Lucier*.
<http://www.ubu.com/film/aether.html>.
Registo Audiovisual — In Rusche, Viola, & Harder, Hauke (2013). *No Ideas but in Things: The composer Alvin Lucier*. Mainz: Wergo.
- Lucier, Alvin [2002]. *Ever Present*
Gravação — Lucier, Alvin et al. (2007). New York: Mode Records.
- Mahler, Gustav [1888-1894, r.1903]. *Auferstehungsinfonie*
Partitura — Vienna: Universal Edition.
Gravação — Klemperer, Otto et al. (2000). London: EMI Classics.

- Mary, Mario [2003]. *Signes émergents*
Gravação — Mary, Mario (2003). São Paulo: PANaroma.
- Mary, Mario [2009]. *2261*
Gravação — Mary, Mario (2012). Ohain: Musiques & Recherches.
- Monahan, Gordon [1982]. *Speaker Swinging*
Documentação — http://www.gordonmonahan.com/pages/speaker_swinging.html.
- Mozart, Wolfgang Amadeus [1776]. *Notturmo für 4 Orchester* K. 286 (269a)
Partitura — Leipzig: Breitkopf & Härtel.
Gravação — Hogwood, Christopher et al. (1984). Paris: L'Oiseau-Lyre.
- Mozart, Wolfgang Amadeus [1776]. *Serenata Notturna* K. 239
Partitura — Leipzig: Breitkopf & Härtel.
Gravação — Hogwood, Christopher et al. (1984). Paris: L'Oiseau-Lyre.
- Normandeau, Robert [1994]. *Tangram*
Gravação — Normandeau, Robert (1999). Montréal: empreintes DIGITALes.
- Nunes, Emmanuel [1978-1985]. *Tif'Erèth*
Partitura — Berlin: Ricordi.
- Nunes, Emmanuel [1990-1991]. *Quodlibet*
Partitura — Berlin: Ricordi.
Gravação — Roo, Kasper de, & Pomàrico, Emilio et al. (2001). Paris: Naïve.
- Oliveira, João Pedro [1994]. *Requiem*
Partitura e Gravação — <http://jpoliveira.com/Site/Requiem.html>.
- Oliveira, João Pedro [2000]. *Íris*
Partitura e Gravação — <http://jpoliveira.com/Site/Iris.html>.
- Oliveira, João Pedro [2005]. *Et Ignis Involvens*
Gravação — Oliveira, João Pedro (2006). Ohain: Musiques & Recherches.
- Oliveira, João Pedro [2007]. *Aphâr*
Gravação — <http://jpoliveira.com/Site/Aphar.html>.
- Oliveira, João Pedro [2008]. *Hydatos*
Gravação — <http://jpoliveira.com/Site/Hydatos.html>.

- Rebello, Pedro [2004]. *Music for Prosthetic Congas*
Documentação — <http://pedrorebello.wordpress.com/2010/05/16/music-for-prosthetic-congas/>.
- Rebello, Pedro [2007]. *Shadow Quartet*
Partitura — Rebelva: Centro de Investigação & Informação da Música Portuguesa.
Documentação e Gravação — <http://pedrorebello.wordpress.com/2011/08/09/shadow-quartet/>.
- Reich, Steve [1968]. *Pendulum Music*
Partitura — Vienna: Universal Edition.
Gravação — Ensemble Avantgarde (1999). Mainz: Wergo.
- Reynolds, Roger [1968]. *Threshold*
Partitura — London: Edition Peters.
- Reynolds, Roger [1975]. *Still (Voicespace I)*
Gravação — Reynolds, Roger (1992). New York: Lovely Music.
- Reynolds, Roger [1976]. *A Merciful Coincidence (Voicespace II)*
Partitura — London: Edition Peters.
- Reynolds, Roger [1979]. *Eclipse (Voicespace III)*
Gravação — Reynolds, Roger (1992). New York: Lovely Music.
- Reynolds, Roger [1980]. *The Palace (Voicespace IV)*
Gravação — Larson, Philip, & Reynolds, Roger (1992). New York: Lovely Music.
- Reynolds, Roger [1982-1983]. *Archipelago*
Partitura — London: Edition Peters.
Gravação — Eötvös, Peter et al. (1996). Cambridge, MA: Neuma Records.
- Reynolds, Roger [1986]. *The Vanity of Words (Voicespace V)*
Gravação — Reynolds, Roger (1995). Cambridge, MA: Neuma Records.
- Reynolds, Roger [1995]. *Watershed IV*
Partitura — London: Edition Peters.
Registo Audiovisual — Schick, Steven et al. (1998). New York: Mode Records.
- Satie, Erik [c. 1893]. *Vexations*
Partitura — Paris: Max Eschig.

- Schaeffer, Pierre, & Henry, Pierre [1950-1951]. *Symphonie pour un homme seul*
Gravação — Schaeffer, Pierre, & Henry, Pierre (2000). Amsterdam: Philips.
- Stockhausen, Karlheinz [1953]. *Elektronische Studie I*
Partitura — Köln: Stockhausen-Verlag.
Gravação — Stockhausen Edition no. 3. Köln: Stockhausen-Verlag.
- Stockhausen, Karlheinz [1954]. *Elektronische Studie II*
Partitura — Köln: Stockhausen-Verlag.
Gravação — Stockhausen Edition no. 3. Köln: Stockhausen-Verlag.
- Stockhausen, Karlheinz [1955-1956]. *Gesang der Jünglinge*
Partitura — Köln: Stockhausen-Verlag.
Gravação — Stockhausen Edition no. 3. Köln: Stockhausen-Verlag.
- Stockhausen, Karlheinz [1955-1957]. *Gruppen*
Partitura — Vienna: Universal Edition.
Gravação — Stockhausen Edition no. 5. Köln: Stockhausen-Verlag.
- Stockhausen, Karlheinz [1958-1960]. *Kontakte*
Partitura — Köln: Stockhausen-Verlag
Gravação (electrónica solo) — Stockhausen Edition no. 3. Köln: Stockhausen-Verlag.
Gravação (com piano e percussão) — Stockhausen Edition no. 6. Köln: Stockhausen-Verlag.
- Stockhausen, Karlheinz [1959-1960]. *Carré*
Partitura — Vienna: Universal Edition.
Gravação — Stockhausen Edition no. 5. Köln: Stockhausen-Verlag.
- Stockhausen, Karlheinz [1966]. *Telemusik*
Partitura — Vienna: Universal Edition.
Gravação — Stockhausen Edition no. 9. Köln: Stockhausen-Verlag.
- Stockhausen, Karlheinz [1968]. *Hinab-Hinauf*
Obra planeada, mas não concluída.
Documentação — (Maconie, 1990).
- Stockhausen, Karlheinz [1968]. *Spiral*
Partitura — Vienna: Universal Edition.
Gravação — Stockhausen Edition no. 46. Köln: Stockhausen-Verlag.

Stockhausen, Karlheinz [1970]. *Mantra*

Partitura — Köln: Stockhausen-Verlag.

Gravação — Stockhausen Edition no. 16. Köln: Stockhausen-Verlag.

Stockhausen, Karlheinz [1975-1977]. *Sirius*

Partitura — Köln: Stockhausen-Verlag.

Gravação — Stockhausen Edition no. 26. Köln: Stockhausen-Verlag.

Stockhausen, Karlheinz [1977-2003]. *Licht*

Partitura — Köln: Stockhausen-Verlag.

Gravação — Stockhausen Edition no. 30, 34, 36, 40, 50-55, 58, 66-69, 73-74. Köln: Stockhausen-Verlag.

Stockhausen, Karlheinz [1990-1991]. *Oktophonie*

Partitura — Köln: Stockhausen-Verlag.

Gravação — Stockhausen Edition no. 41. Köln: Stockhausen-Verlag.

Stockhausen, Karlheinz [1992-1993]. *Helikopter-Streichquartett*

Partitura — Köln: Stockhausen-Verlag.

Gravação — Stockhausen Edition no. 53. Köln: Stockhausen-Verlag.

Stockhausen, Karlheinz [2004-2007]. *Klang*

Partitura — Köln: Stockhausen-Verlag.

Gravação — Stockhausen Edition no. 83-99. Köln: Stockhausen-Verlag.

Stockhausen, Karlheinz [2006-2007]. *Cosmic Pulses*

Partitura — Köln: Stockhausen-Verlag.

Gravação — Stockhausen Edition no. 91. Köln: Stockhausen-Verlag.

Tudor, David [1968]. *Rainforest I*

Documentação — <http://davidtudor.org/Works/rainforest.html>.

Tudor, David [1973]. *Rainforest IV*

Documentação — <http://davidtudor.org/Works/rainforest.html>.

Varèse, Edgard [1958]. *Poème Électronique*

Gravação — Varèse, Edgard (1995). Cambridge, MA: Neuma Records.

- Verdi, Giuseppe [1874]. *Messa da Requiem / Manzoni Requiem*
Partitura — Leipzig: Eulenburg.
Gravação — Solti, Georg et al. (2006). London: Decca Classics.
- Wishart, Trevor [1980-1982]. *Vox 1*
Gravação — Electric Phoenix (1990). London: Virgin Classics.
- Wishart, Trevor [1982-1984]. *Vox 2*
Gravação — Electric Phoenix (1990). London: Virgin Classics.
- Wishart, Trevor [1985-1986]. *Vox 3*
Gravação — Electric Phoenix (1990). London: Virgin Classics.
- Wishart, Trevor [1987]. *Vox 4*
Gravação — Electric Phoenix (1990). London: Virgin Classics.
- Wishart, Trevor [1979-1986]. *Vox 5*
Gravação — Electric Phoenix (1990). London: Virgin Classics.
- Wishart, Trevor [1988]. *Vox 6*
Gravação — Electric Phoenix (1990). London: Virgin Classics.
- Xenakis, Iannis [1953-1954]. *Metastaseis*
Partitura — London: Boosey & Hawkes.
Gravação — Tamayo, Arturo et al. (2009). Vincennes: Timpani Records.
- Xenakis, Iannis [1955-1956]. *Pithoprakta*
Partitura — London: Boosey & Hawkes.
Gravação — Tamayo, Arturo et al. (2009). Vincennes: Timpani Records.
- Xenakis, Iannis [1958]. *Concret PH*
Gravação — Xenakis, Iannis (1997). New York: Electronic Music Foundation.
- Xenakis, Iannis [1965-1966]. *Terretektorh*
Partitura — Paris: Editions Salabert.
Gravação — Bruck, Charles et al. (2003). Berlin: Edition RZ.
- Xenakis, Iannis [1967-1968]. *Nomos Gamma*
Partitura — Paris: Editions Salabert.
Gravação — Bruck, Charles et al. (2003). Berlin: Edition RZ.

Xenakis, Iannis [1969-1970]. *Hibiki Hana Ma*

Gravação — Xenakis, Iannis (1997). New York: Electronic Music Foundation.

Xenakis, Iannis [1978]. *Mycenae-Alpha*

Gravação — Xenakis, Iannis (1995). Cambridge, MA: Neuma Records.

Apêndices

Índice do Apêndice Digital

Composição	1_Sonoridades Líquidas [2007]	Arduino pasta com código para o Arduino DVD_CdM pasta com documentário realizado pela Casa da Música Max_project pasta com os <i>patches</i> de Max concebidos para a instalação <i>video.mp4</i> vídeo de documentação da instalação
	2_obra com título longo [2009]	<i>audio.aif</i> gravação em estúdio, pelo Performa Ensemble <i>partitura.pdf</i> partitura da obra, tal como reproduzida em apêndice
	3_eCaro [2011]	<i>video.mp4</i> vídeo de documentação da performance de estreia
	4_in many, many ears [2011]	<i>audio.wav</i> gravação ao vivo da estreia, pelo flautista António Carrilho <i>partitura.pdf</i> partitura da obra, tal como reproduzida em apêndice
	5_auditorium [2012]	aplicação_MacOs pasta com aplicação necessária à performance da peça Arduino pasta com código para o Arduino <i>instruções_técnicas.pdf</i> instruções para preparação técnica da performance interface_controlOSC pasta com interface de controlo para a aplicação Control Max_project pasta com os <i>patches</i> de Max concebidos para a performance <i>partitura.pdf</i> partitura da obra, tal como reproduzida em apêndice <i>video.mov</i> vídeo de documentação da performance de estreia
	6_pendulum [2012]	aplicações_MacOs pasta com as aplicações necessárias à performance da peça <i>audio (spatium.ambi).aif</i> gravação ao vivo da estreia, pelo Sond'Ar-te Electric Ensemble

6_pendulum [2012] (cont.)

instruções_técnicas.pdf

instruções para preparação técnica da performance

Max_project

pasta com os *patches* de Max concebidos para a performance

partes

pasta com as partes individuais dos instrumentos

partitura.pdf

partitura da obra, tal como reproduzida em apêndice

sketch_Processing

pasta com os *sketches* de Processing para o vídeo em tempo real

video.mov

vídeo de documentação da performance de estreia

Spatium

aplicações_MacOs

testadas com Os X v. 10.9

interfaces

pasta com as dez interfaces de espacialização

motores

pasta com os quatro motores de espacialização

objectos_Max

pasta com a biblioteca de objectos para Max

plugins

pasta com *plugin* Audio Unit e *plugins* para o Max for Live

código_fonte

em formato Processing, Max ou Xcode

interfaces

pasta com os *sketches* de Processing das interfaces de espacialização

licenses&acknowledgments

referências e licenças das bibliotecas externas utilizadas no spatium

motores

pasta com os *patches* de Max dos motores de espacialização

objectos_Max

pasta com os projectos Xcode dos objectos para Max

plugin

pasta com o projecto Xcode do *plugin* Audio Unit

documentação

em formato webarchive (Apple Safari)

interfaces

pasta com documentação sobre as interfaces de espacialização

motores

pasta com documentação sobre os motores de espacialização

objectos_Max

pasta com documentação sobre a biblioteca de objectos para Max

plugins

pasta com documentação sobre os *plugins*

video.mp4

vídeo com apresentação global do spatium

Código ¹

¹ Neste apêndice encontra-se apenas o código da implementação das duas técnicas de espacialização desenvolvidas — HOA-DE e APbSP — como parte da biblioteca de objectos para Max. O restante código poderá ser consultado no apêndice digital.

spatium·encode

```
/**
    calculate matrix~ gains to encode a 3rd order horizontal, 1st order
    vertical ambisonics soundfield with distance encoding

    Part of spatium, a set of open source tools for sound spatialization:

    http://spatium.ruipenha.pt
    http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/
    ruipenha. 2012/14
    http://ruipenha.pt
*/

#include "ext.h"          // standard Max include, always required
#include "ext_obex.h"     // required for new style Max object

//////////////////// object struct
typedef struct _spatiumencode
{
    t_object p_ob;
    long p_channel;
    double p_azimuth;
    double p_elevation;
    double p_radius;
    void *p_outlet;
} t_spatiumencode;

//////////////////// function prototypes
void *spatiumencode_new(t_atom_long n);
void spatiumencode_free(t_spatiumencode *x);
void spatiumencode_assist(t_spatiumencode *x, void *b, long m, long a, char *s);
void spatiumencode_bang(t_spatiumencode *x);
void spatiumencode_int(t_spatiumencode *x, t_atom_long n);
void spatiumencode_float(t_spatiumencode *x, double n);
void spatiumencode_ft1(t_spatiumencode *x, double n);
void spatiumencode_ft2(t_spatiumencode *x, double n);

//////////////////// global class pointer variable
t_class *spatiumencode_class;

//////////////////// when object is used for the first time
int C74_EXPORT main(void)
{
    // object initialization, NEW STYLE
    t_class *c;

    c = class_new("spatium.encode", (method)spatiumencode_new, (method)spatiumencode_free,
        (long)sizeof(t_spatiumencode), 0L /* leave NULL!! */, A_DEFLONG, 0);

    CLASS_ATTR_LONG(c, "channel", 0, t_spatiumencode, p_channel);

    /* you CAN'T call this from the patcher */
    class_addmethod(c, (method)spatiumencode_bang, "bang", 0);
    class_addmethod(c, (method)spatiumencode_int, "int", A_LONG, 0);
    class_addmethod(c, (method)spatiumencode_float, "float", A_FLOAT, 0);
    class_addmethod(c, (method)spatiumencode_ft1, "ft1", A_FLOAT, 0);
    class_addmethod(c, (method)spatiumencode_ft2, "ft2", A_FLOAT, 0);
    class_addmethod(c, (method)spatiumencode_assist, "assist", A_CANT, 0);

    class_register(CLASS_BOX, c); /* CLASS_NOBOX */
    spatiumencode_class = c;

    post("ruipenha. 2012/14 · spatium.encode v1.01");
    return 0;
}

//////////////////// when each object is instantiated
void *spatiumencode_new(t_atom_long n)
{
    t_spatiumencode *x;
    x = (t_spatiumencode *)object_alloc(spatiumencode_class);

    floatin(x, 2);
    floatin(x, 1);
    x->p_outlet = outlet_new((t_object *)x, NULL);
}
```

```

x->p_channel = n;           // set channel value to object argument or default 0
x->p_azimuth = 0.0;        // set azimuth to default 0 rad = 0 deg
x->p_elevation = 0.0;     // set azimuth to default 0 rad = 0 deg
x->p_radius = 1.57079633; // set azimuth to default pi/2 rad <=> 1.0 input
return(x);
}

////////////////////////////////// dsp-free - not used
void spatiumencode_free(t_spatiumencode *x)
{
;
}

////////////////////////////////// inlet & outlet cues on mouse over
void spatiumencode_assist(t_spatiumencode *x, void *b, long m, long a, char *s)
{
if (m == ASSIST_OUTLET)
{
sprintf(s,"matrix~ gains"); // outlet
}
else
{
switch (a)
{
case 0:
sprintf(s,"Inlet %ld: Azimuth (Causes Output)", a); // leftmost inlet
break;
case 1:
sprintf(s,"Inlet %ld: Elevation", a); // middle inlet
break;
case 2:
sprintf(s,"Inlet %ld: Radius", a); // rightmost inlet
break;
}
}
}

////////////////////////////////// when a bang is received in the leftmost inlet
void spatiumencode_bang(t_spatiumencode *x)
{
// output (outlet) a 3 argument list for each channel: inputChannel outputChannel gainValue
t_atom argv[3];
atom_setlong(argv, x->p_channel); // the inputChannel is always the same
// 0: W (0, 0)
atom_setlong(argv + 1, 0);
atom_setfloat(argv + 2, 0.707106781);
outlet_list(x->p_outlet, NULL, 3, argv);
// 1: X (1, 1)
atom_setlong(argv + 1, 1);
atom_setfloat(argv + 2, cos(x->p_azimuth) * cos(x->p_elevation) * sin(x->p_radius));
outlet_list(x->p_outlet, NULL, 3, argv);
// 2: Y (1, -1)
atom_setlong(argv + 1, 2);
atom_setfloat(argv + 2, sin(x->p_azimuth) * cos(x->p_elevation) * sin(x->p_radius));
outlet_list(x->p_outlet, NULL, 3, argv);
// 3: Z (1, 0)
atom_setlong(argv + 1, 3);
atom_setfloat(argv + 2, sin(x->p_elevation) * sin(x->p_radius));
outlet_list(x->p_outlet, NULL, 3, argv);
// 4: S (2, 1)
atom_setlong(argv + 1, 4);
atom_setfloat(argv + 2, cos(x->p_azimuth) * sin(2.0 * x->p_elevation) * sin(x->p_radius));
outlet_list(x->p_outlet, NULL, 3, argv);
// 5: T (2, -1)
atom_setlong(argv + 1, 5);
atom_setfloat(argv + 2, sin(x->p_azimuth) * sin(2.0 * x->p_elevation) * sin(x->p_radius));
outlet_list(x->p_outlet, NULL, 3, argv);
// 6: U (2, 2)
atom_setlong(argv + 1, 6);
atom_setfloat(argv + 2, cos(2.0 * x->p_azimuth) * cos(x->p_elevation) * cos(x->p_elevation) *
sin(x->p_radius));
outlet_list(x->p_outlet, NULL, 3, argv);
// 7: V (2, -2)
atom_setlong(argv + 1, 7);
atom_setfloat(argv + 2, sin(2.0 * x->p_azimuth) * cos(x->p_elevation) * cos(x->p_elevation) *
sin(x->p_radius));
outlet_list(x->p_outlet, NULL, 3, argv);
// 8: N (3, 2)
atom_setlong(argv + 1, 8);
atom_setfloat(argv + 2, 2.598076211 * cos(2.0 * x->p_azimuth) * sin(x->p_elevation) *
cos(x->p_elevation) * cos(x->p_elevation) * sin(x->p_radius));
outlet_list(x->p_outlet, NULL, 3, argv);
}
}

```

```

// 9: O (3, -2)
atom_setlong(argv + 1, 9);
atom_setfloat(argv + 2, 2.598076211 * sin(2.0 * x->p_azimuth) * sin(x->p_elevation) *
cos(x->p_elevation) * cos(x->p_elevation) * sin(x->p_radius));
outlet_list(x->p_outlet, NULL, 3, argv);
// 10: P (3, 3)
atom_setlong(argv + 1, 10);
atom_setfloat(argv + 2, cos(3.0 * x->p_azimuth) * cos(x->p_elevation) * cos(x->p_elevation) *
cos(x->p_elevation) * sin(x->p_radius));
outlet_list(x->p_outlet, NULL, 3, argv);
// 11: Q (3, -3)
atom_setlong(argv + 1, 11);
atom_setfloat(argv + 2, sin(3.0 * x->p_azimuth) * cos(x->p_elevation) * cos(x->p_elevation) *
cos(x->p_elevation) * sin(x->p_radius));
outlet_list(x->p_outlet, NULL, 3, argv);
// 12: D
atom_setlong(argv + 1, 12);
atom_setfloat(argv + 2, cos(x->p_radius));
outlet_list(x->p_outlet, NULL, 3, argv);
}

////////////////////// when an int is received in the leftmost inlet
void spatiumencode_int(t_spatiumencode*x, t_atom_long n){
x->p_azimuth = (n / 180.0) * 3.14159265; // convert degrees to radians
spatiumencode_bang(x); // output matrix~ values
}

////////////////////// when a float is received in the leftmost inlet
void spatiumencode_float(t_spatiumencode*x, double n){
x->p_azimuth = (n / 180.0) * 3.14159265; // convert degrees to radians
spatiumencode_bang(x); // output matrix~ values
}

////////////////////// when a float is received in the middle inlet
void spatiumencode_ft1(t_spatiumencode *x, double n)
{
x->p_elevation = (n / 180.0) * 3.14159265; // convert degrees to radians
}

////////////////////// when a float is received in the rightmost inlet
void spatiumencode_ft2(t_spatiumencode *x, double n)
{
// enforce the range limits
double constrainN = n;
if(constrainN > 1.0)
{
constrainN = 1.0;
}
else if(constrainN < 0.0)
{
constrainN = 0.0;
}

// then scale range to 0. -> pi/2
x->p_radius = constrainN * 1.57079633;
}

```

spatium·decode

```
/**
    calculate matrix~ gains to decode a 3rd order horizontal, 1st order vertical
    ambisonics soundfield with distance encoding

    Part of spatium, a set of open source tools for sound spatialization:

    http://spatium.ruipenha.pt
    http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/
    ruipenha. 2012/14
    http://ruipenha.pt
*/

#include "ext.h" // standard Max include, always required
#include "ext_obex.h" // required for new style Max object

////////// object struct
typedef struct _spatiumdecode
{
    t_object p_ob;
    t_bool p_surroundMode;
    double p_speakerGain;
    double p_zerothOrderWeight;
    double p_firstOrderWeight;
    double p_secondOrderWeight;
    double p_thirdOrderWeight;
    double p_distanceWeight;
    t_bool p_2D;
    long p_orderInUse;
    long p_speakers;
    double p_speakerAzimuth[32];
    double p_speakerElevation[32];
    void *p_outlet1;
    void *p_outlet2;
} t_spatiumdecode;

////////// function prototypes
void *spatiumdecode_new(t_symbol *s);
void spatiumdecode_free(t_spatiumdecode *x);
void spatiumdecode_assist(t_spatiumdecode *x, void *b, long m, long a, char *s);
void spatiumdecode_bang(t_spatiumdecode *x);
t_max_err spatiumdecode_notify(t_spatiumdecode *x, t_symbol *s, t_symbol *msg, void *sender,
                               void *data);
void spatiumdecode_setOrderWeights(t_spatiumdecode *x, t_symbol *s, long argc, t_atom *argv);
void spatiumdecode_dump(t_spatiumdecode *x, t_symbol *s, long argc, t_atom *argv);
void spatiumdecode_define_loudspeakers(t_spatiumdecode *x, t_symbol *s, long argc, t_atom *argv);
void spatiumdecode_calculateWeights(t_spatiumdecode *x);

////////// global class pointer variable
void *spatiumdecode_class;

////////// when object is used for the first time
int C74_EXPORT main(void)
{
    // object initialization, NEW STYLE
    t_class *c;

    c = class_new("spatium.decode", (method)spatiumdecode_new, (method)spatiumdecode_free,
                (long)sizeof(t_spatiumdecode), 0L /* leave NULL!! */, A_DEFSYM, 0);

    CLASS_ATTR_DOUBLE(c, "speakerGain", 0, t_spatiumdecode, p_speakerGain);
    CLASS_ATTR_DOUBLE(c, "0thOrderWeight", 0, t_spatiumdecode, p_zerothOrderWeight);
    CLASS_ATTR_DOUBLE(c, "1stOrderWeight", 0, t_spatiumdecode, p_firstOrderWeight);
    CLASS_ATTR_DOUBLE(c, "2ndOrderWeight", 0, t_spatiumdecode, p_secondOrderWeight);
    CLASS_ATTR_DOUBLE(c, "3rdOrderWeight", 0, t_spatiumdecode, p_thirdOrderWeight);
    CLASS_ATTR_DOUBLE(c, "distanceWeight", 0, t_spatiumdecode, p_distanceWeight);

    /* you CAN'T call this from the patcher */
    class_addmethod(c, (method)spatiumdecode_bang, "bang", 0);
    class_addmethod(c, (method)spatiumdecode_assist, "assist", A_CANT, 0);
    class_addmethod(c, (method)spatiumdecode_define_loudspeakers, "define_loudspeakers", A_GIMME, 0);
    class_addmethod(c, (method)spatiumdecode_setOrderWeights, "setOrderWeights", A_GIMME, 0);
    class_addmethod(c, (method)spatiumdecode_notify, "notify", A_CANT, 0);
    class_addmethod(c, (method)spatiumdecode_dump, "dump", A_GIMME, 0);
}
```

```

class_register(CLASS_BOX, c); /* CLASS_NOBOX */
spatiumdecode_class = c;

post("ruipenha. 2012/14 · spatium.decode v1.01");
return 0;
}

//////////////////////////////////// when each object is instantiated
void *spatiumdecode_new(t_symbol *s)
{
    t_spatiumdecode *x;

    x = (t_spatiumdecode *)object_alloc(spatiumdecode_class);
    object_attach_byptr_register(x, x, CLASS_BOX);

    x->p_outlet1 = outlet_new((t_object *)x, NULL);
    x->p_outlet2 = outlet_new((t_object *)x, NULL);

    // if no argument was give, set to default (octagon)
    if(s == gensym(""))
    {
        s = gensym("octagon");
    }

    // check argument and call spatiumdecode_define_loudspeakers() with speaker configuration
    t_atom argv[41];
    if(s == gensym("square"))
    {
        atom_setlong(argv, 2);
        atom_setfloat(argv + 1, 45.0);
        atom_setfloat(argv + 2, 135.0);
        atom_setfloat(argv + 3, -135.0);
        atom_setfloat(argv + 4, -45.0);
        x->p_surroundMode = false;
        x->p_speakerGain = 0.5;
        x->p_distanceWeight = 0.5;
        spatiumdecode_define_loudspeakers(x, gensym("define_loudspeakers"), 5, argv);
    }
    else if(s == gensym("pentagon"))
    {
        atom_setlong(argv, 2);
        atom_setfloat(argv + 1, 0.0);
        atom_setfloat(argv + 2, 72.0);
        atom_setfloat(argv + 3, 144.0);
        atom_setfloat(argv + 4, -144.0);
        atom_setfloat(argv + 5, -72.0);
        x->p_surroundMode = false;
        x->p_speakerGain = 0.5;
        x->p_distanceWeight = 0.5;
        spatiumdecode_define_loudspeakers(x, gensym("define_loudspeakers"), 6, argv);
    }
    else if(s == gensym("surround"))
    {
        x->p_surroundMode = true;
        x->p_speakers = 5;
        x->p_distanceWeight = 0.5;
    }
    else if(s == gensym("hexagon"))
    {
        atom_setlong(argv, 2);
        atom_setfloat(argv + 1, 30.0);
        atom_setfloat(argv + 2, 90.0);
        atom_setfloat(argv + 3, 150.0);
        atom_setfloat(argv + 4, -150.0);
        atom_setfloat(argv + 5, -90.0);
        atom_setfloat(argv + 6, -30.0);
        x->p_surroundMode = false;
        x->p_speakerGain = 0.5;
        x->p_distanceWeight = 0.5;
        spatiumdecode_define_loudspeakers(x, gensym("define_loudspeakers"), 7, argv);
    }
    else if(s == gensym("octagon"))
    {
        atom_setlong(argv, 2);
        atom_setfloat(argv + 1, 22.5);
        atom_setfloat(argv + 2, 67.5);
        atom_setfloat(argv + 3, 112.5);
        atom_setfloat(argv + 4, 157.5);
        atom_setfloat(argv + 5, -157.5);
        atom_setfloat(argv + 6, -112.5);
        atom_setfloat(argv + 7, -67.5);
        atom_setfloat(argv + 8, -22.5);
        x->p_surroundMode = false;
    }
}

```

```

x->p_speakerGain = 0.5;
x->p_distanceWeight = 0.5;
spatiumdecode_define_loudspeakers(x, gensym("define_loudspeakers"), 9, argv);
}
else if(s == gensym("dodecagon"))
{
atom_setlong(argv, 2);
atom_setfloat(argv + 1, 15.0);
atom_setfloat(argv + 2, 45.0);
atom_setfloat(argv + 3, 75.0);
atom_setfloat(argv + 4, 105.0);
atom_setfloat(argv + 5, 135.0);
atom_setfloat(argv + 6, 165.0);
atom_setfloat(argv + 7, -165.0);
atom_setfloat(argv + 8, -135.0);
atom_setfloat(argv + 9, -105.0);
atom_setfloat(argv + 10, -75.0);
atom_setfloat(argv + 11, -45.0);
atom_setfloat(argv + 12, -15.0);
x->p_surroundMode = false;
x->p_speakerGain = 0.5;
x->p_distanceWeight = 0.5;
spatiumdecode_define_loudspeakers(x, gensym("define_loudspeakers"), 13, argv);
}
else if(s == gensym("hexadecagon"))
{
atom_setlong(argv, 2);
atom_setfloat(argv + 1, 11.25);
atom_setfloat(argv + 2, 33.75);
atom_setfloat(argv + 3, 56.25);
atom_setfloat(argv + 4, 78.75);
atom_setfloat(argv + 5, 101.25);
atom_setfloat(argv + 6, 123.75);
atom_setfloat(argv + 7, 146.25);
atom_setfloat(argv + 8, 168.75);
atom_setfloat(argv + 9, -168.75);
atom_setfloat(argv + 10, -146.25);
atom_setfloat(argv + 11, -123.75);
atom_setfloat(argv + 12, -101.25);
atom_setfloat(argv + 13, -78.75);
atom_setfloat(argv + 14, -56.25);
atom_setfloat(argv + 15, -33.75);
atom_setfloat(argv + 16, -11.25);
x->p_surroundMode = false;
x->p_speakerGain = 0.5;
x->p_distanceWeight = 0.5;
spatiumdecode_define_loudspeakers(x, gensym("define_loudspeakers"), 17, argv);
}
else if(s == gensym("hexahedron"))
{
atom_setlong(argv, 3);
atom_setfloat(argv + 1, 45.0);
atom_setfloat(argv + 2, 0.0);
atom_setfloat(argv + 3, 135.0);
atom_setfloat(argv + 4, 0.0);
atom_setfloat(argv + 5, -135.0);
atom_setfloat(argv + 6, 0.0);
atom_setfloat(argv + 7, -45.0);
atom_setfloat(argv + 8, 0.0);
atom_setfloat(argv + 9, 0.0);
atom_setfloat(argv + 10, 90.0);
atom_setfloat(argv + 11, 0.0);
atom_setfloat(argv + 12, -90.0);
x->p_surroundMode = false;
x->p_speakerGain = 0.5;
x->p_distanceWeight = 0.5;
spatiumdecode_define_loudspeakers(x, gensym("define_loudspeakers"), 13, argv);
}
else if(s == gensym("octahedron"))
{
atom_setlong(argv, 3);
atom_setfloat(argv + 1, 45.0);
atom_setfloat(argv + 2, 35.2644);
atom_setfloat(argv + 3, 135.0);
atom_setfloat(argv + 4, 35.2644);
atom_setfloat(argv + 5, -135.0);
atom_setfloat(argv + 6, 35.2644);
atom_setfloat(argv + 7, -45.0);
atom_setfloat(argv + 8, 35.2644);
atom_setfloat(argv + 9, 45.0);
atom_setfloat(argv + 10, -35.2644);
atom_setfloat(argv + 11, 135.0);
atom_setfloat(argv + 12, -35.2644);
}

```

```

atom_setfloat(argv + 13, -135.0);
atom_setfloat(argv + 14, -35.2644);
atom_setfloat(argv + 15, -45.0);
atom_setfloat(argv + 16, -35.2644);
x->p_surroundMode = false;
x->p_speakerGain = 0.5;
x->p_distanceWeight = 0.5;
spatiumdecode_define_loudspeakers(x, gensym("define_loudspeakers"), 17, argv);
}
else if(s == gensym("dodecahedron"))
{
atom_setlong(argv, 3);
atom_setfloat(argv + 1, 90.0);
atom_setfloat(argv + 2, 58.2832);
atom_setfloat(argv + 3, -90.0);
atom_setfloat(argv + 4, 58.2832);
atom_setfloat(argv + 5, 0.0);
atom_setfloat(argv + 6, 31.7177);
atom_setfloat(argv + 7, -180.0);
atom_setfloat(argv + 8, 31.7177);
atom_setfloat(argv + 9, 58.2825);
atom_setfloat(argv + 10, 0.0);
atom_setfloat(argv + 11, 121.7175);
atom_setfloat(argv + 12, 0.0);
atom_setfloat(argv + 13, -121.7175);
atom_setfloat(argv + 14, 0.0);
atom_setfloat(argv + 15, -58.2825);
atom_setfloat(argv + 16, 0.0);
atom_setfloat(argv + 17, 0.0);
atom_setfloat(argv + 18, -31.7177);
atom_setfloat(argv + 19, -180.0);
atom_setfloat(argv + 20, -31.7177);
atom_setfloat(argv + 21, 90.0);
atom_setfloat(argv + 22, -58.2832);
atom_setfloat(argv + 23, -90.0);
atom_setfloat(argv + 24, -58.2832);
x->p_surroundMode = false;
x->p_speakerGain = 0.5;
x->p_distanceWeight = 0.5;
spatiumdecode_define_loudspeakers(x, gensym("define_loudspeakers"), 25, argv);
}
else if(s == gensym("icosahedron"))
{
atom_setlong(argv, 3);
atom_setfloat(argv + 1, 90.0);
atom_setfloat(argv + 2, 69.0948);
atom_setfloat(argv + 3, -90.0);
atom_setfloat(argv + 4, 69.0948);
atom_setfloat(argv + 5, 45.0);
atom_setfloat(argv + 6, 35.2644);
atom_setfloat(argv + 7, 135.0);
atom_setfloat(argv + 8, 35.2644);
atom_setfloat(argv + 9, -135.0);
atom_setfloat(argv + 10, 35.2644);
atom_setfloat(argv + 11, -45.0);
atom_setfloat(argv + 12, 35.2644);
atom_setfloat(argv + 13, 0.0);
atom_setfloat(argv + 14, 20.9052);
atom_setfloat(argv + 15, -180.0);
atom_setfloat(argv + 16, 20.9052);
atom_setfloat(argv + 17, 69.0948);
atom_setfloat(argv + 18, 0.0);
atom_setfloat(argv + 19, 110.9052);
atom_setfloat(argv + 20, 0.0);
atom_setfloat(argv + 21, -110.9052);
atom_setfloat(argv + 22, 0.0);
atom_setfloat(argv + 23, -69.0948);
atom_setfloat(argv + 24, 0.0);
atom_setfloat(argv + 25, 0.0);
atom_setfloat(argv + 26, -20.9052);
atom_setfloat(argv + 27, -180.0);
atom_setfloat(argv + 28, -20.9052);
atom_setfloat(argv + 29, 45.0);
atom_setfloat(argv + 30, -35.2644);
atom_setfloat(argv + 31, 135.0);
atom_setfloat(argv + 32, -35.2644);
atom_setfloat(argv + 33, -135.0);
atom_setfloat(argv + 34, -35.2644);
atom_setfloat(argv + 35, -45.0);
atom_setfloat(argv + 36, -35.2644);
atom_setfloat(argv + 37, 90.0);
atom_setfloat(argv + 38, -69.0948);
atom_setfloat(argv + 39, -90.0);
}

```



```

    atom_setfloat(argv + 40, -69.0948);
    x->p_surroundMode = false;
    x->p_speakerGain = 0.5;
    x->p_distanceWeight = 0.5;
    spatiumdecode_define_loudspeakers(x, gensym("define_loudspeakers"), 41, argv);
}
else if(s == gensym("toBinaural"))
{
    atom_setlong(argv, 2);
    atom_setfloat(argv + 1, 0.0);
    atom_setfloat(argv + 2, 15.0);
    atom_setfloat(argv + 3, 30.0);
    atom_setfloat(argv + 4, 45.0);
    atom_setfloat(argv + 5, 60.0);
    atom_setfloat(argv + 6, 75.0);
    atom_setfloat(argv + 7, 90.0);
    atom_setfloat(argv + 8, 105.0);
    atom_setfloat(argv + 9, 120.0);
    atom_setfloat(argv + 10, 135.0);
    atom_setfloat(argv + 11, 150.0);
    atom_setfloat(argv + 12, 165.0);
    atom_setfloat(argv + 13, -180.0);
    atom_setfloat(argv + 14, -165.0);
    atom_setfloat(argv + 15, -150.0);
    atom_setfloat(argv + 16, -135.0);
    atom_setfloat(argv + 17, -120.0);
    atom_setfloat(argv + 18, -105.0);
    atom_setfloat(argv + 19, -90.0);
    atom_setfloat(argv + 20, -75.0);
    atom_setfloat(argv + 21, -60.0);
    atom_setfloat(argv + 22, -45.0);
    atom_setfloat(argv + 23, -30.0);
    atom_setfloat(argv + 24, -15.0);
    x->p_surroundMode = false;
    x->p_speakerGain = 0.5;
    x->p_distanceWeight = 0.5;
    spatiumdecode_define_loudspeakers(x, gensym("define_loudspeakers"), 25, argv);
}
else
{
    object_error((t_object*)x, "%s is not a valid template.",s->s_name);
}

return (x);
}

////////// dsp-free - not used
void spatiumdecode_free(t_spatiumdecode *x)
{
    ;
}

////////// inlet & outlet cues on mouse over
void spatiumdecode_assist(t_spatiumdecode *x, void *b, long m, long a, char *s)
{
    switch (m)
    {
        case 1:
            switch (a)
            {
                case 0:
                    sprintf(s,"Inlet %ld: bang!", a); // inlet
                    break;
            }
            break;
        case 2:
            switch (a)
            {
                case 0:
                    sprintf(s,"Outlet %ld: matrix~ gains", a); // left outlet
                    break;
                case 1:
                    sprintf(s,"Outlet %ld: dump output", a); // right outlet
                    break;
            }
            break;
    }
}

////////// when a bang is received in the inlet
void spatiumdecode_bang(t_spatiumdecode *x)
{
    // if the configuration is not ITU 5.1...

```

```

if(x->p_surroundMode == false)
{
    int i;
    t_atom argv[3];
    for(i = 0; i < x->p_speakers; i++)
    {
        // output (left outlet) a 3 argument list for each speaker: inputChannel outputChannel gainValue
        atom_setlong(argv + 1, i); // the outputChannel is always the same for each iteration
        // 0: W (0, 0)
        atom_setlong(argv, 0);
        atom_setfloat(argv + 2, x->p_zerothOrderWeight * x->p_speakerGain);
        outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
        // 1: X (1, 1)
        atom_setlong(argv, 1);
        atom_setfloat(argv + 2, cos(x->p_speakerAzimuth[i]) * cos(x->p_speakerElevation[i]) *
            x->p_firstOrderWeight * x->p_speakerGain);
        outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
        // 2: Y (1, -1)
        atom_setlong(argv, 2);
        atom_setfloat(argv + 2, sin(x->p_speakerAzimuth[i]) * cos(x->p_speakerElevation[i]) *
            x->p_firstOrderWeight * x->p_speakerGain);
        outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
        // 3: Z (1, 0)
        atom_setlong(argv, 3);
        atom_setfloat(argv + 2, sin(x->p_speakerElevation[i]) * x->p_firstOrderWeight *
            x->p_speakerGain);
        outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
        // 4: S (2, 1)
        atom_setlong(argv, 4);
        atom_setfloat(argv + 2, cos(x->p_speakerAzimuth[i]) * sin(2.0 * x->p_speakerElevation[i]) *
            x->p_secondOrderWeight * x->p_speakerGain);
        outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
        // 5: T (2, -1)
        atom_setlong(argv, 5);
        atom_setfloat(argv + 2, sin(x->p_speakerAzimuth[i]) * sin(2.0 * x->p_speakerElevation[i]) *
            x->p_secondOrderWeight * x->p_speakerGain);
        outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
        // 6: U (2, 2)
        atom_setlong(argv, 6);
        atom_setfloat(argv + 2, cos(2.0 * x->p_speakerAzimuth[i]) * cos(x->p_speakerElevation[i]) *
            cos(x->p_speakerElevation[i]) * x->p_secondOrderWeight *
            x->p_speakerGain);
        outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
        // 7: V (2, -2)
        atom_setlong(argv, 7);
        atom_setfloat(argv + 2, sin(2.0 * x->p_speakerAzimuth[i]) * cos(x->p_speakerElevation[i]) *
            cos(x->p_speakerElevation[i]) * x->p_secondOrderWeight *
            x->p_speakerGain);
        outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
        // 8: N (3, 2)
        atom_setlong(argv, 8);
        atom_setfloat(argv + 2, 2.598076211 * cos(2.0 * x->p_speakerAzimuth[i]) *
            sin(x->p_speakerElevation[i]) * cos(x->p_speakerElevation[i]) *
            cos(x->p_speakerElevation[i]) * x->p_thirdOrderWeight *
            x->p_speakerGain);
        outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
        // 9: O (3, -2)
        atom_setlong(argv, 9);
        atom_setfloat(argv + 2, 2.598076211 * sin(2.0 * x->p_speakerAzimuth[i]) *
            sin(x->p_speakerElevation[i]) * cos(x->p_speakerElevation[i]) *
            cos(x->p_speakerElevation[i]) * x->p_thirdOrderWeight *
            x->p_speakerGain);
        outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
        // 10: P (3, 3)
        atom_setlong(argv, 10);
        atom_setfloat(argv + 2, cos(3.0 * x->p_speakerAzimuth[i]) * cos(x->p_speakerElevation[i]) *
            cos(x->p_speakerElevation[i]) * cos(x->p_speakerElevation[i]) *
            x->p_thirdOrderWeight * x->p_speakerGain);
        outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
        // 11: Q (3, -3)
        atom_setlong(argv, 11);
        atom_setfloat(argv + 2, sin(3.0 * x->p_speakerAzimuth[i]) * cos(x->p_speakerElevation[i]) *
            cos(x->p_speakerElevation[i]) * cos(x->p_speakerElevation[i]) *
            x->p_thirdOrderWeight * x->p_speakerGain);
        outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
        // 12: D
        atom_setlong(argv, 12);
        atom_setfloat(argv + 2, x->p_distanceWeight * x->p_speakerGain);
        outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
    }
}
else
{

```

```

// for ITU 5.1: output (left outlet) pre-calculated, optimised decoding values
t_atom argv[3];

// speaker 1: Left Front
atom_setlong(argv + 1, 0);
// 0: W (0, 0) - used
atom_setlong(argv, 0);
atom_setfloat(argv + 2, 0.4724 * x->p_speakerGain);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 1: X (1, 1) - used
atom_setlong(argv, 1);
atom_setfloat(argv + 2, 0.7143 * x->p_speakerGain);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 2: Y (1, -1) - used
atom_setlong(argv, 2);
atom_setfloat(argv + 2, -0.7258 * x->p_speakerGain);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 3: Z (1, 0) - not used
atom_setlong(argv, 3);
atom_setfloat(argv + 2, 0.0);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 4: S (2, 1) - not used
atom_setlong(argv, 4);
atom_setfloat(argv + 2, 0.0);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 5: T (2, -1) - not used
atom_setlong(argv, 5);
atom_setfloat(argv + 2, 0.0);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 6: U (2, 2) - used
atom_setlong(argv, 6);
atom_setfloat(argv + 2, 0.0);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 7: V (2, -2) - used
atom_setlong(argv, 7);
atom_setfloat(argv + 2, -0.3456 * x->p_speakerGain);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 8: N (3, 2) - not used
atom_setlong(argv, 8);
atom_setfloat(argv + 2, 0.0);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 9: O (3, -2) - not used
atom_setlong(argv, 9);
atom_setfloat(argv + 2, 0.0);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 10: P (3, 3) - not used
atom_setlong(argv, 10);
atom_setfloat(argv + 2, 0.0);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 11: Q (3, -3) - not used
atom_setlong(argv, 11);
atom_setfloat(argv + 2, 0.0);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 12: D
atom_setlong(argv, 12);
atom_setfloat(argv + 2, x->p_distanceWeight * x->p_speakerGain);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);

// speaker 2: Right Front
atom_setlong(argv + 1, 1);
// 0: W (0, 0) - used
atom_setlong(argv, 0);
atom_setfloat(argv + 2, 0.4724 * x->p_speakerGain);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 1: X (1, 1) - used
atom_setlong(argv, 1);
atom_setfloat(argv + 2, 0.7143 * x->p_speakerGain);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 2: Y (1, -1) - used
atom_setlong(argv, 2);
atom_setfloat(argv + 2, 0.7258 * x->p_speakerGain);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 3: Z (1, 0) - not used
atom_setlong(argv, 3);
atom_setfloat(argv + 2, 0.0);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 4: S (2, 1) - not used
atom_setlong(argv, 4);
atom_setfloat(argv + 2, 0.0);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 5: T (2, -1) - not used
atom_setlong(argv, 5);
atom_setfloat(argv + 2, 0.0);

```

```

outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 6: U (2, 2) - used
atom_setlong(argv, 6);
atom_setfloat(argv + 2, 0.0);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 7: V (2, -2) - used
atom_setlong(argv, 7);
atom_setfloat(argv + 2, 0.3456 * x->p_speakerGain);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 8: N (3, 2) - not used
atom_setlong(argv, 8);
atom_setfloat(argv + 2, 0.0);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 9: O (3, -2) - not used
atom_setlong(argv, 9);
atom_setfloat(argv + 2, 0.0);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 10: P (3, 3) - not used
atom_setlong(argv, 10);
atom_setfloat(argv + 2, 0.0);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 11: Q (3, -3) - not used
atom_setlong(argv, 11);
atom_setfloat(argv + 2, 0.0);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 12: D
atom_setlong(argv, 12);
atom_setfloat(argv + 2, x->p_distanceWeight * x->p_speakerGain);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);

// speaker 3: Center
atom_setlong(argv + 1, 2);
// 0: W (0, 0) - used
atom_setlong(argv, 0);
atom_setfloat(argv + 2, 0.3226 * x->p_speakerGain);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 1: X (1, 1) - used
atom_setlong(argv, 1);
atom_setfloat(argv + 2, 0.7719 * x->p_speakerGain);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 2: Y (1, -1) - used
atom_setlong(argv, 2);
atom_setfloat(argv + 2, 0.0);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 3: Z (1, 0) - not used
atom_setlong(argv, 3);
atom_setfloat(argv + 2, 0.0);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 4: S (2, 1) - not used
atom_setlong(argv, 4);
atom_setfloat(argv + 2, 0.0);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 5: T (2, -1) - not used
atom_setlong(argv, 5);
atom_setfloat(argv + 2, 0.0);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 6: U (2, 2) - used
atom_setlong(argv, 6);
atom_setfloat(argv + 2, 0.1893);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 7: V (2, -2) - used
atom_setlong(argv, 7);
atom_setfloat(argv + 2, 0.4724 * x->p_speakerGain);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 8: N (3, 2) - not used
atom_setlong(argv, 8);
atom_setfloat(argv + 2, 0.0);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 9: O (3, -2) - not used
atom_setlong(argv, 9);
atom_setfloat(argv + 2, 0.0);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 10: P (3, 3) - not used
atom_setlong(argv, 10);
atom_setfloat(argv + 2, 0.0);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 11: Q (3, -3) - not used
atom_setlong(argv, 11);
atom_setfloat(argv + 2, 0.0);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 12: D
atom_setlong(argv, 12);
atom_setfloat(argv + 2, x->p_distanceWeight * x->p_speakerGain);

```

```

outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);

// speaker 4: Left Surround
atom_setlong(argv + 1, 3);
// 0: W (0, 0) - used
atom_setlong(argv, 0);
atom_setfloat(argv + 2, 0.9101 * x->p_speakerGain);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 1: X (1, 1) - used
atom_setlong(argv, 1);
atom_setfloat(argv + 2, -0.7834 * x->p_speakerGain);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 2: Y (1, -1) - used
atom_setlong(argv, 2);
atom_setfloat(argv + 2, -0.9562 * x->p_speakerGain);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 3: Z (1, 0) - not used
atom_setlong(argv, 3);
atom_setfloat(argv + 2, 0.0);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 4: S (2, 1) - not used
atom_setlong(argv, 4);
atom_setfloat(argv + 2, 0.0);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 5: T (2, -1) - not used
atom_setlong(argv, 5);
atom_setfloat(argv + 2, 0.0);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 6: U (2, 2) - used
atom_setlong(argv, 6);
atom_setfloat(argv + 2, -0.0806 * x->p_speakerGain);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 7: V (2, -2) - used
atom_setlong(argv, 7);
atom_setfloat(argv + 2, 0.0);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 8: N (3, 2) - not used
atom_setlong(argv, 8);
atom_setfloat(argv + 2, 0.0);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 9: O (3, -2) - not used
atom_setlong(argv, 9);
atom_setfloat(argv + 2, 0.0);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 10: P (3, 3) - not used
atom_setlong(argv, 10);
atom_setfloat(argv + 2, 0.0);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 11: Q (3, -3) - not used
atom_setlong(argv, 11);
atom_setfloat(argv + 2, 0.0);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 12: D
atom_setlong(argv, 12);
atom_setfloat(argv + 2, x->p_distanceWeight * x->p_speakerGain);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);

// speaker 5: Right Surround
atom_setlong(argv + 1, 4);
// 0: W (0, 0) - used
atom_setlong(argv, 0);
atom_setfloat(argv + 2, 0.9101 * x->p_speakerGain);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 1: X (1, 1) - used
atom_setlong(argv, 1);
atom_setfloat(argv + 2, -0.7834 * x->p_speakerGain);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 2: Y (1, -1) - used
atom_setlong(argv, 2);
atom_setfloat(argv + 2, 0.9562 * x->p_speakerGain);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 3: Z (1, 0) - not used
atom_setlong(argv, 3);
atom_setfloat(argv + 2, 0.0);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 4: S (2, 1) - not used
atom_setlong(argv, 4);
atom_setfloat(argv + 2, 0.0);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 5: T (2, -1) - not used
atom_setlong(argv, 5);
atom_setfloat(argv + 2, 0.0);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);

```

```

// 6: U (2, 2) - used
atom_setlong(argv, 6);
atom_setfloat(argv + 2, -0.0806 * x->p_speakerGain);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 7: V (2, -2) - used
atom_setlong(argv, 7);
atom_setfloat(argv + 2, 0.0);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 8: N (3, 2) - not used
atom_setlong(argv, 8);
atom_setfloat(argv + 2, 0.0);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 9: O (3, -2) - not used
atom_setlong(argv, 9);
atom_setfloat(argv + 2, 0.0);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 10: P (3, 3) - not used
atom_setlong(argv, 10);
atom_setfloat(argv + 2, 0.0);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 11: Q (3, -3) - not used
atom_setlong(argv, 11);
atom_setfloat(argv + 2, 0.0);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
// 12: D
atom_setlong(argv, 12);
atom_setfloat(argv + 2, x->p_distanceWeight * x->p_speakerGain);
outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
}
}

////////// get notified on attribute changes
t_max_err spatiumdecode_notify(t_spatiumdecode *x, t_symbol *s, t_symbol *msg, void *sender,
                               void *data)
{
    t_symbol *attrname;
    if (msg == gensym("attr_modified"))
    {
        attrname = (t_symbol*)object_method((t_object*)data, gensym("getname"));
    }
    return 0;
}

////////// when a 'setOrderWeights' message is received in the inlet
void spatiumdecode_setOrderWeights(t_spatiumdecode *x, t_symbol *s, long argc, t_atom *argv)
{
    if(argc == 4)
    {
        x->p_zerothOrderWeight = atom_getfloat(argv);
        x->p_firstOrderWeight = atom_getfloat(argv + 1);
        x->p_secondOrderWeight = atom_getfloat(argv + 2);
        x->p_thirdOrderWeight = atom_getfloat(argv + 3);
    }
}

////////// when a 'dump' message is received in the inlet
void spatiumdecode_dump(t_spatiumdecode *x, t_symbol *s, long argc, t_atom *argv)
{
    // output (right outlet) both a 0/1 for unused/used and the values of speakerGain and order weights
    t_atom argvout[2];
    if(x->p_surroundMode == true)
    {
        atom_setlong(argvout, 0);
    }
    else
    {
        atom_setlong(argvout, 1);
    }
    atom_setfloat(argvout + 1, x->p_speakerGain);
    outlet_anything(x->p_outlet1, gensym("speakerGain"), 2, argvout);
    atom_setfloat(argvout + 1, x->p_zerothOrderWeight);
    outlet_anything(x->p_outlet1, gensym("0thOrderWeight"), 2, argvout);
    if(x->p_orderInUse < 1)
    {
        atom_setlong(argvout, 0);
    }
    else
    {
        atom_setlong(argvout, 1);
    }
    atom_setfloat(argvout + 1, x->p_firstOrderWeight);
    outlet_anything(x->p_outlet1, gensym("1stOrderWeight"), 2, argvout);
    if(x->p_orderInUse < 2)

```

```

{
    atom_setlong(argvout, 0);
}
else
{
    atom_setlong(argvout, 1);
}
atom_setfloat(argvout + 1, x->p_secondOrderWeight);
outlet_anything(x->p_outlet1, gensym("2ndOrderWeight"), 2, argvout);
if(x->p_orderInUse < 3)
{
    atom_setlong(argvout, 0);
}
else
{
    atom_setlong(argvout, 1);
}
atom_setfloat(argvout + 1, x->p_thirdOrderWeight);
outlet_anything(x->p_outlet1, gensym("3rdOrderWeight"), 2, argvout);
atom_setfloat(argvout, x->p_distanceWeight);
outlet_anything(x->p_outlet1, gensym("distanceWeight"), 1, argvout);

// print the speaker locations on the Max window
if(x->p_surroundMode == false)
{
    long i;
    double az;
    double el;
    for(i = 0; i < x->p_speakers; i++)
    {
        az = (x->p_speakerAzimuth[i] / 3.14159265) * 180.0;
        el = (x->p_speakerElevation[i] / 3.14159265) * 180.0;
        object_post((t_object*)x, "speaker %ld of %ld: %.2f, %.2f", i + 1, x->p_speakers, az, el);
    }
}
else
{
    object_post((t_object*)x, "5.0 surround mode");
    object_post((t_object*)x, "speaker 1 of 5: L");
    object_post((t_object*)x, "speaker 2 of 5: R");
    object_post((t_object*)x, "speaker 3 of 5: C");
    object_post((t_object*)x, "speaker 4 of 5: Ls");
    object_post((t_object*)x, "speaker 5 of 5: Rs");
}
}

////////// when a 'define_loudspeakers' message is received in the inlet
////////// or when the function is called internally (e.g., when instantiating)
void spatiumdecode_define_loudspeakers(t_spatiumdecode *x, t_symbol *s, long argc, t_atom *argv)
{
    long i;
    if(atom_gettype(argv) == A_LONG)
    {
        switch(atom_getlong(argv))
        {

            // if the first number is '2', it gets treated as a 2D configuration
            case 2:
                if(argc > 33)
                {
                    object_error((t_object*)x, "32 is the maximum number of loudspeakers.");
                }
                else
                {
                    x->p_surroundMode = false;
                    x->p_speakers = argc - 1;
                    x->p_2D = true;
                    for(i = 1; i < argc; i++)
                    {
                        x->p_speakerAzimuth[i - 1] = (atom_getfloat(argv + i) / 180.0) * 3.14159265;
                        x->p_speakerElevation[i - 1] = 0.0;
                    }

                    // check which order to use depending on the number of speakers
                    if(x->p_speakers >= 7)
                    {
                        x->p_orderInUse = 3;
                    }
                    else if(x->p_speakers >= 5)
                    {
                        x->p_orderInUse = 2;
                    }
                    else

```

```

    {
        x->p_orderInUse = 1;
    }
    spatiumdecode_caculateWeights(x);
}
break;

// if the first number is '3', it gets treated as a 3D configuration
case 3:
    if(argc > 65)
    {
        object_error((t_object*)x, "32 is the maximum number of loudspeakers.");
    }
    else if(argc % 2 != 1)
    {
        object_error((t_object*)x, "3D speaker coordinates must be defined by pairs of azimuth and
elevation.");
    }
    else
    {
        x->p_surroundMode = false;
        x->p_speakers = (argc - 1) / 2;
        x->p_2D = false;
        for(i = 1; i < argc; i = i + 2)
        {
            x->p_speakerAzimuth[(i - 1) / 2] = (atom_getfloat(argv + i) / 180.0) * 3.14159265;
            x->p_speakerElevation[(i - 1) / 2] = (atom_getfloat(argv + i + 1) / 180.0) * 3.14159265;
        }

        // check which order to use depending on the number of speakers
        if(x->p_speakers >= 16)
        {
            x->p_orderInUse = 3;
        }
        else if(x->p_speakers >= 9)
        {
            x->p_orderInUse = 2;
        }
        else
        {
            x->p_orderInUse = 1;
        }
        spatiumdecode_caculateWeights(x);
    }
    break;
default:
    object_error((t_object*)x, "%ld is an invalid dimention.", atom_getlong(argv));
    break;
}
}
}

////////// internal function to set order weights
void spatiumdecode_caculateWeights(t_spatiumdecode *x)
{
    if(x->p_surroundMode == false)
    {
        if(x->p_2D == true)
        {
            switch(x->p_orderInUse)
            {
                // max-rE values for decoding 2D FuMa of order 0, 1, 2 or 3
                case 0:
                    x->p_zerothOrderWeight = 1.0;
                    x->p_firstOrderWeight = 0.0;
                    x->p_secondOrderWeight = 0.0;
                    x->p_thirdOrderWeight = 0.0;
                    break;
                case 1:
                    x->p_zerothOrderWeight = 0.707;
                    x->p_firstOrderWeight = 0.707;
                    x->p_secondOrderWeight = 0.0;
                    x->p_thirdOrderWeight = 0.0;
                    break;
                case 2:
                    x->p_zerothOrderWeight = 0.707;
                    x->p_firstOrderWeight = 0.866;
                    x->p_secondOrderWeight = 0.5;
                    x->p_thirdOrderWeight = 0.0;
                    break;
                case 3:
                    x->p_zerothOrderWeight = 0.707;
                    x->p_firstOrderWeight = 0.924;
            }
        }
    }
}

```



```

        x->p_secondOrderWeight = 0.707;
        x->p_thirdOrderWeight = 0.383;
        break;
    default:
        object_error((t_object*)x, "Unable to calculate orders.");
        break;
    }
}
else
{
    switch(x->p_orderInUse)
    {
        // max-rE values for decoding 3D FuMa of order 0, 1, 2 or 3
        case 0:
            x->p_zerothOrderWeight = 1.0;
            x->p_firstOrderWeight = 0.0;
            x->p_secondOrderWeight = 0.0;
            x->p_thirdOrderWeight = 0.0;
            break;
        case 1:
            x->p_zerothOrderWeight = 0.707;
            x->p_firstOrderWeight = 0.577;
            x->p_secondOrderWeight = 0.0;
            x->p_thirdOrderWeight = 0.0;
            break;
        case 2:
            x->p_zerothOrderWeight = 0.707;
            x->p_firstOrderWeight = 0.775;
            x->p_secondOrderWeight = 0.4;
            x->p_thirdOrderWeight = 0.0;
            break;
        case 3:
            x->p_zerothOrderWeight = 0.707;
            x->p_firstOrderWeight = 0.861;
            x->p_secondOrderWeight = 0.612;
            x->p_thirdOrderWeight = 0.305;
            break;
        default:
            object_error((t_object*)x, "Unable to calculate orders.");
            break;
    }
}
}
}
}

```

spatium·panning

```
/**
    calculate matrix~ gains using amplitude panning between stereo pairs
    Part of spatium, a set of open source tools for sound spatialization:
    http://spatium.ruipenha.pt
    http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/
    ruipenha. 2012/14
    http://ruipenha.pt
*/

#include "ext.h"          // standard Max include, always required
#include "ext_obex.h"     // required for new style Max object

//////////////////// object struct
typedef struct _spatiumpanning
{
    t_object p_ob;
    char p_useSqrt;
    long p_channel;
    double p_azimuth;
    double p_radius;
    long p_speakers;
    double p_speakerAzimuth[32]; // 32 is the maximum number of speakers
    long p_minSpeaker;          // the speaker with minimum azimuth (range is -180. to 180.)
    long p_maxSpeaker;          // the speaker with maximum azimuth (range is -180. to 180.)
    void *p_outlet1;
    void *p_outlet2;
} t_spatiumpanning;

//////////////////// function prototypes
void *spatiumpanning_new(t_atom long n);
void spatiumpanning_free(t_spatiumpanning *x);
void spatiumpanning_assist(t_spatiumpanning *x, void *b, long m, long a, char *s);
void spatiumpanning_bang(t_spatiumpanning *x);
void spatiumpanning_int(t_spatiumpanning *x, t_atom long n);
void spatiumpanning_float(t_spatiumpanning *x, double n);
void spatiumpanning_ft1(t_spatiumpanning *x, double n);
void spatiumpanning_dump(t_spatiumpanning *x, t_symbol *s, long argc, t_atom *argv);
void spatiumpanning_define_loudspeakers(t_spatiumpanning *x, t_symbol *s, long argc, t_atom *argv);

//////////////////// global class pointer variable
t_class *spatiumpanning_class;

//////////////////// when object is used for the first time
int C74_EXPORT main(void)
{
    // object initialization, NEW STYLE
    t_class *c;

    c = class_new("spatium.panning", (method)spatiumpanning_new, (method)spatiumpanning_free,
                 (long)sizeof(t_spatiumpanning), 0L /* leave NULL!! */, A_DEFLONG,
                 0);

    CLASS_ATTR_LONG(c, "channel", 0, t_spatiumpanning, p_channel);
    CLASS_ATTR_CHAR(c, "useSqrt", 0, t_spatiumpanning, p_useSqrt);
    CLASS_ATTR_STYLE_LABEL(c, "useSqrt", 0, "onoff", "Use sqrt");

    /* you CAN'T call this from the patcher */
    class_addmethod(c, (method)spatiumpanning_bang, "bang", 0);
    class_addmethod(c, (method)spatiumpanning_int, "int", A_LONG, 0);
    class_addmethod(c, (method)spatiumpanning_float, "float", A_FLOAT, 0);
    class_addmethod(c, (method)spatiumpanning_ft1, "ft1", A_FLOAT, 0);
    class_addmethod(c, (method)spatiumpanning_assist, "assist", A_CANT, 0);
    class_addmethod(c, (method)spatiumpanning_define_loudspeakers, "define_loudspeakers", A_GIMME, 0);
    class_addmethod(c, (method)spatiumpanning_dump, "dump", A_GIMME, 0);

    class_register(CLASS_BOX, c); /* CLASS_NOBOX */
    spatiumpanning_class = c;

    post("ruipenha. 2012/14 · spatium.panning v1.01");
    return 0;
}
```

```

//////////////////////////////////// when each object is instantiated
void *spatiumpanning_new(t_atom_long n)
{
    t_spatiumpanning *x;

    x = (t_spatiumpanning *)object_alloc(spatiumpanning_class);

    floatin(x, 1);
    x->p_outlet1 = outlet_new((t_object *)x, NULL);
    x->p_outlet2 = outlet_new((t_object *)x, NULL);

    x->p_channel = n; // set channel value to object argument or default 0
    x->p_azimuth = 3.14159265; // set azimuth to default pi rad, which in this particular object
    // corresponds to 0 deg in order to keep angles positive and facilitate
    // internal math: -180. to 180. deg = 0. to 2pi rad
    x->p_radius = 1.0; // set radius to default 1. (range: 0. to 1.)

    return(x);
}

//////////////////////////////////// dsp-free - not used
void spatiumpanning_free(t_spatiumpanning *x)
{
    ;
}

//////////////////////////////////// inlet & outlet cues on mouse over
void spatiumpanning_assist(t_spatiumpanning *x, void *b, long m, long a, char *s)
{
    switch (m)
    {
        case 1:
            switch (a)
            {
                case 0:
                    sprintf(s, "Inlet %ld: Azimuth (Causes Output)", a); // left inlet
                    break;
                case 1:
                    sprintf(s, "Inlet %ld: Radius", a); // right inlet
                    break;
            }
            break;
        case 2:
            switch (a)
            {
                case 0:
                    sprintf(s, "Outlet %ld: matrix- gains", a); // left inlet
                    break;
                case 1:
                    sprintf(s, "Outlet %ld: dump output", a); // right inlet
                    break;
            }
            break;
    }
}

//////////////////////////////////// when a bang is received in the left inlet
void spatiumpanning_bang(t_spatiumpanning *x)
{
    // if the loudspeaker setup is configured
    if(x->p_speakers > 1)
    {
        int i;

        // declare and prepare variables to find two closest speakers (i.e., the stereo pair) for both...
        // ...the given azimuth: 'real' angle
        double minPreviousReal = 2 * 3.14159265;
        int previousReal;
        double minNextReal = 2 * 3.14159265;
        int nextReal;

        // ...the given azimuth + 180°: 'imaginary' angle
        double minPreviousImaginary = 2 * 3.14159265;
        int previousImaginary;
        double minNextImaginary = 2 * 3.14159265;
        int nextImaginary;

        // calculate imaginary angle
        double imaginaryAngle = x->p_azimuth + 3.14159265;
        // enforce range of 0. to 2pi
        if(imaginaryAngle >= (2 * 3.14159265))
        {
            imaginaryAngle = imaginaryAngle - (2 * 3.14159265);
        }
    }
}

```

```

}

// find stereo pair for both real and imaginary angles
double diff;
for(i = 0; i < x->p_speakers; i++)
{
    if(x->p_azimuth > x->p_speakerAzimuth[i])
    {
        diff = fabs(x->p_azimuth - x->p_speakerAzimuth[i]);
        if(diff < minPreviousReal)
        {
            minPreviousReal = diff;
            previousReal = i;
        }
    }
    else
    {
        diff = fabs(x->p_azimuth - x->p_speakerAzimuth[i]);
        if(diff < minNextReal)
        {
            minNextReal = diff;
            nextReal = i;
        }
    }
    if(imaginaryAngle > x->p_speakerAzimuth[i])
    {
        diff = fabs(imaginaryAngle - x->p_speakerAzimuth[i]);
        if(diff < minPreviousImaginary)
        {
            minPreviousImaginary = diff;
            previousImaginary = i;
        }
    }
    else
    {
        diff = fabs(imaginaryAngle - x->p_speakerAzimuth[i]);
        if(diff < minNextImaginary)
        {
            minNextImaginary = diff;
            nextImaginary = i;
        }
    }
}

// set the "next" speaker (clockwise) to first + 360°, if applicable
diff = fabs(x->p_azimuth - (x->p_speakerAzimuth[x->p_minSpeaker] + (2 * 3.14159265)));
if(diff < minNextReal)
{
    minNextReal = diff;
    nextReal = x->p_minSpeaker;
}
diff = fabs(imaginaryAngle - (x->p_speakerAzimuth[x->p_minSpeaker] + (2 * 3.14159265)));
if(diff < minNextImaginary)
{
    minNextImaginary = diff;
    nextImaginary = x->p_minSpeaker;
}

// set the "previous" speaker (clockwise) to last - 360°, if applicable
diff = fabs(x->p_azimuth - (x->p_speakerAzimuth[x->p_maxSpeaker] - (2 * 3.14159265)));
if(diff < minPreviousReal)
{
    minPreviousReal = diff;
    previousReal = x->p_maxSpeaker;
}
diff = fabs(imaginaryAngle - (x->p_speakerAzimuth[x->p_maxSpeaker] - (2 * 3.14159265)));
if(diff < minPreviousImaginary)
{
    minPreviousImaginary = diff;
    previousImaginary = x->p_maxSpeaker;
}

// calculate the angular position inside both stereo pairs
double deltaNextReal = minPreviousReal / (minPreviousReal + minNextReal);
double deltaNextImaginary = minPreviousImaginary / (minPreviousImaginary + minNextImaginary);

// scale radius range to 0.5 -> 1.
double radius = (x->p_radius * 0.5) + 0.5;

t_atom argv[3];
atom_setlong(argv, x->p_channel); // the inputChannel is always the same
if(x->p_useSqrt == 0)
{

```

```

// use sine-cosine amplitude panning
radius = radius * 1.57079633;
for(i = x->p_speakers - 1; i >= 0; i--)
{
    // output (left outlet) a 3 argument list for each speaker:
    // inputChannel outputChannel gainValue
    atom_setlong(argv + 1, i); // set the outputChannel
    double value = 0.; // the gainValue is 0 unless...

    // the current speaker is part of one of the stereo pairs
    if(i == previousReal)
    {
        value = sin((1.0 - deltaNextReal) * 1.57079633) * sin(radius);
    }
    else if(i == nextReal)
    {
        value = sin(deltaNextReal * 1.57079633) * sin(radius);
    }
    else if(i == previousImaginary)
    {
        value = sin((1.0 - deltaNextImaginary) * 1.57079633) * cos(radius);
    }
    else if(i == nextImaginary)
    {
        value = sin(deltaNextImaginary * 1.57079633) * cos(radius);
    }
    atom_setfloat(argv + 2, value);
    outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
}
}
else
{
    // use sqrt amplitude panning
    for(i = x->p_speakers - 1; i >= 0; i--)
    {
        // output (left outlet) a 3 argument list for each speaker:
        // inputChannel outputChannel gainValue
        atom_setlong(argv + 1, i); // set the outputChannel
        double value = 0.; // the gainValue is 0 unless...

        // the current speaker is part of one of the stereo pairs
        if(i == previousReal)
        {
            value = fabs(sqrt(1.0 - deltaNextReal) * sqrt(radius));
        }
        else if(i == nextReal)
        {
            value = fabs(sqrt(deltaNextReal) * sqrt(radius));
        }
        else if(i == previousImaginary)
        {
            value = fabs(sqrt(1.0 - deltaNextImaginary) * sqrt(1.0 - radius));
        }
        else if(i == nextImaginary)
        {
            value = fabs(sqrt(deltaNextImaginary) * sqrt(1.0 - radius));
        }
        atom_setfloat(argv + 2, value);
        outlet_list(x->p_outlet2, NULL, 3, argv);
    }
}
}
else
{
    object_error((t_object*)x, "Define loudspeakers first.");
}
}

////////// when an int is received in the left inlet
void spatiumpanning_int(t_spatiumpanning*x, t_atom_long n)
{
    if(n >= -180 && n <= 180)
    {
        x->p_azimuth = ((n + 180) / 180.0) * 3.14159265; // convert degrees to radians
        spatiumpanning_bang(x); // output matrix~ values
    }
    else
    {
        object_error((t_object*)x, "Azimuth should stay between -180.0 and 180.0.");
    }
}

////////// when a float is received in the left inlet

```

```

void spatiumpanning_float(t_spatiumpanning*x, double n)
{
    if(n >= -180.0 && n <= 180.0)
    {
        x->p_azimuth = ((n + 180) / 180.0) * 3.14159265;    // convert degrees to radians
        spatiumpanning_bang(x);                          // output matrix~ values
    }
    else
    {
        object_error((t_object*)x, "Azimuth should stay between -180.0 and 180.0.");
    }
}

//////////////////////////////////// when a float is received in the right inlet
void spatiumpanning_ft1(t_spatiumpanning *x, double n)
{
    // enforce the range limits
    double constrainN = n;
    if(constrainN > 1.0)
    {
        constrainN = 1.0;
    }
    else if(constrainN < 0.0)
    {
        constrainN = 0.0;
    }
    x->p_radius = constrainN;
}

//////////////////////////////////// when a 'define_loudspeakers' message is received in the left inlet
void spatiumpanning_define_loudspeakers(t_spatiumpanning *x, t_symbol *s, long argc, t_atom *argv)
{
    long i;
    if(atom_gettype(argv) == A_LONG)
    {
        switch(atom_getlong(argv))
        {
            // if the first number is '2', it gets treated as a 2D configuration, the only supported for now
            case 2:
                if(argc > 33)
                {
                    object_error((t_object*)x, "32 is the maximum number of loudspeakers.");
                }
                if(argc < 3)
                {
                    object_error((t_object*)x, "2 is the minimum number of loudspeakers.");
                }
                else
                {
                    t_bool test = true;
                    for(i = 1; i < argc; i++)
                    {
                        if(atom_getfloat(argv + i) < -180.0 || atom_getfloat(argv + i) > 180.0)
                        {
                            object_error((t_object*)x, "Speaker azimuths should stay between -180.0 and 180.0.");
                            test = false;
                            break;
                        }
                    }
                    if(test == true)
                    {
                        float min = 2 * 3.14159265;
                        float max = 0.0;
                        x->p_speakers = argc - 1;
                        for(i = 1; i < argc; i++)
                        {
                            x->p_speakerAzimuth[i - 1] = ((atom_getfloat(argv + i) + 180) / 180.0) * 3.14159265;
                            if(x->p_speakerAzimuth[i - 1] < min)
                            {
                                min = x->p_speakerAzimuth[i - 1];
                                x->p_minSpeaker = i - 1;
                            }
                            else if(x->p_speakerAzimuth[i - 1] > max)
                            {
                                max = x->p_speakerAzimuth[i - 1];
                                x->p_maxSpeaker = i - 1;
                            }
                        }
                    }
                }
                break;

            // if the first number is not '2', it gets treated as an error

```

```

        default:
            object_error((t_object*)x, "%ld is an invalid dimation.", atom_getlong(argv));
            break;
    }
}
}

////////// when a 'dump' message is received in the left inlet
void spatiumpanning_dump(t_spatiumpanning *x, t_symbol *s, long argc, t_atom *argv)
{
    // output (right outlet) the values of the channel and useSqrt attributes
    t_atom argvout[1];
    atom_setlong(argvout, x->p_channel);
    outlet_anything(x->p_outlet1, gensym("channel"), 1, argvout);
    atom_setlong(argvout, x->p_useSqrt);
    outlet_anything(x->p_outlet1, gensym("useSqrt"), 1, argvout);

    // print the speaker locations on the Max window
    int i;
    double az;
    for(i = 0; i < x->p_speakers; i++)
    {
        az = ((x->p_speakerAzimuth[i] / 3.14159265) * 180.0) - 180.0;
        object_post((t_object*)x, "speaker %ld of %ld: %.2f", i + 1, x->p_speakers, az);
    }
}

```


Partituras

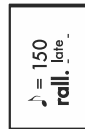
obra com título longo* [2009]

obra com título longo *

Rui Penha · 2009

commissioned by Ciclo de Conferências e Concertos Momentum
for alto flute, clarinet, vibraphone, piano and pre-recorded electroacoustics
composed in January '09 at the Visby International Centre for Composers

Marks the beginning of a section that starts at the specified tempo and immediately starts a movement. The words 'early', 'linear' or 'late' define the kind of acceleration of the movement. In this case, it indicates a late *rallentando*. The movement should thus begin as a slow *rallentando* and evolve to a faster *rallentando* towards the end.



Means *poco sforzando* and is tied to the notes directly above the symbol 'sf'.



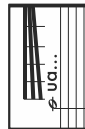
It can be found both in the vibraphone and piano tremolos and indicates which note of the tremolo shall be slowly emphasized and then de-emphasized.



Vibraphone: *dead stroke*.



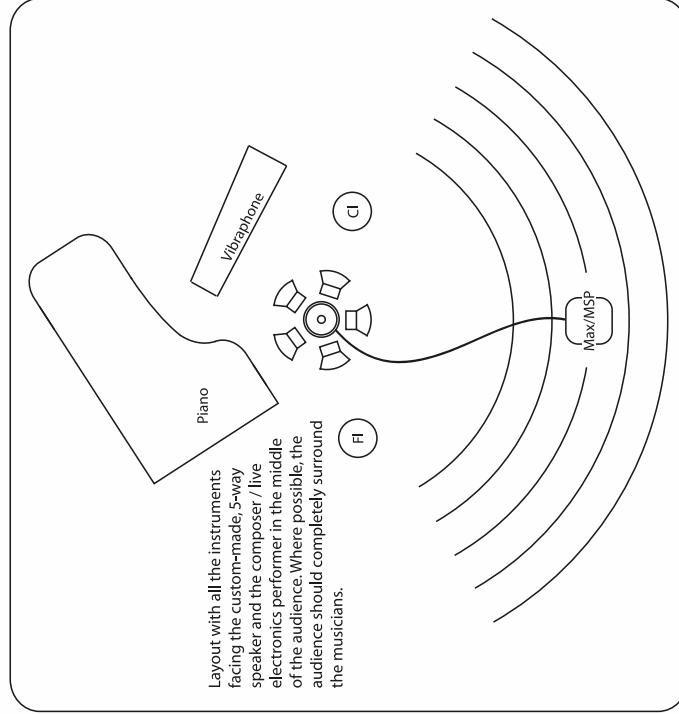
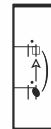
Vibraphone: the player should approach the node of the A4 bar, immediately after playing the note, with a mouth movement varying between an almost closed 'u' and wide open 'a', like a *wah-wah* effect.



Clarinet: *slap*; Flute: *pizzicato*.



Flute and clarinet: indicates a transition between a defined pitch and an air sound.



* Lembro-me de que existia, no meu jardim de infância, uma árvore que dava joaninhas. Enterrava a mão bem fundo no meio das folhas e ela vinha coberta delas. Foi esta árvore, hoje arbusto, que me mostrou pela primeira vez que existiam diferentes estações do ano. Duas, para ser mais preciso... sendo que eu sempre preferi a estação-em-que-há-joaninhas.

obra com título longo*

dedicada a Sara Carvalho

Rui Penha · 2009

♩ = 150
3/4 count... **rall.** late

5

Alto Flute

Clarinet in B \flat

Vibraphone

Piano

10

Fl.

Cl.

Vib.

Pno.

(♩ = 50) | 15 | = 75
accel. *early*

Fl. *mp* *p* *p sf* *mf* *ppp*

Cl. *p* *p sf* *mf* *ppp*

Vib. *mp* *p* *mf* *p sf* *p*

Pno. *mp leggiero* *p* *mf* *pp*

(♩ = 125) | 20 | = 125

Fl. *pp* *ppp*

Cl. *pp* *ppp*

Vib. *mp* *p* *mp* *p sf* *p*

Pno. *mp* *p* *mp* *p sf* *pp*

Musical score for measures 35-50, featuring Flute (Fl.), Clarinet (Cl.), Violin (Vib.), and Piano (Pno.).

Measures 35-40:

- Flute:** Starts with *mp*, *mf*, and *p* dynamics. Includes a slur over measures 35-36.
- Clarinet:** Starts with *pp* and *mp meccanico* dynamics.
- Violin:** Starts with *p* and *p sf* dynamics.
- Piano:** Starts with *p* and *pp* dynamics.

Measures 40-50:

- Flute:** Starts with *mp meccanico* and *pp* dynamics. Includes a slur over measures 40-41.
- Clarinet:** Starts with *mp meccanico* and *pp* dynamics.
- Violin:** Starts with *p* and *pp* dynamics.
- Piano:** Starts with *pp* and *mp meccanico* dynamics.

Tempo marking: $(\text{♩} = 50)$

$\text{♩} = 50$
accel. early ($\text{♩} = 100$) $\text{♩} = 150$

45

Fl. *p mp p sf mf p mp p sf mf p sf mf p sf*

Cl. *p mp p sf mf p mp p sf mf p sf mf p sf*

Vib. *mf*

Pno. *mf*

50 **rall. late**

Fl. *f*

Cl. *mp mp simile*

Vib. *mf f*

Pno. *f*

(♩ = 50) ♩ = 150

Fl. *mf* *p sf* *p* *sf*

Cl. *p* *sfpp* *p*

Vib. *mp* *mf* *mp* *p*

Pno. *mf* *p sf*

Fl. *mp* *mf* *sf*

Cl. *mp* *sf*

Vib. *mp* *f* *p sf*

Pno. *mf* *p sf*

75

Fl. *p* *mp* *p sf* *pp* *pp* *p sf*

Cl. *p* *mp* *p sf* *pp* *pp* *p sf*

Vib. *mp* *p* *sf* *mf* *pp* *mp leggiero*

Pno. *p sf* *p* *mp sempre* *p* *p sf* *p*

80

(♩ = 50)

Fl. *p* *p sf* *pp* *ppp* *ppp* *ppp*

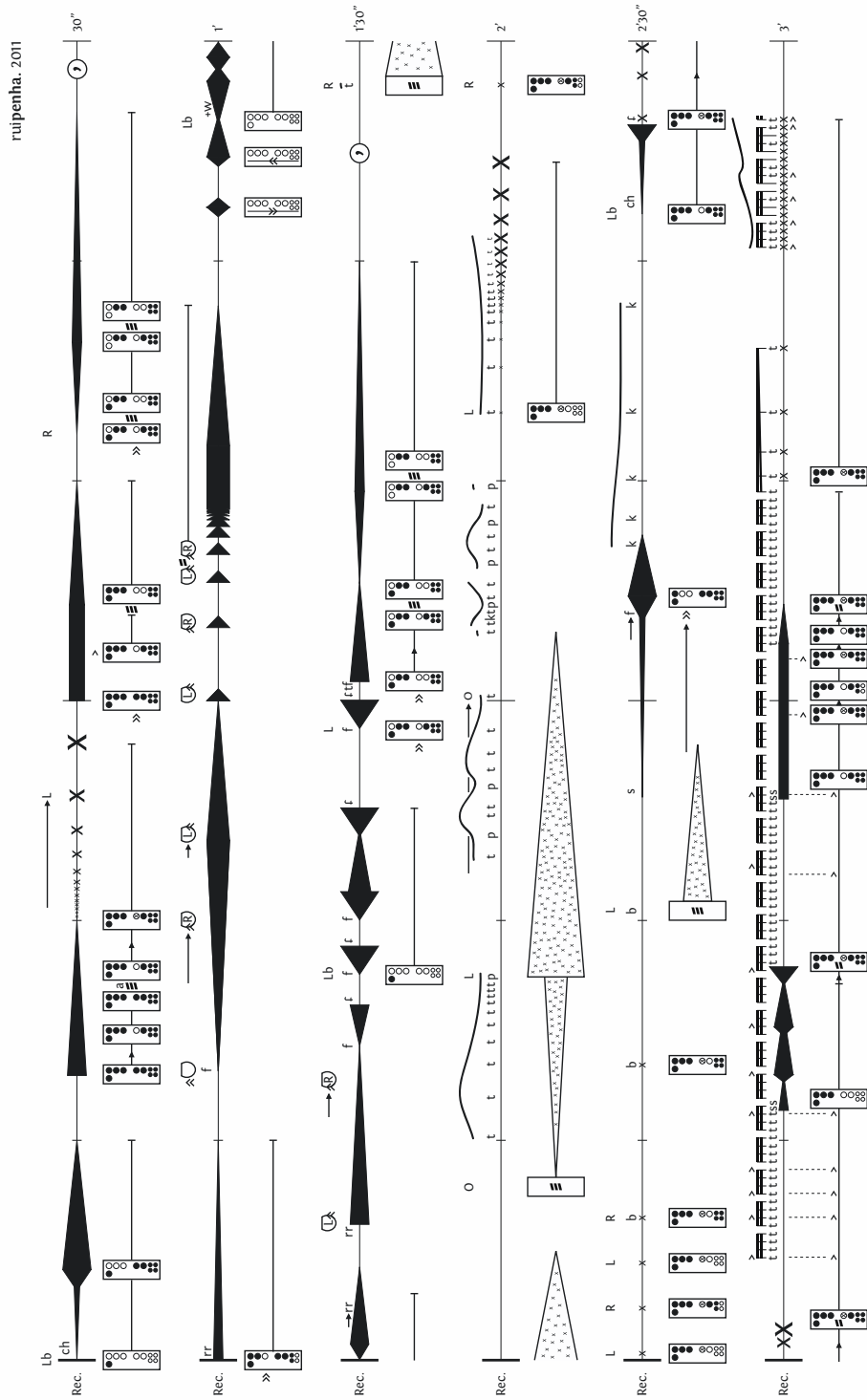
Cl. *p* *p sf* *pp* *ppp* *ppp* *ppp*

Vib. *pp* *pp* *p* *ppp* *ppp* *ppp*

Pno. *p sf* *p* *pp* *ppp* *ppp* *ppp*

in many, many ears [2011]

in many, many ears
para o António Carrilho



Musical score for a vocal and instrumental ensemble. The score is divided into six measures, each with a duration of 3'30" (3 minutes and 30 seconds).

Measure 1: Lb (Lied) vocal line with dynamics *tf* (tutto forza) and *tf*. Piano accompaniment includes markings like *Rec.* and *3*.

Measure 2: Rec. (Recitativo) vocal line with dynamics *tf* and *tf*. Piano accompaniment includes markings like *Rec.* and *3*.

Measure 3: Rec. vocal line with dynamics *tf* and *tf*. Piano accompaniment includes markings like *Rec.* and *3*.

Measure 4: Rec. vocal line with dynamics *tf* and *tf*. Piano accompaniment includes markings like *Rec.* and *3*.

Measure 5: Rec. vocal line with dynamics *tf* and *tf*. Piano accompaniment includes markings like *Rec.* and *3*.

Measure 6: Rec. vocal line with dynamics *tf* and *tf*. Piano accompaniment includes markings like *Rec.* and *3*.

Additional markings and symbols include:

- Lb* (Lied)
- Rec.* (Recitativo)
- tf* (tutto forza)
- 3* (triplets)
- 4* (quartets)
- 5* (quintets)
- 6* (sextets)
- R* (Ritardando)
- t* (Tutti)
- P* (Piano)
- L* (Lento)
- W* (Vivace)
- rr* (Ritardando)
- Lb* (Lied)
- L* (Lento)
- rr* (Ritardando)
- u* (Vivace)
- hm* (Vivace)
- w.l.* (Vivace)
- 6'15"* (6 minutes and 15 seconds)

Notas para interpretação

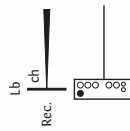
para flauta de bisel amplificada com microfones binaurais.

'in many, many ears' deve ser interpretada utilizando exclusivamente amplificação com microfones binaurais dentro do ouvido, como os Soundman OKM. A amplificação deverá ser feita utilizando um par de altifalantes stereo colocados em frente ao flautista, permitindo um volume generoso sem feedback, com cada canal do microfone no seu altifalante respectivo. Se necessário, poderá ser utilizada reverberação stereo artificial. O intérprete poderá escolher livremente a flauta de bisel mais apropriada para a sua interpretação.

Excepto quando é utilizada notação rítmica convencional, os intervalos temporais da partitura são aproximações e não devem ser medidos de forma exacta.

Cada sistema da partitura está dividido em três níveis:

- o nível superior, com símbolos e letras (neste excerto Lb) especifica a posição da flauta e a direcção do sopro para cada frase.
- o nível central, a partitura, está dividido por marcas verticais de 5 em 5 segundos e é utilizada para representar diversos eventos musicais como a força do sopro (representado pelos triângulos e rectângulos pretos), o tipo de sopro, o ritmo relativo e a dinâmica.
- o nível inferior é utilizado para representar dedilhações, movimentos e a direcção de sopro sempre que este é direccionado aos buracos dos dedos.



Símbolos genéricos:

- uma linha horizontal indica que a instrução anterior deve ser mantida até uma nova instrução no mesmo nível ou até uma linha vertical, como na figura à esquerda.
- uma seta indica uma transição suave entre instruções.
- aspas duplas indicam o sítio para onde se deverá dirigir o sopro.
- um x no topo da partitura indica um som percussivo com os dedos.
- o símbolo de trémulo é utilizado para indicar uma oscilação entre duas instruções. Um a no topo do trémulo indica um acelerando.
- a fermata não implica uma paragem do tempo, mas sim um segmento de silêncio onde não deve ocorrer nenhum movimento.
- uma vírgula inscrita numa circunferência indica uma inspiração com som.



Símbolos de posições:

- secções com Lb devem ser tocadas soprando para a janela como se de um Traverso se tratasse. L e R indicam que a janela deve ser colocada perto e direccionada para o microfone/ouvido esquerdo ou direito, respectivamente. O indica uma secção a tocar com a flauta na posição tradicional e O-Lb uma secção em que a flauta deve ser segura na posição tradicional mas o ar direccionado para a janela, por exemplo segurando a boca da flauta junto ao maxilar inferior. W indica uma secção em que a flauta deve ser tocada da forma tradicional.
- o símbolo à direita representa o topo da superior flauta e a combinação com as aspas indica que o intérprete deverá soprar para o lado esquerdo da flauta. A não ser que as aspas apareçam em cima do símbolo, o ar não deve atingir directamente a flauta.
- este símbolo indica que o intérprete deverá soprar para o extremo direito do topo da flauta, direccionando o som para o microfone/ouvido esquerdo.
- o símbolo do lado esquerdo do trémulo indica que o intérprete deve soprar no sentido tradicional mas a alguma distância da flauta. O símbolo da direita indica que o sopro não deve atingir a flauta directamente. A variação ou o trémulo entre estas direcções do sopro são mais fáceis de executar movendo a flauta e não a cabeça.



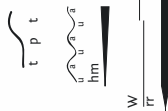
Símbolos de dedilhação:

- a tabela de dedilhação à esquerda indica que o intérprete deverá soprar para o buraco indicado pelas aspas. Caso este buraco apareça preenchido a preto, deverá ser totalmente coberto com a boca. A tabela à direita indica um sopro rápido ao longo de toda a flauta, soprando para todos os buracos consecutivamente.
- um trémino dentro de uma tabela de dedilhação indica um movimento rápido, percutando aleatoriamente os buracos com os dedos. O triângulo ou retângulo subsequente indica a dinâmica. Se alguns buracos aparecerem preenchidos a preto, estes deverão ficar fechados, sendo o trémulo efectuado apenas com os dedos livres nos restantes buracos.
- a tabela de dedilhação à esquerda indica uma percussão regular de semicolcheia no buraco marcado com um x. Na tabela à direita, o buraco com um ponto negro dentro do círculo indica que o buraco deve permanecer aberto com o respectivo dedo a oscilar lentamente acima deste para ajudar à obtenção de diferentes frequências.



Símbolos para a posição da boca:

- as letras no topo dos movimentos de sopro indicam a posição da boca e consequente timbre do sopro: **ch** como no Alemão 'ich'; **ss** e **f** como em Português; **tf** indicam um **f** que começa com uma plosiva **t**, **rr** indica um **r** gutural contínuo como em Francês; **t**, **p**, **k** e **b** são plosivas que deverão ser articuladas com a parte de trás da língua a obstruir a garganta e utilizando a boca como ressoador. Um **t** invertido no fim de um sopro indica que este deve terminar de forma abrupta, utilizando a língua para interromper o fluxo de ar; ***w** indica que se deverá associar um assobio à instrução anterior e as iniciais **w.t.** indicam 'whistle tones'.
- uma linha em cima de uma sequência de consoantes plosivas indica a afinação relativa da ressonância formante.
- **hm** indica que deverá ser produzido um som de murmúrio, com a boca aberta e a parte de trás da língua a obstruir a garganta. As vogais e linhas acima indicam formantes e harmónicos a ressoar com a boca.
- as linhas acima do som gutural **rr** indicam que a afinação deve ser alternada entre as diferentes notas disponíveis na respectiva dedilhação.



Partituras convencionais:

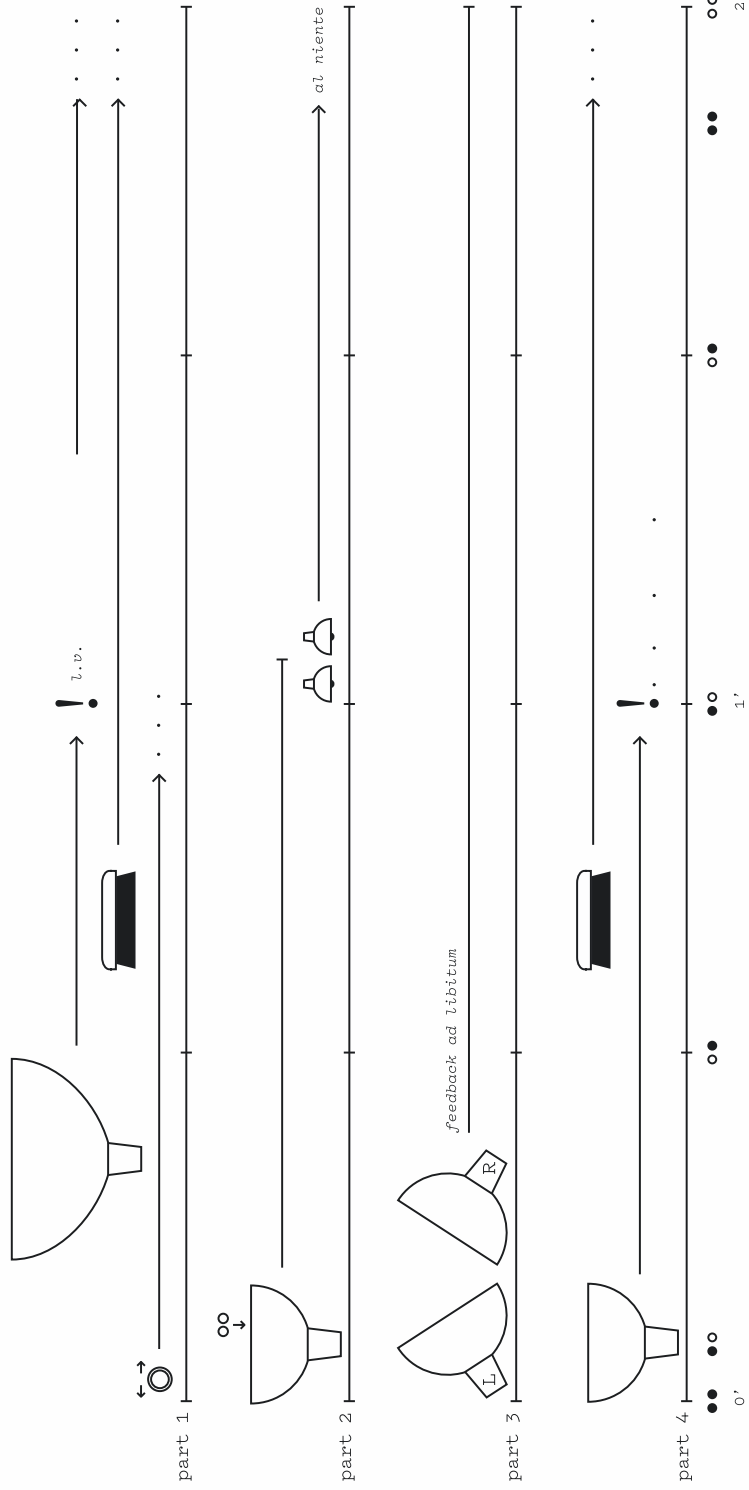
- a primeira partitura no topo da segunda página tem duas vozes: a inferior para flautas em Dó e a superior para flautas em Fá. A oitava deve ser a mais grave em cada instrumento.
- o segundo excerto de partitura deverá durar cerca de 30 segundos como especificado na partitura, não obstante aparecer com dois sistemas. As notas escritas deverão ser produzidas apenas soprando (quase assobiando), utilizando a boca e a língua para filtrar o ruído e produzir as notas por ressonância. Isto deve ser feito a alguma distância da flauta, soprando em direcção à janela. As notas em losângulo indicam notas para dedilhação, produzindo uma segunda voz ténue quando o sopro atinge a janela.
- Na maior parte das vezes, estas notas acontecem simultaneamente e na mesma afinação da melodia; nestes casos, apenas a nota em losângulo aparece escrita. Se for necessária uma transposição da melodia, estas notas deverão ser igualmente transpostas, devendo ainda ser sempre tocadas na oitava mais próxima da melodia em cada momento.



auditorium

para o Nuno Aroso

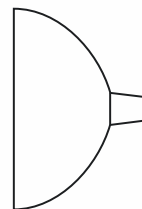
ruiipenha. 2012



The player should blow towards the coin, using its position to direct the sound to one of the microphones. By moving the coin and articulating the breath, musical gestures can be generated.



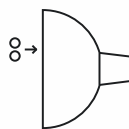
The big bowl his highly resonant and should be played with full intensity just once, at the middle of part 1. Before and after that, it can be used to produce some sound by friction with the player's head or ear skin or by playing it with the brush.



The brush can be used to play the bowls, to be blown at as with the coin. It's main use, however, is to produce some walking-on-gravel type of sound by pressing it against the player's ear and hair.



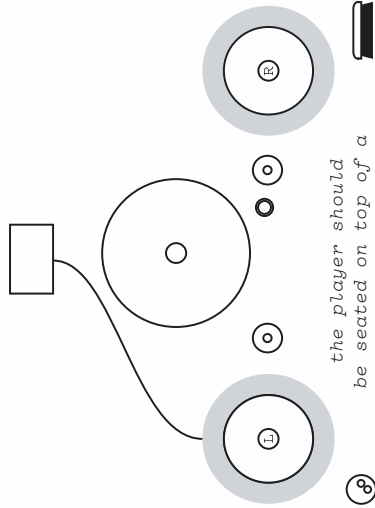
The marbles can be used to produce some small articulations with the screw inside the bowl or to spin around inside the bowl, with variable speed in order to stimulate different harmonics. The player should be careful when placing the marbles inside the bowl to avoid very loud sounds at the beginning of part 2.



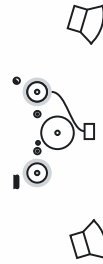
The bells should be played at different positions and distances from the ears, first with big silences in between and slowly more frequent. The player should explore the binaural beatings the two slightly different tunings can produce around the ears.



On part 3, the L(left) and R(right) salad bowls can be placed around the player's ears in order to control the feedback resonances between the microphones and the closest loudspeakers.



the player should be seated on top of a black rug on stage, with all the instruments disposed around him/her, at arm's reach.



a minimum of two loudspeakers, a stereo pair on both sides of the performer, ideally a concentric and regular loudspeaker setup such as a pentagon, an hexagon, an octagon, a dodecagon or a hexadecagon.



pendulum [2012]

ruiipenha. 2012

Pendulum

*for flute, bass clarinet, piano, violin, cello
realtime electroacoustics and video*

Pendulum

written for Sond'Ar-te Ensemble

rui **penha** . 2012

for flute, bass clarinet, piano, violin, cello
realtime electroacoustics and video

Note: the instruments should be amplified, please refer to the software manual.

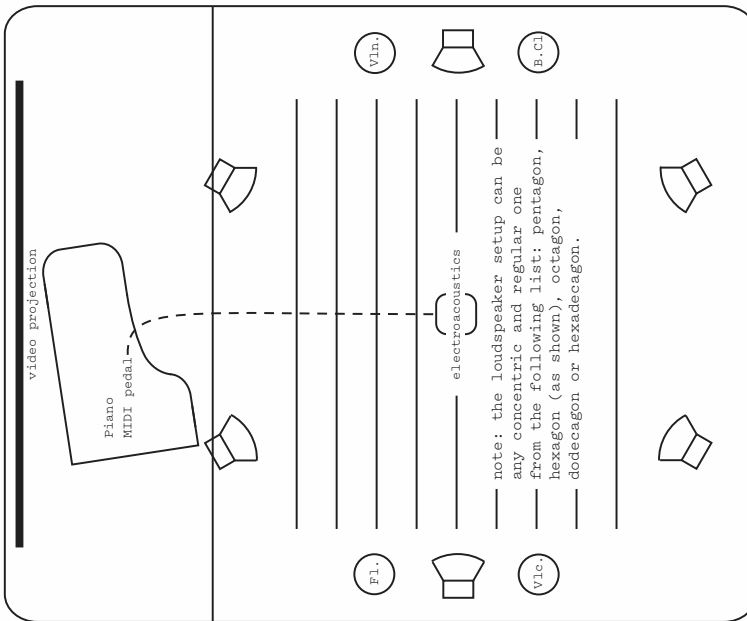
(all instruments)
a tremolo or flatterzunge that begins or changes between tied notes indicates a smooth transition between states; tremolos are not measured.

(flute)
tongue-ram: diamond note shows fingering.

(woodwinds)
a filled circle indicates normal sound; an open circle indicates aeolian sound; an open circle with a dot lies between the two.

(piano)
shows a place where the MIDI pedal should be activated at the same time as the note, in order to trigger both the realtime video and the realtime electroacoustics. When followed by a line, all the notes under the line should be accompanied by the pedal. Before starting the piece, press the pedal once.

(strings)
a plus sign always indicates a left-hand pizzicato, even if without a pizz. textual indication.



Pendulum

written for Soud'Arte Ensemble

ruiipenha . 2012

A $\frac{4}{4}$ $\text{♩} = 96$

The score is divided into five systems, each with a staff for a different instrument:

- Flute:** Starts with a half note G4, followed by a half note A4. A fermata covers the first two measures. The tempo changes to $\frac{3}{4}$ in the third measure, then back to $\frac{4}{4}$ in the fourth. Dynamics include *pp* and *p*.
- Violoncello:** Starts with a half note G3, followed by a half note A3. A fermata covers the first two measures. The tempo changes to $\frac{3}{4}$ in the third measure, then back to $\frac{4}{4}$ in the fourth. Dynamics include *pp* and *p*. An instruction *(sp)* is present.
- Piano:** Starts with a half note G3, followed by a half note A3. A fermata covers the first two measures. The tempo changes to $\frac{3}{4}$ in the third measure, then back to $\frac{4}{4}$ in the fourth. Dynamics include *p* and *mp*.
- Violin:** Starts with a half note G4, followed by a half note A4. A fermata covers the first two measures. The tempo changes to $\frac{3}{4}$ in the third measure, then back to $\frac{4}{4}$ in the fourth. Dynamics include *pp* and *p*. An instruction *(st)* is present.
- Bass Clarinet:** Starts with a half note G3, followed by a half note A3. A fermata covers the first two measures. The tempo changes to $\frac{3}{4}$ in the third measure, then back to $\frac{4}{4}$ in the fourth. Dynamics include *pp* and *p*.

Additional markings include *sul pont.* for the Flute and Violoncello, *sul tasto* for the Violin, and *Ped. sempre* for the Piano.

The musical score consists of five staves for Flute (Fl.), Violin (Vc.), Piano (Pno.), Violin (Vln.), and Bassoon (B. Cl.).

- Flute (Fl.):** Starts with a treble clef and a 2/4 time signature. It features a melodic line with a triplet of eighth notes marked *mp*. The time signature changes to 4/4, and the piece concludes with a triplet of eighth notes marked *p*.
- Violin (Vc.):** Starts with a bass clef. It features a melodic line with a triplet of eighth notes marked *mp*. The piece concludes with a triplet of eighth notes marked *p*.
- Piano (Pno.):** Starts with a treble clef and a key signature of two sharps (F# and C#). It begins with a piano (*p*) dynamic, followed by a forte (*sf*) dynamic and the tempo marking *poco*. The piece concludes with a piano (*p*) dynamic.
- Violin (Vln.):** Starts with a treble clef. It features a melodic line with a triplet of eighth notes marked *mp*. The piece concludes with a triplet of eighth notes marked *mp*.
- Bassoon (B. Cl.):** Starts with a bass clef. It features a melodic line with a triplet of eighth notes marked *mp*. The piece concludes with a triplet of eighth notes marked *mp*.

Musical score for five instruments: Flute (Fl.), Violin (Vc.), Piano (Pno.), Violin (Vln.), and Bass Clarinet (B. Cl.).

- Flute (Fl.):** Treble clef, 4/4 time signature. Starts with a circled measure number 12. Features a triplet of eighth notes (marked *ppp*) and a triplet of quarter notes (marked *ppp*).
- Violin (Vc.):** Treble clef. Features a triplet of eighth notes (marked *ppp*) and a triplet of quarter notes (marked *ppp*).
- Piano (Pno.):** Treble and Bass clefs. Treble clef has a single note (marked *ppp*). A double bar line with a star symbol is present in the bass clef.
- Violin (Vln.):** Treble clef. Features a triplet of eighth notes (marked *pp*) and a triplet of quarter notes (marked *pp*).
- Bass Clarinet (B. Cl.):** Bass clef. Features a triplet of eighth notes (marked *mp*) and a triplet of quarter notes (marked *ppp*).

click-track on (optional)

18 $\frac{5}{4}$ $\text{♩} = 60$ $\frac{9}{8}$ $\frac{4}{4}$

Fl.

Vc.

Pno.

Vln.

B. Cl.

ppp

mp

sul pont.

pizz. arco ord.

mf

p

f

ppp

mp

p

27

Fl.

Vc.

Pno.

Vln.

B. Cl.

sf pp
arco
sul pont.

mp
battuto

sf

sf p
arco
sul pont.

mf

mp

f

sul pont.

p
mf pp sub.

pizz. arco

mp
pp

mf

pp

mf

pp

Detailed description: This page of a musical score contains five staves. The Flute staff (top) begins with a circled measure number '27'. It features dynamic markings *sf pp*, *mp*, *sf p*, and *mf*, with performance instructions 'arco' and 'sul pont.'. The Violin staff (second) includes 'battuto' and *sf*. The Piano staff (third) has *mp* and *f*. The Violin staff (fourth) includes 'sul pont.', *p*, and *mf pp sub.*. The Bassoon staff (bottom) includes 'pizz. arco', *mp*, *pp*, and *mf*. The score is written in treble clef with a key signature of one sharp (F#).

31.

F.L.
mp *col legno* *battuto* *sf* *mp* *pp* *ppp* *sf* *p* *arco* *pizz.* *mp* *ppp* *mp* *pp*


Vc.
mp *battuto* *sf* *mp* *pp* *ppp* *mp* *ppp* *arco* *pizz.* *mp* *ppp* *mp* *pp*

Pno.
mf *p*

Vln.
mf *battuto* *ppp* *mp* *pp* *arco* *pp* *mp* *+* *+* *mp* *+*

B.Cl.
mf *mp* *pp* *mp* *pp* *mp* *pp* *mp* *pp*

click-track off
(optional)

 click-track on
(optional)

$\frac{2}{4} = 85$ $\frac{3}{4}$ $\frac{4}{4}$ $\frac{4}{4}$ $\frac{2}{4}$ $\frac{4}{4}$

The musical score consists of five staves: F.L., Vc., Pno., Vln., and B.Cl. The F.L. staff begins with a circled measure number 35. The Vc. staff includes a '+' sign. The Pno. staff includes a '1.v.' marking. The Vln. staff includes an 'arco' marking. The B.Cl. staff includes a '+' sign. Dynamics include *mp*, *pp*, *mf*, *p*, and *ppp*. Performance markings include accents and slurs. The score is divided into measures with time signatures $\frac{2}{4}$, $\frac{3}{4}$, and $\frac{4}{4}$.

Musical score for Flute (Fl.), Violin (Vln.), and Bassoon (B. Cl.). The score is divided into three systems with time signatures 5/4, 2/4, and 4/4. The Flute part (labeled 45) features a melodic line with dynamics *pp*. The Violin part (labeled 1.v.) includes a triplet of sixteenth notes marked *ppp*. The Bassoon part (labeled 7) features a melodic line with dynamics *pp*. The Piano part (Pno.) is currently blank.

55

FL.

Vc.

Pno.

Vln.

B.Cl.

5/4 2/4 4/4

ppp

p

mf

p

p

3

3

3

3

Detailed description: This is a page of a musical score, page 10. It features five staves: Flute (FL.), Violin (Vc.), Piano (Pno.), Violin (Vln.), and Bass Clarinet (B.Cl.). The score begins at measure 55. The Flute and Violin parts have a melodic line with a triplet of eighth notes at the start of measure 55. The Piano part has a bass line with a triplet of eighth notes. The time signature changes from 5/4 to 2/4 at the beginning of measure 56, and then to 4/4 at the beginning of measure 57. The Flute and Violin parts are marked *ppp* (pianissimo) in measures 55 and 56. The Piano part has a dynamic marking of *p* (piano) in measure 55, *mf* (mezzo-forte) in measure 56, and *p* in measure 57. There are several triplet markings (3) over eighth notes in the Flute, Violin, and Piano parts. The Flute and Violin parts have a fermata over the final note of measure 57. The Piano part has a fermata over the final note of measure 57. The Violin and Bass Clarinet parts are empty.

64

FL.

Vc.

Pno.

Vln.

B. Cl.

2/4

4/4

3/4

ppp

p

f

p subito

pp

sost.

(sul G)

pp

ppp

pp

pp

The musical score consists of five staves: Flute (FL.), Violin (Vln.), Piano (Pno.), Violoncello (Vc.), and Bass Clarinet (B. Cl.). The Flute part begins at measure 64 with a circled number. The score is divided into three measures. The first measure is in 2/4 time, the second in 4/4, and the third in 3/4. The Flute part features a triplet of eighth notes in the first measure, followed by a triplet of quarter notes in the second measure, and a triplet of eighth notes in the third measure. The Violoncello part mirrors the Flute's triplet patterns. The Piano part has a dynamic range from piano (p) to fortissimo (f), with a 'p subito' marking. It includes a triplet of eighth notes in the first measure, a triplet of quarter notes in the second measure, and a triplet of eighth notes in the third measure. The Violin part has a dynamic range from pianissimo (pp) to piano (p), with a '(sul G)' marking. It features a triplet of eighth notes in the first measure, a triplet of quarter notes in the second measure, and a triplet of eighth notes in the third measure. The Bass Clarinet part has a dynamic range from pianissimo (ppp) to piano (pp), with a triplet of eighth notes in the first measure, a triplet of quarter notes in the second measure, and a triplet of eighth notes in the third measure. The Piano part also includes a 'sost.' (sostenuto) marking in the third measure.

Musical score for Flute (Fl.), Violin (Vln.), and Bassoon (B. Cl.) in 4/4 time, measures 71-74. The score is written in treble clef with a key signature of one sharp (F#). The Flute part begins at measure 71 with a circled number 71. The Violin and Bassoon parts enter at measure 72. The Flute part features a melodic line with dynamics *mp*, *mf*, and *mf*. The Violin part includes a triplet of eighth notes in measure 72 and a triplet of eighth notes in measure 73, with dynamics *z p*, *mp*, and *p*. The Bassoon part includes a triplet of eighth notes in measure 72 and a triplet of eighth notes in measure 73, with dynamics *mp*, *mp*, and *mp*. The Flute part has a triplet of eighth notes in measure 73 with dynamics *mp* and *p*. The Violin part has a triplet of eighth notes in measure 74 with dynamics *mp* and *mp*. The Bassoon part has a triplet of eighth notes in measure 74 with dynamics *mp* and *mp*. The Flute part has a triplet of eighth notes in measure 74 with dynamics *mp* and *mf*. The Violin part has a triplet of eighth notes in measure 74 with dynamics *mp* and *mp*. The Bassoon part has a triplet of eighth notes in measure 74 with dynamics *mp* and *mp*. The Flute part has a triplet of eighth notes in measure 74 with dynamics *mp* and *mf*.

79

Fl. $\frac{2}{4}$ $\frac{4}{4}$ $\frac{5}{4}$ $\frac{2}{4}$ bisbigliando *mp* *ppp sempre*

Vc. *mp* *pp* *mf* *p*

Pno. *pp* $\frac{3}{}$ *p*

Vln. *p* *mp* *p* *pp*

B. Cl. *p* *mp* *p* *mp*

Detailed description: This page of a musical score, numbered 13, contains measures 79 through 84. The score is arranged in five systems, each with a staff for a different instrument: Flute (Fl.), Violin (Vc.), Piano (Pno.), Violin (Vln.), and Bass Clarinet (B. Cl.). The Flute part starts at measure 79 with a $\frac{2}{4}$ time signature, then changes to $\frac{4}{4}$, $\frac{5}{4}$, and finally $\frac{2}{4}$. It includes dynamic markings such as *p*, *mp*, *pp*, *ppp*, and *ppp sempre*, along with the instruction "bisbigliando" (whispering). The Violin parts feature dynamics like *mp*, *pp*, *mf*, and *p*. The Piano part includes a triplet of eighth notes marked with a '3' and dynamics *pp* and *p*. The Violin and Bass Clarinet parts also show various dynamics including *p*, *mp*, and *pp*. The score uses a variety of note values, rests, and slurs to indicate phrasing and dynamics.

85 $\frac{3}{4}$ $\frac{2}{4}$

Fl.

Vc. *ppp sempre*

Pno. *mf*

Vln. *p* *ppp sempre*

B. Cl. *ppp sempre*

bisbigliando

Detailed description: This page of a musical score contains five staves. The Flute (Fl.) staff begins with a circled measure number 85 and a 3/4 time signature, which changes to 2/4. The Violoncello (Vc.) staff is marked *ppp sempre* and features a triplet of sixteenth notes. The Piano (Pno.) staff has a triplet of eighth notes marked *mf*. The Violin (Vln.) staff starts with a piano (*p*) dynamic and includes a *bisbigliando* instruction. The Bassoon (B. Cl.) staff is marked *ppp sempre*. The score includes various musical notations such as triplets, slurs, and dynamic markings.

93 $\frac{4}{4}$

Fl. *mf* *ppp*

Vc. *mf* *ppp* *mf*

Pno.

Vln. *mf* *ppp*

B. Cl. *mf* *ppp*

click-track off
(optional)

D

3/4
4/4

97

FL.

Vc.

Pno.

Vln.

B.Cl.

The musical score consists of five staves. The Flute (FL.) staff is in treble clef with a 3/4 and 4/4 time signature. The Violin (Vc.) staff is in treble clef with a 6/6 time signature. The Piano (Pno.) staff has two parts: a right-hand part in treble clef and a left-hand part in bass clef. The Violin (Vln.) staff is in treble clef. The Bass Clarinet (B.Cl.) staff is in bass clef. Dynamics include *f*, *mp*, *p*, *ppp*, *pppp*, *sf*, *mp*, *p*, and *sost.*. There are also some 'D' markings above the Flute and Violin parts.

E click-track on (optional)

$\text{♩} = 60$

4

103

FL.

Vc.

Pno.

Vln.

B. Cl.

p

pppp

f

mp

whole bow l.v.

+ sul pont.

sf

pp

mp

p

pp

109

The musical score consists of five staves: Flute (Fl.), Violin (Vc.), Piano (Pno.), Violin (Vln.), and Bassoon (B. Cl.).

- Flute (Fl.):** Measures 109-110. Measure 109 starts with a *pppp* dynamic. The melody includes a *sf* accent and a *pp* dynamic. Measure 110 features a *mp* dynamic, a *pp* dynamic, and a *pppp* dynamic.
- Violin (Vc.):** Measures 109-110. Measure 109 includes *mp*, *sf*, and *pp* dynamics. Measure 110 includes *mp*, *pp*, and *mp* dynamics. Performance markings include *ord.* (ordine) and *pizz.* (pizzicato).
- Piano (Pno.):** Measures 109-110. Measure 109 includes *mp* and *p* dynamics. Measure 110 includes *mp* and *p* dynamics.
- Violin (Vln.):** Measures 109-110. Measure 109 includes *mp*, *pizz.*, *mp*, *sf*, *pp*, *sf*, and *pp* dynamics. Performance markings include *ord.* and *battuto*. Measure 110 includes *mp*, *pp*, *mp*, *pp*, *mp*, *pp*, *mp*, *pp*, and *mp* dynamics. Performance markings include *ord.* and *battuto*.
- Bassoon (B. Cl.):** Measures 109-110. Measure 109 includes *mp* and *pp* dynamics. Measure 110 includes *mp*, *pp*, *mp*, *pp*, *mp*, *pp*, *mp*, *pp*, and *mp* dynamics.

113

Fl.

Vc.

Pno.

Vln.

B.Cl.

3/4

5/8

2/4

p

mf pp subito

arco

mp

mf

mp

f

mf

[(11)]

f

ord.

sf pp

pizz.

mf

f

sf

pp

Detailed description: This page of a musical score contains five staves. The Flute staff (Fl.) begins with a circled measure number 113 and features a triplet of eighth notes in 3/4 time, followed by a half note in 5/8 time, and ends with a quarter note in 2/4 time. Dynamics range from *p* to *mf pp subito*. The Violin staff (Vln.) starts with a *pizz.* (pizzicato) instruction, followed by a half note in 5/8 time, and ends with a quarter note in 2/4 time. Dynamics include *mf* and *mp*. The Piano staff (Pno.) has a *mp* dynamic, a half note in 5/8 time, and a quarter note in 2/4 time. A first ending bracket labeled (11) spans the piano accompaniment. The Violin staff (Vln.) includes an *ord.* (ordine) instruction, followed by a half note in 5/8 time and a quarter note in 2/4 time. Dynamics include *sf pp* and *mf*. The Bass Clarinet staff (B.Cl.) starts with a *mf* dynamic, followed by a half note in 5/8 time and a quarter note in 2/4 time. Dynamics include *f* and *sf*. The score uses various articulations like accents and slurs.

118 $\frac{4}{4}$

Fl. *mf* *pp* *mp* *pp* *mf* *ppp*

Vc. *mf* *pp* *ppizz.* *mf* *mp*

Pno. *mf* *p*

Vln. *ord.* *sf* *pp* *pp* *sfpp* *mp*

B. Cl. *sf* *mp* *f* *mp* *sf*

Detailed description: This page of a musical score contains five staves for Flute (Fl.), Violin (Vc.), Piano (Pno.), Violin (Vln.), and Bassoon (B. Cl.). The music is in 4/4 time and begins at measure 118. The Flute part starts with a dynamic of *mf*, followed by *pp*, *mp*, *pp*, *mf*, and *ppp*. The Violin part starts with *mf*, then *pp*, *ppizz.*, *mf*, and *mp*. The Piano part has *mf* and *p*. The Violin part includes an *ord.* (ordine) marking, with dynamics *sf*, *pp*, *pp*, *sfpp*, and *mp*. The Bassoon part starts with *sf*, followed by *mp*, *f*, *mp*, and *sf*. Various articulations like accents and slurs are used throughout.

click-track off (optional)

128

$\frac{4}{4}$ $\frac{5}{4}$ $\frac{4}{4}$ $\frac{4}{4}$

$\text{♩} = 85$

staccato, come battuto

mp

battuto

pp

mp

pp

$\text{♯}\text{C}$ p

$\text{♯}\text{C}$ p

$\text{♯}\text{C}$ p

$\text{♯}\text{C}$ p

staccato, come battuto

mp

battuto

pp

staccato, come battuto

pp

mp

$\text{♯}\text{C}$ p

$\text{♯}\text{C}$ p

F.L.

Vc.

Pno.

Vln.

B.Cl.

Musical score for measures 135 and 136. The score is written for Flute (Fl.), Violin (Vln.), and Bassoon (B. Cl.).

- Flute (Fl.):** Measures 135 and 136 are in 2/4 time. Measure 135 contains a whole note chord (E4, G4, B4) marked *pppp*. Measure 136 contains a whole note chord (E4, G4, B4) marked *pppp*. A 3-measure slur is present over the final notes of measure 136.
- Violin (Vln.):** Measures 135 and 136 are in 2/4 time. Measure 135 contains a whole note chord (E4, G4, B4) marked *pppp*. Measure 136 contains a whole note chord (E4, G4, B4) marked *pppp*. A 3-measure slur is present over the final notes of measure 136.
- Bassoon (B. Cl.):** Measures 135 and 136 are in 2/4 time. Measure 135 contains a whole note chord (E4, G4, B4) marked *pppp*. Measure 136 contains a whole note chord (E4, G4, B4) marked *pppp*. A 3-measure slur is present over the final notes of measure 136.

Measure 135 is marked with a circled number 135. Measure 136 is marked with a circled number 136. The time signature changes from 2/4 to 4/4 between measures 135 and 136.

Estes anexos só estão disponíveis para consulta através do CD-ROM.
Queira por favor dirigir-se ao balcão de atendimento da Biblioteca.

Serviços de Biblioteca, Informação Documental e Museologia
Universidade de Aveiro