

IVO MIGUEL DA SILVA LOURO

ATMOSMANCER E WEATHER-WORLD HARPS
SONIFICAÇÕES E ENCONTROS
INSTRUMENTAIS COM A POLUIÇÃO DO AR E O
ATMOSFÉRICO

Orientadora: Prof.^a Doutora Adriana de Almeida Portela Viana de Sá
Coorientador: Prof. Doutor João Marques Carrilho

Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias
Escola de Comunicação, Arquitetura, Artes e Tecnologias da Informação

Lisboa
2022

IVO MIGUEL DA SILVA LOURO

ATMOSMANCER E WEATHER-WORLD HARPS
SONIFICAÇÕES E ENCONTROS INSTRUMENTAIS
COM A POLUIÇÃO DO AR E O ATMOSFÉRICO

Dissertação defendida em provas públicas na Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias no dia 19/12/2022 para obtenção do grau de mestre em Produção e Tecnologias do Som perante o júri nomeado pelo Despacho de Nomeação n.º: 382/2022, de 08 de Novembro, com a seguinte composição:

Presidente: Prof. Doutor Luís Cláudio dos Santos Ribeiro

Arguente: Prof. Doutor Ricardo Jorge Guerreiro - IPL

Orientadora: Prof.^a Doutora Adriana de Almeida P.V. de Sá

Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias
Escola de Comunicação, Arquitetura, Artes e Tecnologias da Informação

Lisboa

2022

Para o João Miguel, a quem desejo uma rápida recuperação.

AGRADECIMENTOS

Começo por considerar que redigir uma segunda tese de mestrado talvez seja supérfluo, mas fi-lo graças ao fascínio pela área e ao prazer do tópico. Não obstante, isso não seria sem o constante apoio de amigos e família ao longo do meu percurso académico.

Gostaria de deixar um agradecimento especial à minha orientadora, a Professora Adriana Sá, por toda a dedicação e paciência que deu ao desenvolvimento deste trabalho. Sempre disponível, sempre aberta e calorosa, a Adriana ofereceu-me apoio incondicional, boas sugestões e conversas estimulantes.

Ao Professor João Marques Carrilho, A.K.A. Jonas Runa, gostaria de agradecer ter-me apresentado a informática musical, sem a qual não seria possível realizar este projeto.

Ao Professor Luís Cláudio fica um especial agradecimento pela paciência com a lentidão da minha escrita.

Deixo também de manifestar o meu profundo apreço pela Raquel Castro, que me convidou para participar no Lisboa Soa. Esta foi uma experiência altamente gratificante, e para isso muito contribuiu o apoio e sugestões da Raquel que enriqueceram a minha progressão enquanto artista em formação.

Um grande obrigado à Cláudia Martinho e à Madalena Oliveira do projeto AUDIRE, pelas condições oferecidas para expor um dos meus instrumentos na sua conferência.

À Taiga Trigo e ao Ricardo Geraldês um grande obrigado pelas maravilhosas fotos da exposição dos meus trabalhos.

À Professora Maria Paula Diogo, um grande abraço pelo seu apoio contínuo aos meus desvios académico-artísticos.

Ao Daniel Paiva gostaria de agradecer ter-me apresentado o tópico das Atmosferas, que doravante será central no meu trabalho académico.

Ao André Pereira, pela generosidade altruísta de passar longas horas a conceber esboços, a cortar plástico e metal e a montar as minhas instalações.

Um grande obrigado a todas as pessoas que me emprestaram equipamento para trabalhar nas *Weather-World Harps*: André Pereira, Sr. Zé, Andreia Costa, Ana Matilde Sousa.

Aos meus amigos que me aturam, desafiam e apoiam plenamente: Hugo Almeida, André Pereira, Hugo Soares, Ana Cabral Martins, Andreia Costa, e ao João Miguel.

Por fim e acima de tudo, nenhum dos meus trabalhos é possível sem a ajuda emocional, física, concetual e crítica da Matilde.

RESUMO

Como pode a poluição atmosférica, enquanto fenómeno ambiental, e os sensores de qualidade do ar, enquanto tecnologias de deteção, influenciar a criação de diferentes, ou mesmo novos, instrumentos sonoros?

Esta questão mobiliza a presente tese de mestrado em torno de uma reflexão teórica e prática sobre as implicações técnicas, estéticas e sociopolíticas da criação de instrumentos musicais que sonificam os dados da poluição do ar e outros parâmetros atmosféricos.

Seguindo a metodologia da "practice-based research", documento a construção e exposição de dois instrumentos baseados em sensores de qualidade do ar, *Atmosmancer*, versão móvel e versão instalação, e *Weather-World Harps*. Teoricamente, contextualizo este processo em torno de três temas principais: sonificação artística ecológica; construção e fenomenologia de instrumentos musicais digitais, e atmosferas meteorológico-afetivas.

Concluo discutindo o potencial expressivo e imaginativo da poluição do ar, sensores de qualidade do ar, e sonificação para a arte sonora ecológica. Ao proporcionar diferentes encontros e relações fenomenológicas com o atmosférico, acredito que estes instrumentos fazem o que Derek McCormack chama de "coisas atmosféricas", ou seja, tornam palpável a afetividade-materialidade do ar. Com tais qualidades, penso que artistas, cidadãos-cientistas e educadores podem utilizar instrumentos de sonificação semelhantes para promover consciência ambiental da poluição atmosférica e de outros problemas ecológicos.

Palavras-chave: Sonificação, Arte Sonora Ecológica, Sonificação de Poluição do Ar, Novos-Interfaces de Expressão Musical, Atmosferas

ABSTRACT

How can air pollution, as an environmental phenomenon, and air quality sensors, as sensing technologies, influence the creation of different, or even new, sound instruments?

This question mobilizes the present master thesis around a theoretical and practical reflection on the technical, aesthetic, and socio-political implications of creating musical instruments that sonify data from air pollution and other atmospheric parameters.

Following the "practice-based research" methodology, I document the construction and exhibition of two air quality sensor-based instruments: *Atmosmancer* — in mobile and installation forms — and *Weather-World Harps*. Theoretically I contextualize this process around three main themes: artistic ecological sonification; construction and phenomenology of digital musical instruments, and meteorological-affective atmospheres.

I conclude by discussing the expressive and imaginative potential of air pollution, air quality sensors, and sonification for ecological sound art. By providing different encounters and phenomenological relations with the atmospheric, I believe these instruments do what Derek McCormack calls "atmospheric things," i.e., they make the affectivity-materiality of the air palpable. With such qualities, I think artists, citizen scientists, and educators can use similar sonification instruments to create a more significant environmental and political awareness of air pollution and other ecological problems.

Keywords: Sonification, Ecological Sound Art, Air Pollution Sonification, New-Interfaces for Musical Expression, Atmospheres

ABREVIATURAS

BaP	Benzo[a]Pireno
BPF	«Band-pass filter» / Filtro Passa Bandas
COV	Compostos orgânicos Voláteis
DAC / CAD	«Digital-analog-converter» / Conversor analógico-digital
DIY	«Do-it-yourself»
DMI	«Digital Music Instrument»
HPF	«High-pass filter» / Filtro Passa Altos
IDE	«Integrated development environment»
LPF	«Low-pass filter» / Filtro Passa Baixos
MIDI	«Musical Instrument Digital Interface»
NH ₃	Amoníaco
NIME	«New Interfaces for Musical Expression»
NO	Monóxido de Azoto
NO ₂	Dióxido de Azoto
NO _x	Óxidos de Azoto (em geral)
O ₃	Ozono
OMS / WHO	Organização Mundial de Saúde
PBL	«Practice-Led Research»
PBR	«Practice-Based Research»
PM	Matéria Particulada
PM ₁₀	Matéria Particulada com diâmetro inferior a 10 micrómetros
PM _{2,5}	Matéria Particulada com diâmetro inferior a 2,5 micrómetros
ppb	Partes por bilião
ppm	Partes por milhão
SC3	SuperCollider 3
SO ₂	Dióxido de enxofre

ÍNDICE GERAL

INTRODUÇÃO	19
Objeto de estudo, metodologia estrutura da tese	19
Tópicos Relevantes	22
Arte sonora e ecologia	22
O problema da poluição do ar	27
Sonificação	30
Sonificação na arte	32
Perspetivas criativas sobre instrumentos e sensores	33
Atmosferas	35
Perguntas de Investigação e Contribuições	37
CAPÍTULO 1 — REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	39
1.1 — Sonificação Artísticas, Ecológicas e de Problemas do Ambiente	39
1.1.1 — Sonificação na arte e na música	39
1.1.2 — Sonificações ecológicas e dos problemas do ambiente	44
1.1.3 — Sonificações de Poluição do Ar	47
1.2 — Instrumentação	50
1.2.1 — Novas Interfaces de Expressão Musical	50
1.2.2 — Ciência cidadã e “criaturação de dados”	57
1.3 — Teoria de Atmosferas	60
1.3.1 — Atmosferas afetivas	60
1.3.2 — O “Mundo do tempo” e o contínuo material-afetivo das atmosferas	62
1.3.3 — Ambiguidade e dinamismo das atmosferas	63
1.3.4 — “Coisas atmosféricas”	65
CAPÍTULO 2 — TÉCNICAS UTILIZADAS NOS TRABALHOS PRÁTICOS	68
2.1 — Sonificação por Mapeamento de Parâmetros	68
2.2 — Arduino	74
2.3 — SuperCollider	76
	7

2.4 — Métodos de síntese de sonora	77
2.5 — Sensores atmosféricos	80
CAPÍTULO 3 — <i>ATMOSMANCER</i>	84
3.1 — Apresentação e trabalhos prévios	84
3.2 — Configuração	88
3.2.1 — Componentes e ligações	88
3.2.2 — Interface de controle	90
3.3 — Sonificações	91
3.3.1 — <i>Atmosmancer</i> Móvel	91
3.3.2 — <i>Atmosmancer</i> Instalação	100
3.3.3 — Instalação no Lisboa Soa 2019	106
CAPÍTULO 4 — <i>WEATHER-WORLD HARPS</i>	117
4.1 — Apresentação	117
4.2 — Conceptualização, componentes e expressão	119
4.2.1 — Harpas de COV	120
4.2.2 — Harpas de NO ₂	127
4.2.3 — Harpas de PM	132
4.3 — Composição de Sonificações	135
4.3.1 — Harpas de COV	135
4.3.2 — Harpas de NO ₂	136
4.3.3 — Harpas de PM	139
4.4 — <i>Weather-World Harps</i> em exposição nas conferências ICLI 2022 e AUDIRE 2022	139
CAPÍTULO 5 — DISCUSSÃO E CONCLUSÃO	147
5.1 — Geral	147
5.2 — Limitações e Desenvolvimentos futuros	157
BIBLIOGRAFIA	161

ÍNDICE REMISSIVO	171
APÊNDICES	I
Apêndice I — Principais Poluentes do Ar e seus impactos ambientais	i
Apêndice II — Funções de transferência e composição <i>Atmosmancer</i> móvel	iii
Apêndice III — Funções de transferência e composição <i>Atmosmancer</i> : Instalação	xv

ÍNDICE DE QUADROS

QUADRO 1 — FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA DE UMA SONIFICAÇÃO	69
QUADRO 2 — EXEMPLO DE UMA FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA	69
QUADRO 3 — MAPEAMENTO UM-PARA-MUITOS	70
QUADRO 5 — SENSORES, PARÂMETROS MEDIDOS E FONTES DE INFORMAÇÃO UTILIZADOS NO DESENVOLVIMENTO DO <i>ATMOSMANCER</i>	80
QUADRO 6 — MAPEAMENTO DA TEMPERATURA À ESCALA MUSICAL	94
QUADRO 7 — MAPEAMENTO DO SENSOR DE LUMINOSIDADE	94
QUADRO 8 — AFINAÇÃO DAS HARPAS DE NO ₂	130
QUADRO 9 — MAPEAMENTO DE PARÂMETROS PARA A SONIFICAÇÃO DE COV NAS <i>WEATHER-WORLD HARPS</i>	136
QUADRO 10 — MAPEAMENTO DE PARÂMETROS PARA A SONIFICAÇÃO DE NO ₂ NAS <i>WEATHER-WORLD HARPS</i> .	137
QUADRO 11 — MAPEAMENTO DE PARÂMETROS PARA A SONIFICAÇÃO DE PM NAS <i>WEATHER-WORLD HARPS</i> .	139
QUADRO 12 — FONTES, PRINCIPAIS EFEITOS NA SAÚDE HUMANA E NOS ECOSISTEMAS DOS PRINCIPAIS POLUENTES DO AR	I
QUADRO 13 — SONIFICAÇÃO DE COV PARA VALORES ENTRE DE CONCENTRAÇÃO ENTRE 0 PPB - 220 PPB (ENTRE BOA E MODERADA CONCENTRAÇÃO)	III
QUADRO 14 — SONIFICAÇÃO DE COV PARA VALORES ENTRE DE CONCENTRAÇÃO ENTRE 220 PPM - 660 PPM (ENTRE MODERADA E MÁ CONCENTRAÇÃO)	VI
QUADRO 15 — SONIFICAÇÃO DE COV PARA VALORES ENTRE DE CONCENTRAÇÃO ENTRE ACIMA DE 660 PPM (ENTRE MÉDIA E MÁ CONCENTRAÇÃO)	VIII
QUADRO 16 — SONIFICAÇÃO DE COV PARA VALORES ENTRE DE CONCENTRAÇÃO ENTRE ACIMA DE 1100 PPM (MÁ CONCENTRAÇÃO)	X
QUADRO 17 — SONIFICAÇÃO DE PM ₁₀ PARA VALORES ENTRE DE CONCENTRAÇÃO ENTRE 0 PPM - 1200 PPM	XII
	10

QUADRO 18 — SONIFICAÇÃO DE NO ₂ PARA VALORES ENTRE DE CONCENTRAÇÃO ENTRE 0.01 PPM E 0.05 PPM (BAIXA A MÉDIA)	XIII
QUADRO 19 — SONIFICAÇÃO DE NO ₂ PARA VALORES DE CONCENTRAÇÃO SUPERIORES A 0.05 PPM	XIV
QUADRO 20 — SONIFICAÇÃO DE COV PARA VALORES ENTRE DE CONCENTRAÇÃO ENTRE 0 PPB - 220 PPB	XV
QUADRO 21 — SONIFICAÇÃO DE COV PARA VALORES ENTRE DE CONCENTRAÇÃO ENTRE 220 PPB - 660 PPB (ENTRE MÉDIA E MÁ CONCENTRAÇÃO)	XVII
QUADRO 22 — SONIFICAÇÃO DE COV PARA VALORES ENTRE DE CONCENTRAÇÃO ACIMA DE 660 PPB	XIX
QUADRO 23 — SONIFICAÇÃO DE PM ₁₀ PARA VALORES ENTRE DE CONCENTRAÇÃO ENTRE 0 PPM -1200 PPM	XXI
QUADRO 24 — SONIFICAÇÃO DE PM ₁₀ PARA ULTRAPASSAGEM DE VALORES LIMITE PARA A SAÚDE HUMANA.	XXII
QUADRO 25 — SONIFICAÇÃO DE PM _{2,5} PARA ULTRAPASSAGEM DE VALORES LIMITE PARA A SAÚDE HUMANA.	XXIII
QUADRO 26 — SONIFICAÇÃO DE NO ₂ PARA VALORES ENTRE DE CONCENTRAÇÃO ENTRE 0,01 PPM E 0,05 PPM (BAIXA A MÉDIA)	XXIV
QUADRO 27 — SONIFICAÇÃO DE NO ₂ PARA VALORES DE CONCENTRAÇÃO SUPERIORES A 0.05 PPM	XXV

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 — ILUSTRAÇÕES DE HARPAS EÓLICAS DE ATHANASIOS KIRSHER, COMO APRESENTADAS NAS SUAS PUBLICAÇÕES PHONURGIA NOVA E MUSURGIA UNIVERSALIS	41
FIGURA 2 — EXEMPLOS DE NIME: TOPO ESQUERDA) O HALLDORPHONE; TOPO DIREITA) O KARLAX; EM BAIXO) ATAU TANAKA USA SENSORES MUSCULARES E REDES NA SUA PERFORMANCE MYOGRAM.	52
FIGURA 3 — MODELO EXPLICADOR DE UM INSTRUMENTO MUSICAL ELECTRÓNICO.	54
FIGURA 4 — EXEMPLO DE UM SENSOR FLEXÍVEL	55
FIGURA 5 — TIPOS DE DIMENSIONAMENTO NUMA SONIFICAÇÃO.	73
FIGURA 6 — QUATRO DAS PRINCIPAIS PLACAS ARDUINO (ESQUERDA PARA A DIREITA): MEGA, UNO, NANO E PRO MINI.	74
FIGURA 7 — COMPONENTES DE UMA PLACA ARDUINO	75
FIGURA 8 — O IDE ARDUINO	75
FIGURA 9 — IDE DO SUPERCOLLIDER, VERSÃO 3.12.1	77
FIGURA 10 — ESQUEMATIZAÇÃO DA SÍNTESE SUBTRATIVA TÍPICA	78
FIGURA 11 — SENSORES ATMOSFÉRICOS UTILIZADOS NO <i>ATMOSMANCER</i> E NAS <i>WEATHER-WORLD HARPS</i> .	81
FIGURA 12 — FUNCIONAMENTO TÍPICO DE UM SENSOR DE PARTÍCULAS ÓTICO A LASER.	82
FIGURA 13 — DISPOSIÇÃO ESPACIAL DA INSTALAÇÃO <i>ATMOSMANCY</i>	86
FIGURA 14 — O CENTRO DA INSTALAÇÃO <i>ATMOSMANCY</i> COM SUPORTES PARA COLUNAS PIRAMIDAIAS NA EXPOSIÇÃO <i>IMMERSIVE/IMERSIVO</i>	87
FIGURA 15 — VISITANTES ESCUTAM A <i>ATMOSMANCY</i> E PASSEIAM-SE PELA SALA	87
FIGURA 16 — ESQUEMA CONCEPTUAL DO <i>ATMOSMANCER</i>	89
FIGURA 17 — INTERFACE DE CONTROLO MÓVEL POR OSC DO <i>ATMOSMANCER</i>	90
FIGURA 18 — <i>ATMOSMANCER</i> NO EXTERIOR ANTES DE REALIZAR UMA MEDIÇÃO.	92
	12

FIGURA 19 — CONFIGURAÇÃO ESPACIAL DO <i>ATMOSMANCER</i> : INSTALAÇÃO	101
FIGURA 20 — A GEOGRAFIA DO ELEMENTO AR COMO CONCEPTUALIZADA POR PLATÃO E ILUSTRADA NO MYSTERIUM COSMOGRAPHICUM DE JOHANES KEPLER, 1597	107
FIGURA 21 — CONCEPTUALIZAÇÃO VISUAL DO ABRIGO DE SENSORES DO <i>ATMOSMANCER</i> E DAS SUAS PARTES INDIVIDUAIS. (DESENHOS POR ANDRÉ PEREIRA)	107
FIGURA 22 — ESQUIÇO DO ABRIGO DE SENSORES DO <i>ATMOSMANCER</i> E VISUALIZAÇÃO POTENCIAL DA SUA INSTALAÇÃO NO ESPAÇO.	108
FIGURA 23 — LOCALIZAÇÕES DA ESTUFA FRIA TESTADAS PARA INSTALAR O <i>ATMOSMANCER</i> .	109
FIGURA 24 — TESTANDO O <i>ATMOSMANCER</i> NA PRIMEIRA LOCALIZAÇÃO, JÁ COM UMA MAQUETE EM MADEIRA DA ESTRUTURA QUE ALBERGARIA OS SENSORES (IMAGEM À ESQUERDA). (FOTOS POR ANDRÉ PEREIRA)	109
FIGURA 25 — TESTANDO DUAS HIPÓTESES PARA A SEGUNDA LOCALIZAÇÃO E ESCUTANDO AS SONIFICAÇÕES <i>IN SITU</i> .	111
FIGURA 26 — ENCENANDO A ATMOSFERA COM INCENSO.	112
FIGURA 27 — TRÊS DOS QUATRO ALTIFALANTES DA INSTALAÇÃO <i>ATMOSMANCER</i>	113
FIGURA 28 — LOCALIZAÇÃO FINAL DO <i>ATMOSMANCER</i>	113
FIGURA 29 — MODELOS DE SUSTENTADOR UTILIZADO NAS <i>WEATHER-WORLD HARPS</i>	121
FIGURA 30 — FUNCIONAMENTO DE UM SUSTENTADOR TÍPICO	121
FIGURA 31 — TIPO DE RELÉS CONTROLADOS POR ARDUINO USADOS NAS <i>WEATHER-WORLD HARPS</i> .	123
FIGURA 32 — ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DOS RELÉS E SUSTENTADORES NAS <i>WEATHER-WORLD HARPS</i> .	123
FIGURA 33 — EXTERIOR E INTERIOR DA CAIXA QUE ALBERGA OS RELÉS E O ARDUINO NAS <i>WEATHER-WORLD HARPS</i> .	123
FIGURA 34 — DEMONSTRAÇÃO DA LIGAÇÃO DOS RELÉS AO SUSTENTADOR.	124
FIGURA 35 — PRIMEIROS TESTES DE AUTOMAÇÃO E POSICIONAMENTO DOS SUSTENTADORES.	125

FIGURA 36 — SUPORTE DOS SUSTENTADORES NAS HARPAS DE COV.	126
FIGURA 37 — AMPLIFICADORES UTILIZADOS. ESQUERDA: MINI-AMPLIFICADORES A PILHAS NAS HARPAS DE COV; DIREITA: BAIXO E AMPLIFICADOR	127
FIGURA 38 — MOTORES DC DE 12 V E OS TRÊS TIPOS DE BATENTES UTILIZADOS NAS HARPAS DE NO ₂ .	128
FIGURA 39 — «DRIVER» PARA MOTORES L298N PARA ARDUINO E ESQUEMA DE LIGAÇÃO TÍPICO.	129
FIGURA 40 — TESTES COM ATUAÇÃO DE PAUS DE BAMBU PRESOS ENTRE AS CORDAS DA GUITARRA.	131
FIGURA 41 — HARPAS DE NO ₂ E SEUS BATENTES	132
FIGURA 42 — HARPA DE PM E DISPOSIÇÃO DOS MOTORES E BATENTES AO LONGO DO BRAÇO	133
FIGURA 43 — GARRAS DE CROCODILO PRESAS ÀS CORDAS DA GUITARRA DE SONIFICAÇÃO DAS PM.	134
FIGURA 44 — MONTAGEM DA INSTALAÇÃO NAS CONFERÊNCIAS ICLI 2022 (ESQUERDA) E AUDIRE 2022 (DIREITA)	140
FIGURA 45 — DISPOSIÇÃO DE AMPLIFICADORES DAS <i>WEATHER-WORLD HARPS</i>	141
FIGURA 46 — HARPAS DE COV EXPOSTAS DA CONFERÊNCIA ICLI	141
FIGURA 47 — ALBERGANDO E EXPONDO OS SENSORES NAS <i>WEATHER-WORLD HARPS</i> .	142
FIGURA 48 — DISPOSIÇÃO ESPACIAL DA INSTALAÇÃO NAS CONFERÊNCIAS ICLI 2022 (EM CIMA) E AUDIRE 2022 (EM BAIXO)	143
FIGURA 49 — HARPAS DE NO ₂ EM EXPOSIÇÃO NA ICLI 2022.	144
FIGURA 50 — HARPAS DE COV EM EXPOSIÇÃO NO ESPAÇO GNRATION EM BRAGA, DURANTE A CONFERÊNCIA AUDIRE 2022.	146

ÍNDICE DE FICHEIROS ÁUDIO

▶ ÁUDIO 1 — <i>ATMOSMANCER</i> : MÓVEL, EVOLUÇÃO COV 0 PPB – 1200 PPB	95
▶ ÁUDIO 2 — <i>ATMOSMANCER</i> : MÓVEL, EVOLUÇÃO PM ₁₀ 0 MG/M ³ A 1200 MG/M ³	97
▶ ÁUDIO 3 — <i>ATMOSMANCER</i> : MÓVEL, EVOLUÇÃO NO ₂ 0 PPM A 0,05 PPM	98
▶ ÁUDIO 4 — <i>ATMOSMANCER</i> : MÓVEL, EVOLUÇÃO NO ₂ 0,05 PPM A 0,1 PPM	98
▶ ÁUDIO 5 — <i>ATMOSMANCER</i> : MÓVEL. INTERIOR DE UMA CASA COM CONCENTRAÇÕES DE COV BAIXAS	99
▶ ÁUDIO 6 — <i>ATMOSMANCER</i> : MÓVEL. INTERIOR DE UMA CASA COM CONC. DE COV DE 200 PPB	99
▶ ÁUDIO 7 — <i>ATMOSMANCER</i> : MÓVEL. EXTERIOR. NO ₂ A 0.15 PPM, COV A 30 PPB, PM ₁₀ INFERIOR 10 µG/M ³	99
▶ ÁUDIO 8 — <i>ATMOSMANCER</i> : INSTALAÇÃO: GRAVAÇÃO BINAURAL DA EVOLUÇÃO DE COV ENTRE 0 PPB E 1200 PPB	102
▶ ÁUDIO 9 — <i>ATMOSMANCER</i> : INSTALAÇÃO: GRAVAÇÃO BINAURAL DA EVOLUÇÃO DE PM ₁₀ ENTRE 0 µG/M ³ E 1200 µG/M ³	103
▶ ÁUDIO 10 — <i>ATMOSMANCER</i> : INSTALAÇÃO: GRAVAÇÃO BINAURAL EVOLUÇÃO HUMIDADE COM PM ₁₀	104
▶ ÁUDIO 11 — <i>ATMOSMANCER</i> : INSTALAÇÃO: PM _{2,5} SINAIS DE CONTEXTO A AVISAR ULTRAPASSAGEM DE VALORES LIMITE MÉDIO, FRACO E MAU PARA A SAÚDE HUMANA	105
▶ ÁUDIO 12 — <i>ATMOSMANCER</i> : INSTALAÇÃO: EVOLUÇÃO NO ₂ ENTRE 0,00 PPM E 0,2 PPM	106
▶ ÁUDIO 13 — <i>ATMOSMANCER</i> : INSTALAÇÃO NO LISBOA SOA 2019 DURANTE A MANHÃ, GRAVAÇÃO BINAURAL	114
▶ ÁUDIO 14 — <i>ATMOSMANCER</i> : INSTALAÇÃO NO LISBOA SOA 2019, FUMO DE INCENSO ENCONTRA OS SENSORES, GRAVAÇÃO BINAURAL	114

- ▶ ÁUDIO 15 — *ATMOSMANCER*: INSTALAÇÃO NO LISBOA SOA 2019, NO₂ ELEVADOS AO APROXIMAR DO FIM DE TARDE, GRAVAÇÃO BINAURAL 114
- ▶ ÁUDIO 16 — GRAVAÇÃO BINAURAL DE PASSEIO ENTRE AS *WEATHER-WORLD HARPS* DURANTE A EXPOSIÇÃO AUDIRE 2022 119

ÍNDICE DE FICHEIROS VÍDEO

🎬 VÍDEO 1 — WEATHER-WORLD HARPS NA EXPOSIÇÃO ICLI 2022 E ENTREVISTA COM O AUTOR	119
🎬 VÍDEO 2 — WEATHER-WORLD HARPS EM EXPOSIÇÃO NA AUDIRE 2022	119

NOTA SOBRE GRAVAÇÕES BINAURAIS

Recomenda-se o uso de auscultadores para a escuta das gravações dos artefactos realizados no âmbito deste projeto de mestrado, uma vez que várias foram realizadas através de microfones binaurais.

Todas as gravações binaurais foram realizadas com microfones Roland CS-10EM e gravador TASCAM DR-100 MKIII.

Introdução

“Quando se fala de música, não nos podemos esquecer que de forma a ouvir música, o ouvinte tem que ser sujeito a um fenómeno físico; se não existir uma perturbação atmosférica entre a fonte e o ouvinte, não há música.”

— Edgard Varèse, in *Les instruments de musique et la machine électronique*, 1955 ¹.

“We have the problems, but we don’t have the publics that go with them.”

— Bruno Latour, *Waiting for Gaia. Composing the common world through arts and politics*, 2015.

Objeto de estudo, metodologia estrutura da tese

Esta dissertação apresenta uma reflexão sobre a criação de instrumentos e ambiências musicais com recurso a sensores de poluição do ar, através de uma investigação teórico-prática sobre os processos de criação artística e de consciencialização ambiental. A investigação é motivada por uma vontade de entender o que implica criar um instrumento para representar condições ambientais pelo som. As minhas experiências seguem uma tradição de instrumentos que problematizam a retórica da exposição clara e científica de dados científicos como modo dominante de conhecer o mundo. Interessa-me combinar a minha formação anterior em Engenharia do Ambiente, que me munuiu de conhecimentos técnicos e de uma preocupação com o estudo e divulgação de problemas ambientais, com uma prática de arte sonora, que agora procuro desenvolver.

A investigação inclui o desenvolvimento de dois instrumentos: *Atmosmancer* — em versão móvel e instalação — e *Weather-World Harps*. Estes instrumentos utilizam dados recolhidos por sensores de qualidade do ar e de outros parâmetros atmosféricos, assumindo-os como base conceptual e estrutural para a criação de composições sonoras.

Tendo por objetivo criar instrumentos para sonificar — i.e., transformar dados em sons — parâmetros atmosféricos e refletir sobre essa prática, a abordagem metodológica mais adequada para tal é o que, utilizando terminologia inglesa, se designa como «practice-based research» — PBR. Esta consiste numa investigação de teor académico que se centra na prática artística e sua natureza. Candy e Edmonds (2018, p. 63) definem a PBR como “investigação original de forma a obter novo conhecimento, parcialmente através da prática e

¹ Varèse, Edgard, 1955. *Les instruments de musique et la machine électronique*, in Roads, Curtis (2015). *Composing Electronic Music*. Oxford University Press. Oxford; New York. p.64.

dos resultados dessa prática”. No âmago da investigação via PBR está a produção de artefactos, como por exemplo instalações sonoras ou instrumentos musicais.

Tratando-se de uma metodologia que inquire criticamente sobre a prática, a PBR distingue-se de duas outras formas de investigação artística: a investigação orientada pela prática, ou «practice-led research» — PBL — e a investigação privada que um artista desenvolve normalmente na sua prática pura. Sendo que a primeira se situa igualmente no domínio académico, tende a ser confundida com a PBR; contudo, é uma metodologia distinta, focando-se na produção de novos conhecimentos sobre a prática sem existir, necessariamente, a produção de um artefacto. Trata-se de investigar uma prática de forma a desenvolver melhores abordagens e criar linhas orientadoras para a execução eficaz da mesma (Candy & Edmonds, 2018). Já no âmbito da PBR, “fazer um artefacto é fundamental, e os conhecimentos da fabricação, reflexão e avaliação podem alimentar diretamente o próprio artefacto” (Candy & Edmonds, 2018).

Por outro lado, a PBR não é a investigação que os artistas normalmente conduzem para realizar as suas criações. Em ambos os casos, o artista estuda soluções metodológicas e técnicas para a criação de um novo artefacto. Contudo, na PBR o processo é sistematizado e orientado para a produção de conhecimento em geral. Ou seja, não basta que a investigação resulte na criação de técnicas e artefactos que podem ser novos para o artista, elas devem oferecer algum tipo de introspeção que possa ser partilhada com o público e que seja devidamente documentada para que possa ser analisada e escrutinada num registo académico.

Assim, para que uma investigação seja considerada «practice-based» terá de seguir os seguintes princípios:

- A investigação é dirigida para a criação de um artefacto, que pode ser, por exemplo, um romance, um filme, uma música ou uma instalação sonora.
- O processo é iterativo: uma intenção e pergunta iniciais levam à criação do artefacto, cujo desenvolvimento resulta retroativamente em questões de investigação e novos desenvolvimentos teóricos.
- A criação do artefacto, as decisões ao longo do processo e as questões que este coloca são documentadas e apresentadas na dissertação. Ou seja, o artefacto não é a explicação em si. Neste sentido, deve ser acompanhado por uma contextualização através de revisão de literatura, bem como por uma reflexão textual sobre como deve ser apreendido, tanto nesse contexto como enquanto nova produção.
- É dada ênfase aos resultados da investigação e esses devem ser partilhados através da dissertação, contribuindo para a produção de conhecimento em geral.

O modo como a PBR informa esta investigação reflete-se tanto na produção de artefactos, como na estrutura da tese.

As próximas secções deste capítulo introdutório apresentam alguns tópicos relevantes para contextualizar as perguntas de investigação e fundamentar as metodologias que adotei: Arte sonora e questões do ambiente; Poluição atmosférica e modos de comunicação; Sonificação e o seu papel na arte; Perspetivas sobre instrumentos e sensores; e Atmosferas.

Vários destes tópicos reaparecem e são aprofundados no Capítulo 1, referente à revisão de literatura e que os enquadra num corpo teórico mais amplo. Nas suas três secções, contextualiza-se a prática da sonificação em termos históricos, tendo em conta a sua utilização para criar música e arte sonora a partir de dados ambientais; revê-se a literatura sobre interfaces de expressão musical que funcionam à base de sensores, abordando a noção de instrumento enquanto sistema aberto, as suas dependências expressivas, e os tipos de interação entre humano e mundo que um instrumento pode mediar; e discute-se a literatura sobre teoria estética e fenomenologia de atmosferas. Abordam-se, entre outras questões, o que é uma atmosfera afetiva, como é produzida e experienciada; o contínuo afetivo-meteorológico que faz parte da nossa imersão no mundo; como a atmosfera implica uma ambiguidade cognitiva, sensorial e ontológica e um dinamismo turbulento; e como certos objetos e dispositivos medeiam a sua produção, expressão e intensificação.

Os instrumentos que produzi no contexto do projeto de mestrado exploram a sonificação com recurso a determinadas técnicas de mapeamento, aplicando-as via programação de microcontroladores Arduino e de informática musical em SuperCollider 3. O Capítulo 2 é dedicado a estas plataformas, aos métodos de produção sonora e aos sensores utilizados, para que o leitor possa compreender melhor a linguagem técnica usada nos capítulos seguintes.

O Capítulo 3 descreve o desenvolvimento do instrumento *Atmosmancer*, nas suas versões móvel e instalação, com ênfase numa memória descritiva do pensamento subjacente às múltiplas decisões conceptuais, técnicas e expositivas que conduziram à sua concretização; discorre, ainda, sobre a exposição do *Atmosmancer* no contexto do Festival Lisboa Soa de 2019. O Capítulo 4 descreve o instrumento *Weather World Harps* e, à semelhança do capítulo anterior, aborda as suas especificidades artísticas e tecnológicas, incluindo os dois momentos de exposição díspares nas conferências ICLI 2022 e Audire 2022.

Finalmente, o Capítulo 5, de discussão e conclusão, sintetiza os principais resultados da investigação e regressa à componente prática do projeto – os instrumentos. Aqui são reavaliados à luz das questões de investigação, dos principais tópicos teóricos abordados no segundo capítulo, e da noção de todo o processo de desenvolvimento de novas interfaces de

expressão musical como um ato de compor (Magnusson, 2019; Tanaka, 2011). Concluo com uma secção dedicada às limitações encontradas durante o desenvolvimento dos instrumentos, em que também aponto possíveis desenvolvimentos futuros para estes.

Tópicos Relevantes

Arte sonora e ecologia

Definição de arte sonora

A arte sonora é considerada uma prática relativamente recente, cujas definições ainda estão sujeitas a múltiplas interpretações, discussões e divergências (Cox, 2007; Gilmurray, 2018; LaBelle, 2015; Landy, 2007; Licht, 2009, 2019; Neuhaus, 2000; Voegelin, 2010). Resumidamente, pode-se descrevê-la como uma corrente que inclui “trabalhos numa variedade de meios que partilham uma preocupação central com questões em torno do som e da escuta” (Gilmurray, 2018, p. 14).

Embora exista uma longa tradição artística de experimentação nestes domínios, sobretudo no século XX, o uso do termo “arte sonora” generalizou-se a partir dos anos 90. Até então, estas experimentações tendiam a ser categorizadas apenas como música experimental (Licht, 2019).

De facto, muito do contencioso em volta de uma definição para a área relaciona-se com ser ou não música (Landy, 2007; Licht, 2019; Neuhaus, 2000). Adam Licht (2019, p. 1), por exemplo, considera que a arte sonora enquanto termo é útil para nos referirmos principalmente a “trabalhos específicos ao lugar ou ao objeto que não são intencionados como música per se”. O autor destaca, ainda, que um dos aspetos essenciais dos trabalhos de arte sonora é não possuírem uma duração e sequência específica e predeterminada, como aconteceria com a música.

Uma das perspetivas mais consensuais sobre a arte sonora é que esta ganha forma e relevância através da relação particular que estabelece entre a obra e o seu contexto espacial, ou a sua especificidade em relação a determinado local ou locais — a «site-specificity» na terminologia em inglês. Encontramo-la em Licht, mas especialmente nos trabalhos de Brandon LaBelle.

LaBelle defende que, no seu âmago, a arte sonora consiste na “a ativação da relação existente entre som e espaço.” (LaBelle, 2015, p. xi). Neste caso, a especificidade do local torna-se fundamental para a arte sonora, porque o som “atua com e através do espaço”, transportando consigo todas as interações da energia acústica com as superfícies e volumes

de determinado lugar, incluindo a disposição e as ações dos corpos que podem ser influenciados por situações sociais. — e.g. gritar, bater palmas, dançar, estar sentado, etc. A partir daqui a arte sonora faz uso da escuta e do som para inquirir as noções de contexto e localização. É precisamente o enfoque nas potencialidades estético-relacionais do som para questionar, descrever e problematizar a relação entre as dinâmicas do espaço, do íntimo, do social e do político que LaBelle considera ser a problemática central da arte sonora.

Mais do que repensar estas contribuições, pretendo enfatizar como este campo ainda é muito fluido e que, na prática, as suas fronteiras se esbatem entre a música, a escultura, e outras expressões artísticas. No entanto, reconhecer que a arte sonora demonstra um interesse particular pela relacionalidade espacial e pelos objetos que a refletem é um ponto importante a ter em conta ao longo do desenvolvimento deste trabalho. É particularmente pertinente, neste contexto, considerar as reflexões de Jonathan Gilmurray (2018) sobre a arte sonora e o ambiente. Gilmurray parte de uma definição bastante inclusiva de arte sonora, influenciada por Leigh Landy (2007):

"a forma de arte em que o som, ou seja, não a nota musical, é a sua unidade básica' (...) incorporando formas tais como composição eletrónica, eletroacústica e de paisagem sonora, «musique concrète», obras radiofónicas, esculturas sonoras ou baseadas no som, instalações, e obras específicas ao local". (Gilmurray, 2018, p. 14).

Gilmurray também faz questão de usar o termo “trabalho sonoro”² para se referir a todos os trabalhos de arte sonora independentemente da sua forma ou contexto, uma vez que muitos incluem uma mistura das várias categorias mencionadas acima. Para Gilmurray, esta definição pode não ser consensual, mas evita impor restrições a uma tendência artística que ainda está em formação. Adicionalmente, defende que permite contrariar a tendência para separar a música da arte, que, para o autor, é uma das razões pelas quais as obras de arte sonora são frequentemente excluídas das exposições e histórias da arte sobre práticas com preocupações ecológicas.

O ambiente na arte sonora

Os temas ambientais têm sido centrais na arte sonora desde a sua génese. De facto, dada a relação íntima entre as suas práticas e o espaço, é apenas natural que o ambiente se torne uma das suas principais preocupações. Contudo, a forma como este surge dentro da arte sonora é diversificada e nem sempre reporta a noções ou ações explicitamente ecológicas.

² Nota de tradução: «sound work», na versão em inglês.

Licht (2009) sugere que o emergir da arte sonora a partir das décadas 1960-1970 resulta do encontro entre o som separado da sua fonte, a capacidade técnica para o espacializar num novo contexto³ e o surgimento de práticas artísticas que exploram a especificidade do local como modo de questionar a realidade e a própria arte. Para tal, muito contribuiu a relação especial que alguns artistas e músicos tinham com a «land art»⁴. Esta corrente artística surge par-a-par com o movimento ecologista da altura e explorava materiais telúricos e a paisagem de modo a criar obras e ambientes que refletiam sobre a natureza e sobre o lugar da arte no mundo. Muitos dos seus autores procuravam enfatizar um distanciamento em relação aos espaços típicos da comercialização da arte, como a galeria. Um dos exemplos mais célebres deste movimento artístico é *Spiral Jetty* [1970] de Robert Smithson, que consiste numa língua de terra em espiral que se projeta da costa para a água, no lago Great Salt Lake no estado norte-americano do Utah.

Por volta desta altura, as instalações artísticas começam também a ser formas de ocasionar ambientes sonoros, que rapidamente se tornaram numa prática comum, ou como indica Licht (2009), “uma forma de trabalhar com o som do ambiente e como ambiente”. Tais ambientes podiam ser criados lançando sons num espaço provenientes de outro, como nos casos *City Links* [1967-1980] de Marion Amacher ou *Kirribilli Wharf* [1976] de Bill Fontana, que parecem inspirar-se em experiências de «land-art» com translocação de solos, como exemplificado por outras peças de Robert Smithson; em composições contínuas que criavam uma massa densa de tons numa sala, como a instalação *Dream House* [1962] do compositor minimalista La Monte Young; em composições que experimentavam com o movimento do som no espaço, como *Sound Cube* de Bernhard Leitner [conceptualizado em 1968, realizado em 1980]; ou, ainda, a exploração da arquitetura, das propriedades acústicas e dos sons inusitados de um lugar como modo de abrir a consciência aural, exemplificado por trabalhos de Michael Bruester como *See Hear Now* ou *allAROUNDYOU*, em que o artista cria ondas estacionárias numa sala com recurso a diferentes frequências sonoras. Estas últimas podiam ser sentidas com diferentes graus de intensidade em função da localização do ouvinte nesse espaço (LaBelle, 2015, p. 169).

Com estas práticas de ambientes sonoros, o corpo do ouvinte já não está limitado ao lugar de um espectador fixo e é convidado a mover-se pelo espaço, tornando-se num

³ Com o advento da rádio, do cinema e da fonografia torna-se possível deslocar o som da sua origem e transformá-lo significativamente até esse perder o seu referencial original — como acontece com a «musique concrète» de Pierre Schaeffer. A partir de meio do século obras como «Poème électronique» de Edgar Varèse e «Concrete PH» de Iannis Xenakis exploram as potencialidades compositivas de sistemas de áudio para distribuir a música no espaço (Licht 2009).

⁴ Por exemplo, Walter de Maria, conhecido artista de «land-art», era amigo do compositor La Monte Young e muitas das suas peças eram apresentadas lado a lado ou influenciavam-se mutuamente, como por exemplo «Beach Crawl» ou «Art Yard» (Licht 2009).

cocriador mais ativo da peça sonora que está a escutar. Isto é explicitamente afirmado por Max Neuhaus quando reflete sobre a sua obra *Drive in Music* [1967-68]. Nesta instalação, o artista colocou sete transmissores de rádio ao longo de uma estrada, cada um emitindo um som específico. O público podia então escutar a instalação ao sintonizar o rádio do carro com a frequência dos transmissores enquanto se deslocava nessa estrada. Como descreve Neuhaus:

"Dependendo da direção em que o condutor entrou na peça, a que distância se encontrava do lado esquerdo ou direito da estrada, a que velocidade se movia através dela, e quais eram as condições meteorológicas, o trabalho era diferente. Montava-o por si próprio enquanto passava por ele e apenas para si próprio". (LaBelle, 2015, p.155, Tradução do original)⁵

Para LaBelle, tais obras manifestam uma apropriação do espaço e da arquitetura "deixando para trás o objeto ou o espaço singular em favor de um potencial ambiental alargado" que é necessariamente social — no caso de «Drive in Music» as ações do público determinam parcialmente aquilo que escuta (LaBelle, 2015, p. XVI e p.155).

Ecologia acústica

Paralelamente aos desenvolvimentos acima descritos, os investigadores da Universidade Simon Frasier em Toronto, Canadá, liderados pelo compositor R. Murray Schafer, começaram a esboçar as primeiras práticas e conceitos do que viria a ser chamado de "ecologia acústica". A ecologia acústica é uma área interdisciplinar de estudos que se foca na relação de humanos e não-humanos com o seu ambiente através do som. O texto seminal de Murray Schafer, "The Soundscape: Our Sonic Environment and the Tuning of the World" (Schafer, 1994), contribuiu para definir vários termos utilizados hoje em dia, como paisagem sonora, marco sonoro e «ear-cleaning»⁶. Além disso, procura promover o ideal Cageiano de ouvir todos os sons como música, mas desta vez com um programa político e ecológico de nos tornarmos mais conscientes das relações, interações e problemas que podem estar patentes num ambiente (Wrightson, 2000).

Tradicionalmente, a ecologia acústica aborda problemas como a poluição sonora, as paisagens sonoras urbanas e rurais, e o arquivo de sons icónicos humanos e não-humanos

⁵ Max Neuhaus, 1994. *Max Neuhaus, inscription, sound works, Vol 1*, p. 64. In LaBelle, Brandon. *Background Noise, Second Edition: Perspectives on Sound Art*. Bloomsbury Publishing USA, 2015. p. 155

⁶ Ear cleaning (limpeza de ouvido) é definido por R. Murray Schafer (1994) como "um programa sistematizado para treinar os ouvidos a escutarem sons mais discriminadamente, especialmente aqueles que pertencem ao ambiente." O livro "Ear Cleaning: Notes for an Experimental Music Course" (Schafer, 1969) compila alguns dos exercícios que podem ser praticados.

de um local. Neste sentido, no passado, tendeu a adotar uma abordagem normativa face à criação de ambientes sonoros prístinos ou de “alta-fidelidade” (Schafer, 1994, p. 43-44) onde o ruído das atividades humanas industriais seria substituído por um ideal de silêncio pastoral. Uma vez que a ecologia acústica tradicional assume este juízo de valor sobre o que constitui uma boa paisagem sonora, com base numa dicotomia de separação entre natureza e cultura e num ideal de pastoralidade nórdica, tem sido alvo de várias críticas (Akiyama, 2015; Helmreich, 2010; Ingold, 2007; Kelman, 2010; Robinson, 2020; Sterne, 2003; Toop, 2006). Hoje, no entanto, tanto os seus fundadores como uma nova geração de ecologistas acústicos estão a repensar e a lidar conscientemente com o legado mais problemático desta disciplina (Droumeva & Jordan, 2019).

Alunos e colaboradores de Murray Schafer, como Barry Truax e Hildegard Westerkamp, foram também pioneiros na composição de paisagens sonoras e no estabelecimento da prática de passeios sonoros. A composição de paisagens sonoras é um modo de composição eletroacústica, semelhante à «*musique concrète*», uma vez que consiste na montagem de materiais sonoros ambientais. Ao contrário da «*musique concrète*» o processamento das gravações é limitado, pelo que os sons mantêm um certo nível de reconhecimento relativamente à sua origem e contexto. Segundo Barry Truax (Truax, 2020), procuram “evocar a experiência, associações, memórias e a imaginação do ouvinte relacionadas com a paisagem sonora”.

Os passeios sonoros, por seu lado, são um género de passeio sensorial em que a atenção se centra nos sons e na escuta dos espaços e caminhos percorridos, de forma a estudar ou desenvolver a relação entre os que passeiam e o ambiente sónico circundante (MacCartney, 2014). Podem ter atitudes simultaneamente criativas, de investigação, estéticas, políticas, didáticas e ecológicas. Apesar da longa história do passeio ou caminhada como estrutura e inspiração para a prática artística e política, o termo foi formalizado e popularizado por Westerkamp (1974), enquanto membro do *World Soundscape Project* na década de 1970. Desde então, a prática tem crescido e evoluído para incluir outras formas que, como abordarei mais adiante nesta dissertação, nem sempre se relacionam com aquilo que é diretamente audível.

Arte sonora ecológica

O trabalho de Murray Schafer e dos seus colegas inaugura uma preocupação mais ativa com os problemas ambientais do nosso tempo na arte sónica. Inicialmente, concentraram-se apenas na poluição sonora, mas rapidamente se expandiram para outros domínios da ecologia e para outras práticas que não a caminhada e a composição de paisagens sonoras.

Para Jonathan Gilmurray (2018, p. 41), é necessário diferenciar entre arte sonora ambiental, “em que o ambiente serve como local, sujeito ou matéria-prima para o trabalho sónico” — e.g. *Kiribilli Warf* —, e arte sonora ecológica, que também é arte sonora ambiental, mas com maior grau de envolvimento com os problemas ecológicos. Gilmurray oferece a seguinte definição alargada: “A arte sonora ecológica é um movimento ecológico moderno dentro da arte sonora, que inclui trabalhos cuja forma, conteúdo e assunto demonstram um envolvimento ativo com problemas ecológicos contemporâneos”. Tais obras “tendem a refletir as preocupações ecológicas do próprio artista e exibem um ecocentrismo na sua conceção e realização” que se manifesta em características em comum como: o uso da escuta como via para uma maior compreensão ecológica; a promoção de um modo de escuta ecológico, ou seja do particular para o holístico, para o processual e para as relações e interações numa obra ou espaço; a priorização da escuta sobre o soar; o uso do soar como metáfora para coexistência ecológica; uma forma que funciona como ecossistema; uma mistura de arte com ciência e ecologia com ambientalismo; e, finalmente, uma combinação do educativo com o filosófico (Gilmurray, 2018, pp. 172–173).

Mais especificamente, através de diferentes modalidades de trabalho sonoro esta subárea da arte sonora pode abordar, entre outros⁷, tópicos como as alterações climáticas, e.g. *Vatnajökull (the sound of)* [2007] de Katie Paterson, ou *Glacial Soundscape* de Max Eastley [2005]; a extinção de espécies e danos ecológicos, e.g. *The Sound of Light in Trees* [2006] de David Dunn e *Silencing the Reefs de Jana Winderen* [2011-2014]; casos de poluição e sítios contaminados, como *Sounds from Dangerous Places* [2006-2012] de Peter Cusack, ou sonificações de poluição do ar e da água como aquelas que discuto na secção 1.1.3; e impactos de grandes infraestruturas, e.g. *The Dam(n)* de Leah Barclay.

Os instrumentos que desenvolvi para este projeto de mestrado inserem-se na categoria de arte sonora ecológica, pois tratam questões de poluição ambiental, combinam a ciência ambiental com o ativismo do DIY, a pedagogia e a reflexão sobre as atmosferas.

O problema da poluição do ar

A minha vontade de utilizar dados e métodos científicos advém destes serem uma forma importante para conhecer problemas que estão na base de efeitos catastróficos sobre várias sociedades e sistemas vivos. A tendência, num futuro próximo, é para que tais impactos se alarguem a cada vez mais geografias, e para lá de um ponto de não retorno (Steffen et al., 2015). Esta crise ecológica, hoje denominada de “Antropocénico” — ou a “era do humano” —

⁷ Ver Gilmurray (2018) para uma lista extensa de obras, seus resumos e análise crítica.

suscita uma ansiedade secular sobre como enfrentar um problema cujas escalas geográfica e temporal desafiam a percepção humana (Morton, 2013).

O imbróglio que vivemos resulta de modos de explorar a Terra e as pessoas, da inércia dos sistemas sócio-tecno-económicos que regulam as sociedades humanas, e também duma incapacidade — evidente em países mais abastados — de sentir mais intensivamente os impactos da transformação planetária. Adicionalmente, alguns problemas de poluição e perdas de biodiversidade têm-se normalizado na nossa experiência quotidiana, tornando-se, assim, menos perceptíveis enquanto continuam ativos, e como diz o crítico literário Rob Nixon (Nixon, 2011), atuando como uma “violência lenta” que consome corpos e vidas.

A poluição do ar é um exemplo disto mesmo. Apesar de ser um problema antigo e bem conhecido, acelerado pela revolução industrial e pela expansão dos transportes no século XX, estudos recentes têm revelado que os seus impactos sobre os organismos e ecossistemas são ainda mais abrangentes do que se pensava anteriormente. No caso da Europa Ocidental, mesmo tendo níveis baixos em comparação com outras regiões do mundo, este tipo de poluição continua a ter efeitos significativos sobre a saúde pública e ambiental (Lelieveld et al., 2019). O relatório de 2020 da Agência Europeia do Ambiente sobre estado da qualidade do ar aponta para, aproximadamente, meio milhão de mortes prematuras na Europa⁸ em 2018 por exposição aos três principais poluentes: matéria particulada com diâmetro abaixo dos 2,5 micrómetros, ou PM_{2,5}⁹ — 417 mil mortos—, dióxido de azoto, — 55 mil mortos—, e ozono troposférico — 20,6 mil mortos (European Environmental Agency, 2020). Em Portugal, estima-se que tenham morrido no total seis mil pessoas, um valor que revela um aumento de 3.6% relativamente a 2016. Outros estudos sugerem que a poluição do ar, apenas por PM_{2,5}, causa mais de 8,5 milhões de mortes precoces anuais em todo o mundo relacionadas com problemas cardiovasculares — o dobro do que tinha sido previamente estimado (Burnett et al., 2018; Lelieveld et al., 2019; Vohra et al., 2021).

Não surpreende que assim seja, uma vez que um humano inala cerca de 10 mil litros de ar por dia, e 99% da população mundial vive em ambientes com poluição do ar superior aos limites aconselhados pela Organização Mundial de Saúde (2022). O consenso científico é que a poluição do ar aumenta a mortalidade e morbilidade por doenças respiratórias, doenças cardiovasculares e cancro, reduzindo a esperança média de vida (Boogaard et al.,

⁸ Europa a 41 países.

⁹ Geralmente abreviada como PM_{2,5}. As PM_{2,5} são partículas microscópicas com menos 2,5 micrómetros em diâmetro, ou seja, cerca de 30 vezes inferiores ao diâmetro de um cabelo humano, capazes de passar facilmente a barreira dos alvéolos pulmonares para o sangue. Muitas destas partículas causam problemas não apenas por si só, mas também, porque tendem a transportar outras substâncias mais tóxicas como metais pesados.

2019). Novos estudos têm revelado o seu impacto no desenvolvimento de doenças como Alzheimer, Parkinson (Calderón-Garcidueñas et al., 2020; Carey et al., 2018; Maher et al., 2016), e diabetes do tipo 2 (Rao et al., 2015).

Destacam-se ainda ligações a problemas de fertilidade humana e animal (Carré et al., 2017; Li et al., 2021), de sucesso da gravidez e viabilidade de recém-nascidos (Stieb et al., 2012), tal como no desenvolvimentos psicomotor e cognitivo (Schraufnagel et al., 2019). Muitos destes problemas são causados por exposição crónica aos poluentes, que podem afetar todos os órgãos do corpo, graças à sua toxicidade ou, principalmente, através de processos sistemáticos de inflamação (Schraufnagel et al., 2019).

Além dos problemas na saúde humana, há que registar os impactes nos ecossistemas. Vários poluentes são gases de efeito de estufa, pelo que a sua emissão também agrava o problema das alterações climáticas. À semelhança do que acontece em humanos, são tóxicos para organismos não-humanos, pelo que no conjunto, a poluição do ar potencia a perda de biodiversidade (European Environmental Agency, 2020). Por fim, todos estes poluentes têm a capacidade de danificar materiais, edifícios e obras de arte, representando uma séria ameaça à preservação do património construído, histórico e artístico (Brimblecombe, 2003).

Para a ciência ambiental, as prioridades para combater e conhecer este problema estão em recolher dados, criar redes de monitorização mais sofisticadas, métodos de deteção e em realizar estudos epidemiológicos. Não obstante, torna-se cada vez mais claro para cientistas, organizações e ativistas que existe uma necessidade crescente em criar formas de consciencializar e envolver o interesse das populações com o problema. Trata-se de uma questão política, principalmente pela forma como se organiza a mobilidade nas cidades, mas a sua solução também se relaciona com mudanças de comportamento e a própria vontade pública para pressionar os decisores (European Environmental Agency, 2020, p. 9).

Assim, a questão não se resume apenas à procura soluções tecnocientíficas, mas também de como se podem criar situações para o reforço da consciência e mobilização de públicos. Ou como nos indica Bruno Latour, na citação apresentada no início desta dissertação, “temos os problemas, mas não temos os públicos” — no máximo, os públicos ativos têm ainda uma expressão reduzida.

Neste contexto, exigem-se novas formas de comunicação e representação dos problemas. Davis e Turpin (2015, pp. 3–4) defendem que a arte, como veículo estético, terá necessariamente de ser central na reflexão e na perceção do Antropocénico. Isto porque é essencialmente um fenómeno sensorial — “sentimos no corpo e nas nossas vidas as implicações de viver num mundo cada vez mais tóxico e degradado” — que tende a ser comunicado através da visualização de dados, modelos climáticos, imagens de satélite, entre

outros. Com efeito, os meios visuais parecem dominar tanto na interpretação de dados e fenómenos científicos, como no domínio das opções artísticas.

Sonificação

A sonificação apresenta-se neste cenário como um método sónico diferente e inovador. Esta permite uma ligação direta entre a informação científica e a produção de som na criação de obras e situações que dão uma nova expressividade a fenómenos ambientais como a poluição do ar.

As práticas de sonificação podem ser descritas como um subconjunto da “exibição auditiva”¹⁰ (Walker & Nees, 2011). O termo refere-se a sistemas de interação humano-máquina que permitem a comunicação entre a fonte de informação — por exemplo um fenómeno detetado por sensores — e o recetor através do som. Tais sistemas incluem o equipamento áudio, computacional e modos de interação (Hermann et al., 2011). Na sua definição canónica, a sonificação é apresentada como: “o uso de áudio não-falante para veicular informação. Mais especificamente, (...) é a transformação de relações de dados em relações percebidas mediante um sinal acústico, tendo em conta o propósito de facilitar comunicação e interpretação” (Hermann, 2008; Kramer et al., 1999). Assim, torna-se evidente a interdependência entre os dados, a geração de sons, e as faculdades preceptivas do sistema auditivo (Walker & Nees, 2011).

A especificidade do sistema auditivo torna a sonificação num método especialmente adequado para compreender detalhes de informação que nem sempre é possível de apreender através da visão. O reconhecimento de padrões temporais, a execução de tarefas multimodais, a acessibilidade para pessoas invisuais ou a rápida identificação de problemas, especialmente em ambientes de elevado stress, são algumas das mais-valias destacadas para a sonificação neste domínio (Walker & Nees, 2011). Por exemplo, no que toca à realização de tarefas multimodais, a informação sonora é especialmente relevante em situações nas quais a visão está ocupada ou é ineficaz, como, por exemplo, no estacionamento de automóveis, em que os impulsos sonoros ajudam através da sonorização da distância a objetos circundantes que o condutor não consegue ver.

As exibições auditivas podem ser classificadas segundo a técnica utilizada (Walker & Nees, 2011): a) mapeamento de parâmetros¹¹, e b) baseada em modelos¹² e c) audificação.

¹⁰ Nota de tradução: do inglês «auditory display».

¹¹ Nota de tradução: «parameter mapping» em inglês.

¹² Nota de tradução: «model-based» em inglês.

No primeiro caso, uma dimensão dos dados pode ser correspondida a uma ou mais dimensões do som. Assim, uma mudança nos dados manifesta-se em mudanças sonoras. Por exemplo, os aumentos de temperatura registados por um termómetro podem ser mapeados a aumentos de frequência sonora, resultando numa sonificação em que quanto maior é a temperatura, mais agudo é o som. Esta é a técnica mais frequente na exploração e apresentação de informação proveniente de sensores ou bases de dados. Por ser, também, a técnica utilizada nos trabalhos práticos deste projeto de Mestrado, farei uma descrição mais detalhada do seu funcionamento no Capítulo 2.

As sonificações baseadas em modelos são complexas, utilizando grande quantidade de dados e múltiplas variáveis interdependentes para produzir as respostas sónicas de um modelo virtual criado para o efeito. O modelo virtual é um modelo matemático de um objeto ou instrumento que, na forma mais simples, inclui um ressonador —e.g. a pele e corpo de um tambor — e um excitador — e.g. o batente. Estas sonificações são fortemente interativas, uma vez que a perceção da estrutura do modelo virtual é adquirida quando o utilizador interage com ele, ou seja, quando excita o ressonador e esse emite um timbre específico.

A audificação é, talvez, o tipo de sonificação com recursos a meios eletrónicos mais antiga e prototípica. Esta envolve uma relação direta entre os dados recolhidos e o som emitido. Geralmente, esses dados são já por si ondas periódicas que facilmente sofrem transdução para ondas sonoras; a audificação de ondas sísmicas¹³ ou dos sons hipersónicos de morcegos são exemplos clássicos neste domínio¹⁴. Por outro lado, é possível “audificar” fenómenos não vibratórios quando temos uma grande quantidade de dados. Nestes casos é realizado um redimensionamento dos dados para uma gama entre -1 e 1, i.e., os respetivos máximos e mínimos de amplitude de uma onda sonora digital, sendo o resultado escutado através do seu processamento num programa de informática musical. Este processo revela como as fronteiras entre as diferentes técnicas se podem esbater, uma vez que é equivalente a um mapeamento de parâmetros em que a amplitude digital é o parâmetro sonoro que depende dos dados.

¹³ Note-se o exemplo da audificação de um sismo com duração de vários dias em apenas alguns minutos, como é o caso do tremor de 2011 em Tohoku no Japão, acessível no seguinte link: <https://www.youtube.com/watch?v=3PJxUPvz9Oo&t=>.

¹⁴ Em ambos os casos, é necessário captar um fenómeno vibratório que se encontra fora da gama de audição humana com microfones e gravadores próprios para o efeito, e escutar o resultado a uma velocidade de reprodução várias vezes superior — no primeiro caso — ou inferior — no segundo — às frequências presentes no som original. Por outro lado, é possível “audificar” fenómenos não vibratórios quando temos uma grande quantidade de dados. Nestes casos é realizado um redimensionamento dos dados para uma gama entre -1 e 1, i.e., os respetivos máximos e mínimos de amplitude de uma onda sonora digital, sendo o resultado escutado através do seu processamento num programa de informática musical.

As sonificações podem igualmente ser classificadas de acordo com o seu propósito, independentemente da técnica utilizada: a) alarmes, alertas e avisos informam sucintamente o ouvinte que algo aconteceu — por exemplo o micro-ondas terminou o aquecimento, ou há fogo; b) indicadores de progresso ou de estado permitem-nos acompanhar a evolução de um sistema através do seu estado sonoro — e.g., quando se monitorizam processos fabris ou sinais vitais em ambiente hospitalar; c) funções dedicadas à exploração de dados, que em vez de reduzir a informação, procuram transmitir a sua complexidade de forma holística, de forma a revelar padrões e eventos no conjunto; d) e, ainda, funções de entretenimento, desportivas e de lazer, onde se enquadram jogos puramente auditivos ou interfaces para o usufruto dessas atividades por parte de pessoas invisuais (Walker & Nees, 2011).

Sonificação na arte

As técnicas de sonificação têm sido, desde o início, mobilizadas para criar obras de arte que usam os dados como base estrutural para composições musicais, novos instrumentos e instalações sonoras. Frequentemente, o lado estético toma a dianteira e a veiculação de informação inerente aos dados sonificados, apesar de relevante, não é o objetivo principal. Muitas práticas que recorrem à sonificação regem-se por critérios criativos e estéticos, que se estendem para além de finalidades analíticas. Para uma fração significativa de praticantes, isto origina conflitos e incertezas que enfraquecem o éthos científico da prática (Hermann, 2008; Neuhoff, 2019).

De facto, a sonificação encontra-se num espaço liminar de tensão entre ciência e arte. Note-se que a sonificação para a análise de dados é maioritariamente encarada como pouco científica pelas restantes comunidades académicas das ciências naturais (Supper, 2012, 2014). O fraco reconhecimento da sua validade científica é resultado, não só de uma noção de objetividade alicerçada numa longa tradição de produção de instrumentos visuais (Daston & Galison, 2010), onde o som e a escuta têm um estatuto diminuído (Bijsterveld, 2019), como da sua intimidade com o mundo da arte (Neuhoff, 2019; Supper, 2012, 2014). Neste contexto, tende a ser encarada ora como curiosidade, ora como entretenimento, pelo que não é surpreendente que, no campo científico, a sonificação seja principalmente utilizada para propósitos de divulgação e popularização de ciência (Supper 2014). É o caso de duas iniciativas da NASA, o *Spooky Sounds from Across the Solar System* e o *Universe of Sound* (NASA, sem data, 2018).

O ato de mapear inclui uma componente de design, significando que os sons escutados são arbitrariamente decididos e construídos por autores com conhecimentos para trabalhar o som enquanto matéria plástica. O design envolve, também, preocupações com a

estética das sonificações, isto é, com a forma, a percepção e a experiência sensorial do trabalho. Todavia, estas questões sobre estética na sonificação extravasam o domínio da engenharia e da ciência, dando azo a discussões sobre o papel de artistas e músicos no seu desenvolvimento.

Enquanto alguns autores defendem uma separação clara entre o lado artístico e o lado científico na sonificação, de forma a conferir-lhe uma maior credibilidade científica (Hermann, 2008; Neuhoff, 2019), outros relembram que esta é sempre um processo simultaneamente interpretativo e estético (Barrass & Vickers, 2011; Sterne & Akiyama, 2012). Barrass e Vickers (2011), dois investigadores influentes na comunidade de sonificação, consideram que as propostas para situar a sonificação puramente no domínio da ciência e da engenharia são erróneas, uma vez que os contributos da sonificação para esses domínios não têm sido nem particularmente relevantes nem, na sua opinião, particularmente agradáveis de se ouvir. Afirmam que relegar a sonificação apenas para o domínio das ciências e das engenharias é dar continuidade a um paradigma de “duas culturas”, que impõe uma fronteira rígida entre artes e ciências, negligenciando a interdisciplinaridade necessária ao desenvolvimento de sonificações eficazes. Para estes autores, os praticantes de arte sonora possuem os conhecimentos e competências para criar experiências emocionais e intelectuais que podem contribuir para que as sonificações sejam mais afetivas e persuasivas, defendendo que a sua participação ativa na comunidade é fulcral.

Faz parte dos objetivos desta dissertação discutir como e porquê os artistas recorrem a esta técnica e quais os seus contributos artísticos e científicos, especialmente num contexto de representação dos problemas ambientais. Por agora, bastará dizer que das mais convencionais melodias às paisagens sonoras abstratas e experimentais, os dados e o som encontram-se numa nova plasticidade que implica uma importante mudança na forma como podemos sentir o nosso mundo. No contexto do Antropocénico, a sonificação permite aos artistas sonoros, e não só, explorar formas possíveis de expressar as várias dimensões deste problema, estimulando, ao mesmo tempo, o interesse e envolvimento do público.

Perspetivas criativas sobre instrumentos e sensores

Ao trabalhar com as potencialidades da sonificação, estou também a explorar como esta pode servir de técnica para a criação de instrumentos à base de sensores de poluição. Isto reflete o contexto artístico e tecnológico atual, em que compositores e intérpretes desenvolvem os seus próprios instrumentos e sistemas musicais com recurso a meios e técnicas que possibilitam uma vasta gama de fontes de controlo, ações e modificações. É possível configurar os instrumentos em função de cada novo contexto musical, como a

composição, a banda ou grupo, a instalação interativa ou o trabalho com base em software (Tanaka, 2011).

No centro destas atividades criativas estão os «Digital Music Instruments»¹⁵, ou DMI. O seu desenvolvimento tem sido levado a cabo tanto em ambientes académicos — e.g. nas áreas de interfaces humano-computador e informática musical —, como em empresas comerciais e, mesmo, em atividades coletivas ou pessoais ligados ao “Do It Yourself” — DIY. Alguns dos avanços que os tornam particularmente distintos dos instrumentos convencionais têm ocorrido no seio da comunidade interdisciplinar de investigadores, músicos e compositores que se congrega em volta da conferência *New Interfaces for Musical Expression*, ou NIME como é vulgarmente conhecida. Estes investigadores dedicam-se a criar instrumentos, por vezes altamente idiossincráticos, e a teorizar sobre o papel das tecnologias de ponta ou mais antigas no desenvolvimento de novas modalidades de interface musical. Assim, o termo NIME é também utilizado para designar instrumentos digitais, analógicos ou híbridos.

Os DMI podem ser definidos como instrumentos musicais em que o gerador de som é “separável, mas não necessariamente separado — da sua interface de controlo” (Malloch et al., 2006). A relação entre ambos é mantida através de mapeamentos, i.e., correspondências entre dados de controlo e características dos sons emitidos, que são realizados mediante computação.

Estes mapeamentos podem ser governados por uma diversidade de princípios. Por exemplo, Tahiroğlu et al. (2020) salientam que o conceito, a composição e a expressão musical são profundamente afetados pela precisão e qualidade do controlo algorítmico que a computação torna possível. Outros autores questionam a necessidade de um controlo absoluto e preciso sobre o instrumento, argumentando que isso produz resultados lineares e previsíveis. Preferem dar ênfase a resistências e imprevistos, encarando a criação como um processo de desafio, em que a expressão idiossincrática se liga à descoberta (Magnusson, 2019, pp. 10–12; Sá, 2017).

O modo como os dados fornecidos por sensores se substanciam em expressão musical depende não apenas das composições, dos sons emitidos e dos gestos, mas também da própria configuração técnica do instrumento. Isto origina questões sobre a concrecência das diversas componentes, bem como sobre a natureza e flexibilidade do instrumento (Tanaka, 2011): onde se situam as fronteiras do que é o instrumento — são os sensores, o software, o motor de síntese, etc.? O que diferencia o instrumento da composição e o músico do construtor de instrumentos e do compositor? Em que medida é que o instrumento, incluindo

¹⁵ Nota de tradução: Instrumentos Musicais Digitais

sensores e algoritmo da composição, pode ser recontextualizado e adaptado a uma diversidade de obras e performances?

O meu próprio trabalho prático aborda estas perguntas, tendo em consideração como sensores de qualidade do ar podem ser usados na criação de diferentes interfaces entre a atmosfera e a máquina, entre a poluição e o som.

Além disso, há que ter em atenção um aspeto em particular: realizar experiências artísticas que envolvem a criação de instrumentos para sondar a atmosfera e determinar a sua qualidade é também agir ao nível da consciencialização ecológica e ciência cidadã. Surgem, por isso, questões sobre se a construção e utilização destes instrumentos interferem a objetividade científica da recolha e apresentação de dados. Relacionado com este aspeto, estão questões sobre quais as modalidades válidas no reporte de informação ambiental e na mobilização e subjetivação ecológica dos públicos.

Todas estas experiências refletem uma necessidade de pensar a construção de instrumentos sonoros que fazem interface com o ambiente de forma integrada. Tal integração deve procurar uma síntese que engloba as inter-relações entre as motivações pessoais e coletivas por detrás da construção do instrumento, da sua expressão, instrumentalidade, e os impactos socioculturais e políticos que daí podem advir.

Atmosferas

Iniciei este capítulo de introdução com uma citação de Edgard Varèse que sublinha a importância fundamental do mundo físico na música. Com efeito, a música não é apenas uma conceção mental ou abstrata, uma vez que assume uma forma material (Roads, 2015, p. 64). É curioso que Varèse não fale explicitamente sobre as qualidades mecânicas do meio de propagação, e sim sobre a necessidade de se agir sobre a atmosfera. O meio tem de ser perturbado, para que o seu estado possua mais estímulos mecânicos periódicos. A questão que agora quero colocar é de ordem inversa: Como é que a atmosfera pode perturbar a música?

A música não é apenas feita de som. Para escutar algo como música é preciso uma intencionalidade. Uma intencionalidade não só no agitar do meio, mas também na forma de escuta. John Cage adotou o acaso como estratégia composicional, procurando desfazer a noção do músico em controlo e perspetivando a questão de autoria. Com a peça 4'33" também emancipou a música do gesto de tocar e abriu o concerto a todos os sons da sua envolvência. O que nos pede com estas ações é, também, uma intencionalidade de escutar; uma hermenêutica que reenquadra os sons do mundano como música.

Continuando com a fisicalidade do meio, não é com os princípios físicos do som ou com a acústica — sempre influenciada pela temperatura e pressão barométrica num espaço — que me estou a preocupar. Interessa-me, sim, a conjunção entre a materialidade da atmosfera — as suas substâncias e fenómenos físicos — e os seus efeitos intangíveis, i.e., o tipo de emoções que essa materialidade evoca num artista, e que esse tenta expressar numa peça sonora.

O presente trabalho consiste em escrutinar o ar como fonte de substâncias, fenómenos e eventos, assumindo-os como agentes na criação e mobilização de uma prática artística sonora. Adotar a atmosfera como fonte de controlo de instalações e instrumentos sonoros envolve o desafio criativo de exprimir algo físico que nem sempre é perceptível. Isso passa pelo reforço metonímico com uma segunda atmosfera, que reside nas vibrações mecânicas do meio, nos movimentos produzidos pelas sonificações, numa poética para a consciência expandida do atmosférico.

A atmosfera como efeito intangível tem sido trabalhada por vários autores em diversos campos como a filosofia, estética, antropologia, teoria de arte e geografia (Anderson, 2009, 2014a; Böhme, 2016b; Edensor & Sumartojo, 2015; Engelmann, 2020; McCormack, 2018; Thibaud, 2018).

Na música a relação é bilateral. Uma atmosfera pode inspirar um humor e consequentemente uma composição — e.g., terceiro movimento das *Estampes* de Debussy, *Jardins sous la pluie* [1903]. Por outro lado, o autor pode criar a sua própria atmosfera ou, como é vulgarmente referido, uma ambiência. Nesse caso, a intenção pode ser tanto para reforço emocional da atmosfera existente como para a criação de novas situações — e.g. *Dream House* de LaMonte Young.

Através das atmosferas os corpos estão mergulhados nas condições (Anderson, 2009, 2014b) que propiciam encontros entre entidades e cujas particularidades afetivas tornam esse espaço-tempo distinto e intensivo na experiência sensível. São, como indica Gernot Böhme (2016b, p. 19), manifestações de “copresença entre sujeitos e objetos”. São fundamentais na nossa experiência de viver, transformando-se e ganhando realidade através de um processo de atenção e sintonização do corpo com a sua envolvência (Anderson, 2014a). O antropólogo Tim Ingold (2015, pp. 69–72) prefere enfatizar a relação entre o meteorológico e o afetivo, nomeando estas condições elementares como “mundos do tempo”, aos quais estamos expostos e com os quais estamos em permanente troca material e emocional.

O exprimir do meteorológico através de instrumentos que depois nos afetam esteticamente não é uma novidade. Por exemplo, instrumentos eólicos têm ao longo dos séculos avisado populações e indivíduos sobre mudanças temporais enquanto são

experenciados como agentes da sublimidade da natureza. O vento tem sido um ator excecional nesta longa história, excitando cordas de harpas, espanta-espíritos, fios de telégrafos ou tubos ressonadores instalados no alto de montes.

Não obstante, a atmosfera continua a seduzir pois surgem hoje novas formas de a manifestar. Com as tecnologias digitais e de sensores expandem-se o número de fenómenos que se pode detetar e a imaginação de formas pelas quais podem ser expressos técnica e esteticamente. A medição da informação ambiental e a produção de som em dispositivos separados, conjuntamente com a computação musical, possibilita uma variedade rica e estimulante de modos e interfaces para expressar o atmosférico.

Perguntas de Investigação e Contribuições

A presente investigação é motivada por uma questão principal: como é que o fenómeno de poluição do ar pode informar a criação de instrumentos sonoros que o exprimem? Esta questão envolve outras, mais específicas: Como os sensores de qualidade do ar, atraem a construção de assemblages sónicas, que, ensaiam encontros instrumentais com o atmosférico através da técnica de sonificação? Como é que a técnica de sonificação se substancia numa relação entre instrumento e atmosfera? Como articular motivações estéticas, científicas e políticas?

Estas questões são aqui exploradas com diferentes abordagens técnicas de produção de som — e.g. som sintetizado digitalmente ou excitação de instrumentos eletroacústicos. As minhas diferentes estratégias composicionais interrogam o modo como a atmosfera ganha forma e condiciona a experiência sensível e consciente. Nomeadamente, como é que o jogo de autorreferenciação entre a atmosfera meteórica e a sonora, que é produzida a partir de dados da primeira, se pode tornar um meio de experimentação artística e ativista.

Efetivamente, como mencionei anteriormente, inverte a questão de Edgard Varèse e pergunto como a atmosfera, através dos seus constituintes químicos, pode perturbar a música. Concomitantemente, com Bruno Latour, pergunto como podemos criar situações para propiciar um maior envolvimento dos públicos com os problemas ambientais. Nesta altura de urgência ecológica, as tecnologias de produção de som e as artes sonoras podem, através de explorações semelhantes às que aqui apresento, contribuir para as práticas de educação e consciencialização pública.

Na prática, utilizo os sensores e dados de poluição do ar de duas formas. Numa primeira etapa, utilizo-os como fontes de controlo em composições sonoras sintetizadas por computador. Contrariamente a muitas práticas de sonificação do ambiente, que estabelecem

correspondências diretas e unívocas entre dados e parâmetros sonoros, é minha intenção explorar, também, como se pode alterar toda a macroestrutura da composição em função duma dada condição ambiental. Tal implica pensar como diferentes níveis quantitativos dos dados podem suscitar diferentes eventos e transformações dos materiais sonoros. Adicionalmente, sirvo-me de princípios de composição generativa — e.g. aleatoriedade limitada e desfasamento — de forma a reduzir a repetição e a fadiga auditiva, sem sacrificar o seu significado da sonificação.

Numa segunda etapa, utilizo os sensores como controladores de esculturas cinéticas produtoras de som. Aqui, o seu emparelhamento com microcontroladores é usado para comandar motores e sustentadores eletrónicos, que estimulam guitarras elétricas. Neste ponto, colocam-se as mesmas questões sobre composição e seleção de materiais sonoros. Todavia, o processo é diferente pois implica trabalhar com a materialidade dos instrumentos e a suas potencialidades sonoras. Tal abordagem é relevante por descentralizar o som sintetizado como o modo dominante de sonificar dados e por providenciar diferentes encontros técnicos e estéticos.

Este trabalho é fortemente interdisciplinar, tendo por isso impacto sobre diferentes campos, como a exibição auditiva, arte sonora, interfaces de expressão musical e estudos de som. No campo da exibição auditiva, a investigação teórico-prática contribui para o corpo de trabalhos que estuda o uso da sonificação artística na apresentação de dados ambientais e na sensibilização e consciencialização de públicos. No segundo caso, procuro fornecer uma reflexão sobre a construção de interfaces de expressão musical à base de sensores atmosféricos, contribuindo para os estudos que se têm focado sobre expressão e interação humano-máquina e aqui, particularmente, mundo-máquina. Adicionalmente, procuro contribuir com reflexões sobre abordagens que quebram com o excessivo enfoque no som sintetizado ou manipulado por computador como método dominante de sonificação. A documentação e discussão da prática e das decisões tomadas ao longo do processo, constituirá um importante contributo para artistas e investigadores que se encontrem a trabalhar em projetos semelhantes. Por fim, procuro, através da junção entre a componente teórica e a análise das produções empíricas, apresentar uma síntese sobre sonificações de poluição e fenómenos do ar enquanto formas de afetividade e conhecimento do atmosférico. Como tal, este trabalho tenta contribuir para a literatura que se debruça sobre arte sonora e epistemologias sonoras dentro do campo de estudos de som.

Capítulo 1 — Revisão Bibliográfica

1.1 — Sonificação Artísticas, Ecológicas e de Problemas do Ambiente

1.1.1 — Sonificação na arte e na música

A história da sonificação na arte e na vida cultural das comunidades é longa e diversificada. O termo em si foi popularizado pelo compositor e cofundador do campo de investigação da sonificação, Gregory Kramer, na década de 1990 (Kramer, 1994; Kramer et al., 1999), e está intimamente associado à análise de dados científicos através de tecnologias de informação. Não obstante, no contexto da arte do século XX e XXI, a utilização de dados ou de informação categórica não-musical, i.e., fora dos sistemas formais de notação musical e regras de composição, tem sido um recurso recorrente de compositores e artistas.

O compositor Iannis Xenakis é famoso pela incorporação de fórmulas matemáticas complexas ou processos estocásticos, i.e., sujeitos somente a leis do acaso, na sua música. Em *Pithoprakta* [1955/56], a velocidade dos glissandos de cada um dos diferentes instrumentos de cordas tocados é determinada por uma equação matemática que descreve o movimento de partículas de gás. O resultado é caracterizado por um ritmo complexo de glissandos que se entrelaçam uns nos outros (Straebel, 2010).

John Cage usou informação de mapas estelares como referência para escolher as notas e ritmos da sua obra *Atlas Eclipticalis* [1961/62], uma ação que se enquadra na sua prática de composição que recorre ao aleatório. Podemos considerar que é uma espécie de sonificação, pois Cage usou dados das observações científicas do astrónomo checo Antonín Bečvář como fonte de informação não-determinista. Mais tarde, na peça *Variation V* [1965], fez uso de sensores de luz e antenas de capacitância para traduzir informação física do ambiente em parâmetros musicais (Straebel, 2010).

Alvin Lucier é conhecido pelas suas sonificações de ondas cerebrais. Na peça *Music for Solo Performer* [1965], Lucier fez uso de sensores que quantificam ondas cerebrais para controlar instrumentos de percussão cujo grau de estimulação era função do nível de relaxamento do artista. Quanto mais relaxado estivesse, mais os instrumentos eram excitados, o que despoletava um processo de retroação em que a concentração do artista era perturbada, levando ao gradual silenciamento dos instrumentos até que o ciclo se reiniciasse (Lutters & Koehler, 2016). Com este trabalho, o compositor foi um dos primeiros

autores a trabalhar artisticamente o processo de «biofeedback», hoje utilizado em obras artísticas que fazem uso da deteção e circulação de impulsos elétricos em organismos como o corpo humano, plantas, fungos e vida microbiana. Estes são apenas alguns exemplos, que servem já para ilustrar os diversos contextos pelos quais se pode recorrer à sonificação.

Para o compositor e pioneiro da música informática Curtis Roads, a sonificação permite a articulação de um processo, que, como fica patente no exemplo de *Pithoprakta*, pode ser a descrição matemática de um fenómeno ou até o desenrolar de uma equação (Roads, 2015, p. 322). Roads esclarece que, ainda que a obra seja percebida como tal, o papel do artista é adicionar alguma criatividade e ir além de uma simples apresentação de dados. Ou seja, o processo providencia uma matéria-prima, uma fonte de informação que o autor posteriormente esculpe segundo a sua visão artística (Gresham-Lancaster, 2012). Por outro lado, a entrega de parte da produção de materiais sónicos ou decisões a um fator externo está também associado à entrega de controlo, o que Gareth Loy¹⁶ denomina de “oráculo” (Roads, 2015, p. 125). Autores como Cage fazem uso de tais abordagens de modo a desbloquear a criação, mas também como desafio à noção romântica do génio artístico em pleno controlo do seu processo criativo (Neuhoff, 2019).

Para muitos artistas, os fenómenos sonificados não são relevantes apenas por serem fonte de dados e imprevisibilidade. Os dados de medição permitem a criação de uma base expressiva do próprio fenómeno que, por sua vez, possibilita uma relação mais íntima com as características estéticas, conceptuais ou evocativas que esse desperta no autor da sonificação artística. Adicionalmente, a intenção é, muitas vezes, transmitir um sentimento subjacente ao significado que os dados poderão ter, de forma a incutir no público um afeto associado ao fenómeno. Por esta razão, nem sempre se torna relevante preservar perfeitamente as relações internas como aconteceria numa sonificação científica (Neuhoff, 2019). Aqui, os valores medidos servem de andaime, ou molde, que o artista depois adorna com sons ou manipulações de parâmetros sonoros, movimentos, eventos ou regras de composição que são por si decididas em função da estética e do significado que procura veicular. Em muitos casos, estes são também fundamentais para representar ou evocar uma experiência alargada ou mesmo a agência do fenómeno, ou seja, a sua capacidade de agir, de afetar o mundo e a imaginação.

Estes aspetos, em si, não configuram uma novidade; afirmam-se antes como parte de um contínuo de práticas que procuram animar, encantar a natureza ou incutir-lhe uma agência divinatória — novamente, um oráculo — através do som. A existência de objetos ou

¹⁶ Loy, D. G. (2006). *Musimathics*. Two volumes. Cambridge, MA: MIT Press. In Roads, Curtis (2015). *Composing Electronic Music*. Oxford University Press. Oxford; New York. P. .125.

técnicas que comunicam algum tipo de informação sobre condições do ambiente ou estados da matéria através da produção de som, e às quais estão associadas práticas estéticas, lúdicas ou ritualistas, precede a era das tecnologias da informação. A harpa eólica, um tipo de cordofone tocado pelo vento, constitui um bom exemplo de um instrumento que quando soa proporciona, simultaneamente, uma experiência estética e cognitiva. No passado recente tornou-se um clássico da arte sonora, fazendo parte do corpo de obras de artistas que se dedicam à sua construção, como Max Eastley, Douglas Hollis ou Paul Panhuysen (Weibel, 2019). Todavia, a sua existência é conhecida desde a antiguidade clássica no ocidente e em várias culturas à volta do mundo. Não obstante, a primeira construção sistematizada é atribuída ao monge jesuíta Athanasius Kircher [1602-1680], por volta de 1650 e descrita nos seus tratados *Musurgia Univeralis* e *Phonurgia Nova*.

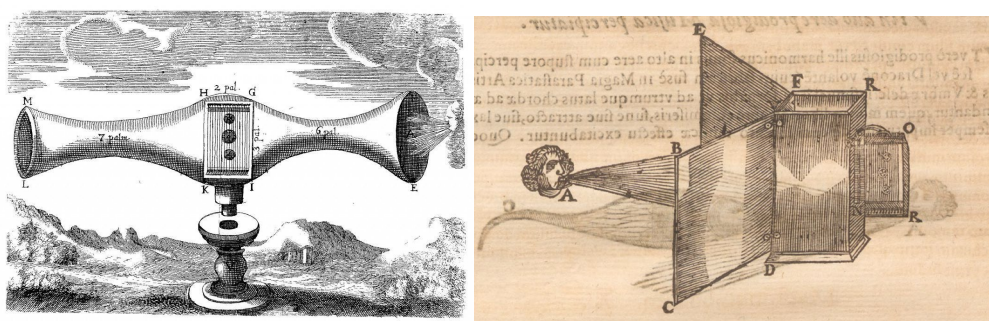


Figura 1 — Ilustrações de harpas eólicas de Athanasius Kircher, como apresentadas nas suas publicações *Phonurgia Nova* e *Musurgia Univeralis*¹⁷

Enquanto instrumento de magia natural¹⁸, a harpa eólica subscreve a função de criar maravilhas da natureza e da técnica (Hankins & Silverman, 1995). A harpa de Kircher é constituída por uma caixa de ressonância e várias cordas — geralmente afinadas na mesma nota —, que vibram quando atravessadas pelo vento, criando sons que maravilham os seus ouvintes pela sua melodia, complexidade e mistério do seu funcionamento¹⁹. Não obstante,

¹⁷ Fontes das imagens: Athanasius Kircher, *Phonurgia Nova*, p. 144 e *Musurgia Univeralis*, Vol. II, p. 353

¹⁸A magia natural era o nome dado ao conjunto de práticas renascentistas que usavam forças naturais e a sua manipulação através de instrumentos para criar efeitos ilusórios. O seu uso difere da magia negra, pois os efeitos eram naturais e não sobrenaturais, e por isso concretamente observáveis e testemunhados. Algumas das suas disciplinas incluíam a astrologia e a alquimia que mais tarde viriam a dar origem a campos científicos como a astronomia e a química. Para isso, muito contribuíram os instrumentos que eram desenvolvidos no âmbito das práticas de distorção da realidade criados pelos mágicos naturais como o telescópio, o microscópio e a bomba de vácuo. Como Hankins e Silverman escrevem: “o objetivo do mágico natural era criar prodígios da natureza e glorificar a sua ‘maravilha’; enquanto o objetivo da filosofia experimental [a ciência] era estabelecer ‘factos’” (Hankins & Silverman, 1995, p. 5).

¹⁹ Quando tocada pelo vento, nunca toca a nota fundamental na qual a corda está afinada, mas apenas os seus tons harmónicos. Por esta razão durante anos constituiu um mistério científico, incitando explicações que iam desde o flogisto, à eletricidade e magnetismo. Em 1878 V. Strouhal

cabos estendidos a longa distância também podem constituir boas harpas. Estas podem ser intencionais, como no caso dos trabalhos de Eastly e Hollis, ou encontros acidentais, como Henry David Thoreau testemunhou em 1851, quando, nos seus passeios diários, escutou as melodias emitidas pelos cabos de teleférico excitados pelo vento (Kahn, 2013, pp. 41–52).

De facto, por ser tocada pela ação do vento, a harpa eólica e seus derivados acidentais e mundanos tornaram-se numa enorme fonte de fascínio e inspiração para os escritores e poetas do período romântico, que nela escutavam ora o desejo por transcendência —na tradição alemã—, ora a imprevisibilidade e a agência da Natureza — na tradição anglo-saxónica. Ademais, servia de metáfora para a “alma do poeta que esperava para ser tocada pelo vento da inspiração” (Hankins & Silverman, 1995, p. 88), como podemos testemunhar no seguinte poema de Samuel Taylor Colridge:

And what if all of animated nature
Be but organic harps diversely framed,
That tremble into thought, as o'er them sweeps
Plastic and vast, one intellectual breeze,
At once the Soul of each, and God of All?
— Samuel Taylor Colridge, *The Aeolian Harp*, 1976

Outros, porém, tiveram em consideração as suas potencialidades epistemológicas. Dada a capacidade do cordofone para exprimir eventos atmosféricos, alguns cientistas do século XVIII, como o abade Giulio Cesare Gattoni de Milão [1741-1809], testaram — infrutiferamente — harpas feitas de longos fios metálicos suspensos no ar enquanto instrumento de previsão meteorológica. Note-se que este desejo de produzir conhecimento científico objetivo não estava desvinculado de um apreço pelas harmonias que o vento dedilhava, como fica patente nas seguintes anotações do abade (Gattoni, 1785):

Facto 4. No ano corrente de 1785, os fios vibratórios foram ouvidos com diferentes sons muitas vezes, dia e noite (...) Neste decorrer do tempo, contudo, o ar escureceu três vezes pelo sopro do vento do Sul, de tal forma, que ao juízo dos sentidos, e à variação dos barómetros e higrómetros, parecia que a água estava iminente; e os camponeses e barqueiros mais práticos foram enganados nas suas previsões, uma vez que não choveu. A previsão dos fios era mais certa neste dia do que a dos barqueiros, pois nunca se fizeram ouvir durante o dia, mas apenas à noite, e isto constantemente entre duas a quatro horas, uma, duas e três vezes não mais do que dois minutos com um zumbido doce e baixo.
(...)
Quem aprendeu a conhecer o seu som através de uma longa prática; pode, a partir daí, extrair várias previsões.

Hankins e Silverman (1995), não consideram a harpa eólica como um instrumento científico no sentido restrito, mas graças à sua génese na magia natural — *locus* da criação

propôs um modo de funcionamento, que foi provado em 1915 por Lord Raleigh. Este consistia num simples fenómeno mecânico produzido pela passagem do vento na corda, o vórtice de Von Kármán, que produz vibrações na corda que omitem a frequência fundamental (Hankins & Silverman, 1995, p. 96).

de vários outros instrumentos apropriados pela ciência — e à sua influência no pensamento romântico, afirmam que, efetivamente, foi um instrumento “científico” para esta corrente, pois permitia sondar e expressar diretamente a sublimidade da natureza.

Um exemplo semelhante são os moinhos de vento portugueses e as buzinas — também conhecidas por búzios — que são atadas às suas velas. Aqui a intenção de medir a força do vento e torná-la em informação útil e operativa é particularmente saliente e, alegadamente, bem-sucedida. Este sistema, exclusivo ao território nacional e cujas origens são ainda misteriosas, consiste, vulgarmente, num arranjo de vasilhas de barro em forma de cabaça e canas que revestem os velames. À semelhança da harpa eólica, o conjunto das buzinas cria uma toada cujas frequências e complexidade aumentam com a velocidade do vento que as atravessa. O moleiro escrutina os tons na toada das buzinas e determina quando o vento está adequado para a ativação da mó. Também são comuns as afirmações entre moleiros e estudiosos que atribuem às buzinas a capacidade para prever a meteorologia²⁰ (Câmara Municipal de São Brás de Alportel, sem data; Miranda & Nascimento, 2008; Miranda & Viegas, 2003). Uma brochura turística do Moinho de Vento de S. Brás de Alportel alega que “Não havia ainda camponês experiente que, olhando o moinho e atento ao silvo dos seus búzios, não soubesse prever o tempo” (Câmara Municipal de São Brás de Alportel, sem data). Como o moleiro se encontra no interior e ocupado com múltiplas tarefas, estes dispositivos funcionam, simultaneamente, como higrómetro e anemómetro sónico, transmitindo informação sobre condições climatéricas e auxiliando na condução eficaz e segura do processo de moagem²¹. Ademais, também é comum apresentar estes instrumentos como mediadores de uma agência não-humana, desta feita, uma que opera também como companheiro de trabalho. É comum os moleiros referirem-se ao “cantar” das buzinas como algo que lhes faz companhia durante as longas horas de trabalho solitário (Asseiceiro, 1986; Oliveira et al., 1983, p. 341). Note-se, também, que os moleiros têm preferências pessoais pelos tons tocados, procurando, muitas vezes, ter conjuntos de buzinas afinadas de acordo com o seu gosto (Oliveira et al., 1983, p. 341).

Casos como estes inspiram-me, por exemplificarem o estatuto ambíguo destes instrumentos entre o cognitivo e o afetivo, entre a razão e a emoção. A sua capacidade para expressar a força do vento articula-se, para os seus ouvintes, com uma perceção da

²⁰ Neste caso, e apesar de carecer de verificação empírica, uma explicação avançada é que a argila de que são feitas, por ser um material poroso, altera a sua densidade em função da humidade atmosférica, o que por efeito modifica também o carácter do som que emitem. Esta característica foi-me comunicada pessoalmente pelo antropólogo, molinólogo e construtor de moinhos, Jorge Augusto Miranda.

²¹ A operação de um moinho durante uma tempestade ou forte ventania comporta riscos consideráveis tanto para a estrutura do moinho como para a segurança do moleiro. Poder prever quando o tempo vai mudar permite também prevenir danos no moinho.

realidade emaranhada em sentimentos de curiosidade, sublimidade e prazer estético. Estas continuam a ser características fundamentais de várias sonificações artísticas que, no presente, tentam fortalecer a conexão entre públicos, o seu ambiente e a natureza.

1.1.2 — Sonificações ecológicas e dos problemas do ambiente

É na sonificação de características do ambiente circundante que as raízes históricas da sonificação se encontram com as práticas contemporâneas. Porém, as tecnologias eletrónicas e digitais permitiram uma separação entre os instrumentos de medida e os de produção de som. A consequência é tanto uma expansão dos fenómenos que é possível sondar, como dos sons que lhes podem ser atribuídos.

Vejamos, por exemplo, o caso dos campos eletromagnéticos, que até finais do século XIX só podiam ser experienciados através de modos visuais ou hápticos. Trata-se de um fenómeno relativamente intangível, que se tornou perceptível com recurso a experimentações científicas e tecnologias de deteção. A invenção do telefone e a bobina de indução, amplificada e ligada a altifalantes, tornou possível fornecer uma agência sónica a este fenómeno ambiental. Thomas A. Watson, o famoso colaborador de Alexander Graham Bell, enquanto investigava a tecnologia que daria lugar ao telefone, deparava-se constantemente, de modo accidental e inusitado, com emissões de rádio natural. O inventor dedicava longas horas à audição destes sinais emitidos pelo planeta e pelo sistema solar, antecipando uma área que mais tarde viria a dar lugar à radioastronomia, à procura por vida inteligente e outras questões astronómicas através da escuta dos céus (Kahn, 2013, pp. 25–33).

Como mencionei anteriormente, Alvin Lucier foi dos primeiros a trabalhar artisticamente com sonificação de campos eletromagnéticos; mas, talvez, a mais prolífica exploradora das potencialidades estéticas deste fenómeno seja Christina Kubisch. Em *Electric Walks* (Kubisch, *sem data*), a artista realiza um tipo de passeio sonoro mediado, em que utiliza auscultadores equipados com indutores que permitem escutar os campos eletromagnéticos — ubíquos nas cidades. Kubisch recorre à técnica de audificação, que, como expliquei no capítulo de Introdução, consiste na transposição para um registo audível de fenómenos vibratórios que não são acústicos por si ou que estão fora da audição humana. Nos passeios de *Electric Walks*, o participante pode discernir diferenças audíveis entre vários tipos de equipamentos eletrónicos, e cartografar os espaços de uma forma que não seria possível através de um passeio sonoro convencional, i.e., acústico.

Em muitas outras práticas criativas, a sonificação de aspetos do ambiente implica a quantificação de fenómenos. Isto permite expandir o que percecionamos, através duma

relação incorporada e hermenêutica com a tecnologia (Ihde, 1990, pp. 80–97). Simultaneamente, cria uma base expressiva do próprio fenómeno.

Atualmente, uma das áreas mais populares de sonificação é a que se liga aos problemas do ambiente. Neste contexto, uma das características que transita do búzio dos moinhos para as tecnologias mais recentes é o sondar do ambiente para avisar de perigo; para caracterizar o meio ambiente como portador de uma dada qualidade ameaçadora e nociva para a segurança pessoal. O contador Geiger-Muller é disto o exemplo paradigmático — embora no domínio científico — sendo, também, o instrumento de sonificação mais popular e bem-sucedido. O seu funcionamento consiste na produção de cliques numa quantidade proporcional à concentração de radiação ionizante num ambiente. O uso disseminado deste instrumento no âmbito da ficção, especialmente no cinema, tornou o seu som um verdadeiro correlato objetivo de radiação e de um ambiente tóxico²².

A comunicação de um sentimento de urgência é, em larga medida, a razão que motiva muitas das sonificações artísticas com recurso a dados ambientais, pois esses constituem a base da nossa perceção alargada dos problemas ecológicos contemporâneos. Como estes problemas são maioritariamente representados por meios visuais — e.g., gráficos, mapas, imagens vívidas de desastres ambientais — as sonificações apresentam-se como uma nova modalidade para a consciencialização ambiental. Relevante para isso, está destacarem-se frequentemente como uma criação cooperativa com agentes não-humanos como líquenes, fungos, micróbios e partículas de poluição, ou o que se pode denominar de “relações de alteridade” (Ihde, 1990, pp. 97–108)..

Um dos fenómenos mais sonificados é a crise climática. Entre trabalhos nesse campo, posso destacar *Climate Symphony*, de Leah Borromeo, Katharine Round e Jamie Perera (2015), por ser particularmente mediático. Os seus autores procuram extrair uma narrativa sonora de séries temporais de dados de temperatura e dióxido de carbono, por forma a motivar um envolvimento social com a causa climática. Perguntam-nos se “os dados têm emoções”. Esta questão, comum a muitos outros trabalhos de sonificação (Supper, 2014), pode conduzir o público a pensar que existe uma qualidade afetiva essencial inerente aos dados, que dispensa a análise, discursos e conhecimentos construídos em volta do seu significado. Porém, uma vez que os autores aplicam a forma sinfónica, caracterizada por expressões clássicas que impõem à evolução dos dados noções comuns de dramatismo,

²² Na recente série de 2019 *Chernobyl* da HBO o seu som torna-se na banda sonora dos episódios. Este aspeto atinge o seu pináculo no episódio 4, quando os trabalhadores de liquidação têm de limpar o telhado coberto por resíduos radioativos — um dos locais mais contaminados e no qual não podem estar mais que 90 segundos. Neste episódio os cliques do contador Geiger-Muller tornam-se na nota fundamental duma paisagem sonora abrasiva que evoca e salienta uma atmosfera na qual o humano já não pode subsistir.

torna-se claro que as “emoções” dos dados são, na verdade, uma destilação das dos seus criadores. Essas, por seu lado, inevitavelmente ancoradas no conhecimento que têm das consequências nocivas das alterações climáticas e que procuram fazer ressoar na audiência.

A intersecção entre sonificação, arte, ciência e ativismo ambiental encontra em Andrea Polli uma das artistas mais prolíficas. No seu primeiro trabalho de sonificação de modelos de tempestades, *Atmospherics/Weather Works* [2001], contrariou as tendências daquela altura, que procuravam mapear o contínuo de variáveis a notas discretas — ainda hoje a prática mais comum. Em vez disso, Polli utilizou essas variáveis para alterar e filtrar uma ampla gama de frequências sonoras. Assim, no lugar de sequências de notas, a artista obteve formas e curvas de som que eram remissivas de paisagens sonoras. De facto, os seus trabalhos levaram a que começasse a encarar as práticas de composição de paisagens sonoras e passeios sonoros, oriundas da ecologia acústica, como modelos orientadores da sua prática de sonificação (Polli, 2012).

Com *Heat and the Heartbeat of the City* [2004], Polli expandiu as suas sonificações para dados climáticos, e para a relação entre ondas de calor e impactos na saúde. Quando os dias eram mais quentes os sons tendiam a ficar mais ruidosos — ou seja, a frequência central do filtro passa-baixas aplicado a ruído subia — e dessa forma evocavam com maior destaque o desconforto e perigosidade associada a esses dias (Polli, 2006).

Em *Sonic Antartica* [2009], Polli mistura gravações de campo, passeios sonoros, entrevistas a cientistas, composição de paisagens sonoras e sonificação. Estes trabalhos convocam questões sobre as transformações climáticas a que espaços como a Antártida estarão sujeitos, sobre o papel da ciência e dos cientistas na produção e comunicação desse conhecimento, passando pela discussão do lugar da subjetividade nas artes versus na ciência. Um dos conceitos fundamentais implícitos neste trabalho é o de escala. Ao cruzar as vozes e discursos dos cientistas com sonificações dos dados que recolhem, com os seus passos na neve, ou as paisagens sonoras do interior dos helicópteros que transportam os investigadores nas suas missões, este trabalho salienta que, na base da produção de conhecimento sobre um fenómeno global, está o corpo humano, situado e contingente (Polli, 2012).

Outro tópico central do processo conceptual de Polli é o uso de sonificações em tempo-real. Polli reconhece a sua utilidade prática no caso de situações em que os ouvintes estão envolvidos em tarefas multimodais ou em que são invisuais. Argumenta que o interesse das sonificações em tempo-real no mundo artístico reflete um interesse na “arte como experiência” e que estas permitem destacar os aspetos contínuos e imersivos de um ambiente (Polli, 2012).

Kaffe Matthews é uma ávida exploradora do cruzamento entre arte sonora, ambiente e mobilidade. A sua obra *Sonic Kayaks* (Bicrophonic Research Institute (BRI), sem data; Griffiths et al., 2017) intersecta a arte sonora com a investigação científica — neste caso, ciência cidadã —, procurando contribuir para o estudo de problemas do ambiente e para a consciencialização ambiental. Os *Sonic Kayaks* são instrumentos musicais equipados com altifalantes, sensores de temperatura, hidrofones e um sistema de rastreamento GPS. À medida que a pessoa se desloca vai escutando uma sonificação da temperatura da água misturada com os sons que o hidrofone capta, permitindo também aferir o nível de ruído subaquático da zona.

Também são comuns experiências que sonificam poluição da água, ou a química dos solos. Marco Barotti cria autómatos musicais inspirados em fauna real; por exemplo na sua obra *Clams* apresenta uma orquestra de amêijoas-robôs que sonificam a poluição da água em tempo real. O artista italiano faz uso de um sistema de sondagem da qualidade da água *in-situ* que comunica a informação recolhida para um computador situado noutro local, onde se encontram as suas amêijoas. Cada amêijoia é composta por duas abas de plástico reciclado, simulando a concha, e um pequeno altifalante no seu interior. A composição generativa e microtonal conceptualizada por Barotti consiste em atribuir a poluentes e condições da água sons agudos e infrassónicos. Estes últimos fazem mover as abas das conchas, produzindo pequenos batucos quando fecham, relembrando os cliques e estalidos que podemos encontrar quando mergulhamos um hidrofone num habitat aquático saudável. Crepitaes, ronronares ou subtis cacarejares, produzidos pelo abanar das conchas, fornecem uma textura sónica sobre a qual “dançam” lamentos agudos, semelhantes a uma mistura híbrida entre o canto de dezenas de pequenos seres e o som de címbalos a serem friccionados por arcos de violino. Barotti vai além da forma neste seu ato de biomimetismo e canaliza, como inspiração, uma função ecológica atribuída a este animal pela ciência, pois é comum serem usados como bioindicadores do estado de qualidade das massas de água (Barotti, 2019; Louro, 2021).

1.1.3 — Sonificações de Poluição do Ar

Os constituintes químicos dos interstícios ambientais são uma fonte rica em matéria-prima conceptual e material. Com recurso a conhecimentos científicos, sensores e tecnologias de produção de som é, assim, possível dar voz a vários fenómenos que se materializam e ocorrem nos vários ambientes²³. Nesta secção, abordarei alguns exemplos

²³ Interstícios, estes, que podem estar no nosso planeta ou no espaço exterior, como já mencionado no caso do projeto Spooky Sounds from Across the Solar System.

da sonificação da poluição do ar, que é particularmente importante no contexto desta minha dissertação.

Os artistas que trabalham com sonificação de poluição do ar utilizam bases de dados públicas e/ou monitorização em tempo real. Neste último caso, podem recorrer a sensores industriais profissionais ou dispositivos mais simples dirigidos ao mercado DIY. Os mecanismos industriais são de grande precisão, mas tendem a ser dispendiosos e dependentes de conhecimento especializado. Os mecanismos DIY são uma alternativa acessível em termos económicos e técnicos; para além de serem muitíssimo mais baratos, há uma grande abundância de tutoriais e grupos de discussão na internet, que auxiliam na sua montagem e operação.

Gabriel Isaacman e Aaron Reuben (2012) realizaram sonificações da qualidade do ar em várias zonas urbanas e rurais da Califórnia. Num artigo de jornalismo científico para a revista *The Atlantic*, serviram-se dos respetivos “gráficos sonoros” como instrumentos de análise.

Brian Foo (2014) recorreu a bases de dados públicas para sonificar partículas de smog — $PM_{2.5}$ — em Pequim entre 2012 e 2014. O autor usou estes dados para “poluir” a faixa “32 Ghosts IV”, do álbum *Ghosts I-IV* da banda Nine Inch Nails. Quanto mais altos os valores de $PM_{2.5}$, menor a clareza e definição da faixa original, pois a quantidade de instrumentos da música cresce, criando-se uma massa sonora que dificulta a sua perceção.

Greg Niemeyer e Chris Chafe (Chafe, 2014; Hart, 2010) criaram uma rede de dispositivos de medição de qualidade do ar, difundindo as respetivas sonificações em tempo real no website do projeto *Black Cloud* — agora desativado. Os autores e a sua equipa distribuíram os seus dispositivos por várias cidades do mundo, como Katmandu, Shanghai e Tóquio. As suas sonificações evocam uma estética semelhante a improvisações eletroacústicas com manipulação de samples áudio²⁴. À semelhança de Borromeo et al. (2015), tentam que as obras respondam à questão de como os dados ambientais podem ser tornados mais emocionais e conducentes ao envolvimento e ação política.

Recentemente, Droumeva e St. Pierre (2018) investigaram este problema de forma sistematizada. Os autores realizaram sonificações de qualidade do ar para estudar as melhores práticas para a consciencialização de públicos leigos, e discutir as ideologias que alimentam as decisões de design de qualquer apresentação de dados, seja ela visual ou sonora. Para tal, desenvolveram um conjunto de princípios de design e técnicas de mapeamento baseadas em psicoacústica. A principal estratégia destes autores consistia em

²⁴ É possível escutar algumas destas sonificações no website de Chris Chafe: <http://chrischafe.net/smog-music/>

usar síntese de modulação de frequência, ou FM. Mapearam os valores indicadores da quantidade de poluição ao índice de modulação de um tom. Para níveis baixos de poluição escuta-se um tom puro, produzido com uma onda sinusoidal. Com o aumento de um poluente o tom associado torna-se o som progressivamente mais ruidoso. Tal ocorre, pois, o índice de modulação aumenta com a poluição, o que faz surgir mais bandas laterais em volta da frequência fundamental do tom e, por isso, mais ruído.

Com esta correspondência direta, simples, intuitiva e inteligível, pretendiam despertar a consciência das pessoas. Conduziram um estudo com o objetivo de avaliar a inteligibilidade e as emoções decorrentes da informação sonora; a sua relevância social; e a importância da sonificação enquanto método de apresentação de dados. Numa das suas conclusões destacam que a forma mais eficaz para comunicar o “drama” do fenómeno se relaciona com o simbolismo resultante de uma proporção direta entre poluição e ruído.

Com mais este exemplo, fica patente uma forte tendência para associar ruído, sons abrasivos ou desconfortáveis à intensificação de poluição ou de um dado problema do ambiente. Trata-se de uma estratégia comum, dado que o simbolismo é forte e fácil de decodificar. Todavia, é importante lembrar que um poluente do ar não possui um som associado no mundo real; o design de uma sonificação estabelece uma relação arbitrária e metafórica (Walker & Nees, 2011), que tem por base os condicionamentos culturais e expectativas assumidas dos criadores e ouvintes.

Kaffe Matthews e o *Bicrophonic Research Institute* também abordam o tema da poluição do ar em *Environmental Bikes*. Utilizam bicicletas equipadas com GPS, sensores de partículas e gases, minicomputadores Raspberry Pi e um par de altifalantes de cada lado do guiador. As pessoas são convidadas a viajar pela cidade, recolhendo informação sobre poluição enquanto escutam a respetiva sonificação — que pode incluir tons com ondas sinusoidais e transformação de sons gravados, como respiração ou harpas eólicas. No fim de cada viagem, os participantes podem, também, consultar um gráfico representativo da poluição num mapa do seu trajeto (Matthews, 2020).

Em suma, os trabalhos revistos acima demonstram a diversidade de abordagens e técnicas usadas na sonificação de dados ambientais. A sua revisão é importante, pois leva-me a refletir sobre áreas de intervenção, métodos de design, abordagens conceptuais e estratégias de apresentação e colaboração. Adicionalmente, é-me particularmente relevante considerar obras como *Environmental Bikes* e *Sonic Kayaks*, enquanto instrumentos-situações que permitem uma hibridação entre a experiência de arte interativa e a amostragem de dados. Assim, a ação de recolha de dados — importante para estudos científicos ou ações de ciência cidadã, ver secção 1.2.2 — constitui, também, uma oportunidade para a pessoa participar na criação de uma composição sonora.

Nestes casos, e em linha com o verificado nas harpas eólicas e nos búzios dos moinhos de vento, a arte manifesta-se a partir de uma sintonização com o lugar, através de uma percepção expandida dos actantes que constituem um meio. Ambos estes tópicos são relevantes para os trabalhos desta dissertação e serão tratados com maior profundidade nas secções 1.2.1.3 e 1.3.

1.2 — Instrumentação

“A musical instrument is not a dead object, it is a slow event transpiring through time, materialising and metamorphosing through the hands of makers, players, and destroyers (such as fire or worms in the soil).”

— Thor Magnusson, *Sonic Writing*, p. 12

“When thinking about how to devise instruments, you might then consider how changing instruments also changes the possibilities of encounter, engagement, and relation.”

— Jennifer Gabrys, *How to do things with sensors*, p.57

1.2.1 — Novas Interfaces de Expressão Musical

1.2.1.1 — Flexibilidade, abertura e ergodinâmica

Um instrumento musical pode ser um objeto contido em si próprio. Isso aplica-se a instrumentos acústicos, cujo corpo físico produz diretamente o som; aí a interface de controle e o gerador de som são a mesma coisa. Mas esta definição não abrange os sistemas e instrumentos que descrevi na secção anterior.

Atau Tanaka (2011) propôs a noção de instrumento como sistema aberto, dependente de conteúdos, contexto de uso e configuração técnica e material. A configuração de um NIME envolve múltiplas componentes físicas e digitais e as mudanças de contexto criam desafios performativos e estilísticos que testam as competências do instrumentista e do instrumento. Contudo, esta definição não se limita a este novo universo de instrumentos digitais. Por exemplo, o uso do estúdio como instrumento pelos praticantes de «musique concrète» expandiu a definição de instrumento musical para práticas e situações antes não pensadas como performativas. O "turntablism"²⁵, por seu lado, requer uma técnica apurada, mas também discos, i.e., conteúdos para serem usados no gira-discos. O som de uma guitarra depende da sua forma autónoma, mas também pode variar de acordo com as cordas

²⁵ Manipulação física de discos, que produz composições diversas das originalmente gravadas.

selecionadas, “preparações”²⁶, pedais de efeitos ou tipos de amplificador e sistema de altifalantes. Ou seja, a escolha de objetos particulares, a sua configuração e uso modificam a natureza do próprio instrumento.

Thor Magnusson (2019) elabora sobre o potencial expressivo de um instrumento, propondo o termo “ergodinâmica” para o descrever. Esse potencial pode depender tanto da possibilidade de manipular o som de forma precisa, como da possibilidade de obter resultados imprevistos e não está desvinculado da história que o instrumento carrega consigo, nem do contexto sociocultural em que se pode inserir. Acima de tudo, a ergodinâmica diz respeito a características que tornam a sua descoberta sempre renovável, bem como teoricamente relevante; a características que mantêm a natureza “misteriosa e mágica” do instrumento:

“(…) é um conceito geral que significa como o instrumento pode ser tocado, uma consciência histórica de como foi tocado, das suas qualidades materiais e virtuais, e do potencial que o instrumento tem para integração em contextos musicais mais vastos (...)” (Magnusson, 2019, p. 11, tradução do original)

No contexto da minha dissertação interessa-me, principalmente, o facto da ergodinâmica global de um DMI depender da ergodinâmica das suas diversas componentes técnicas, assim como da respetiva articulação (Magnusson, 2019, p. 46). Emerge das potencialidades dos sensores escolhidos, das linguagens de programação utilizadas e dos mapeamentos digitais, que depois são traduzidos para sinal sonoro. Ao trocar uma destas componentes, pode-se modificar todo o sistema. Por exemplo, a substituição de um algoritmo por outro pode alterar radicalmente o comportamento sonoro do instrumento. Um simples premir de botão, e ativa-se um novo mapeamento de parâmetros, ou um novo modo de síntese; ativa-se uma metamorfose do instrumento (Tahiroğlu et al., 2020). Isto não sucede com instrumentos acústicos, pois alterá-los para outras escalas, ou para produzir sons que não foram embebidos no seu design original, apesar de possível, não é uma operação imediata e produz resultados mais limitados (Tahiroğlu et al., 2020).

Claro que muitos DMI têm um modo-de-ser pouco flexível, especialmente quando replicam a forma e funcionamento de um instrumento tradicional, como sucede com teclados digitais ou outros controladores MIDI²⁷ existentes no mercado. Não obstante, a componente material que funciona como controlador não é por si só um instrumento. Para isso, tem de ser emparelhada com um gerador de som. Dado que existem diversas possibilidades de

²⁶ Modificações temporárias com recurso a objetos externos que alteram o timbre ou afinação do instrumento (Hopkin & Landman, 2014, p. 7).

²⁷ MIDI é o acrónimo para «Musical Instrument Digital Interface» e consiste numa norma técnica para um protocolo de comunicação entre instrumentos musicais digitais e computadores.

escolha de gerador de som, um controlador de MIDI existente no mercado do consumidor pode oferecer bastante flexibilidade, mas nunca a que se encontra disponível num instrumento que é possível especificar e programar de raiz como acontece com os NIME.

Nestes, podem-se utilizar dados extraídos da internet ou de eventos físicos captados mediante sensores. Pode-se decidir livremente sobre material sonoro, parâmetros de interação e respetivos resultados. Pode-se facilmente trocar de sons e escalas, utilizar escalas microtonais ou contínuos de frequências. Magnusson (2019, p. 33) refere-se a isto como uma exploração ativa das “qualidades únicas do digital”.



Figura 2 — Exemplos de NIME: topo esquerda) O Halldorphone; topo direita) o Karlax; em baixo) Atau Tanaka usa sensores musculares e redes na sua performance *Myogram*.²⁸

Essencialmente, Tanaka e Magnusson mostram-nos que um instrumento é um sistema passível de reconfiguração, podendo ser alterado de acordo com uma diversidade de contextos musicais, artísticos ou utilitários.

Em última instância, a flexibilidade e a ergodinâmica do instrumento são qualidades contingentes que emanam do processo iterativo de questionar um fenómeno, uma prática, um instrumento e de experimentar soluções. São proposições²⁹ (Whitehead, [1929] 2010),

²⁸ Fontes das imagens: Auré, 2011; Tahiroğlu et al., 2020; Úlfarsson, sem data.

²⁹ Segundo a filosofia realista de processo do inglês Alfred North Whitehead, “proposições” são o que existe entre o que é potencial e aquilo que é uma verdadeira concretização (Hooper, 1945, p. 60). Ou seja, existem entre o processo de sentir uma entidade e o processo de lhe dar significado e realidade. Como Whitehead descreve: “são os contos que porventura podem ser contados sobre atualizações particulares” (Whitehead, 2010, p. 256) Por seu lado, as ocasiões concretas, ou entidades concretas, são as “coisas reais finais — das quais o mundo é feito”, são processos e eventos que realmente existem no mundo, como acontecem e como se relacionam com outras, são “gotas de experiência, complexas e interdependentes” (Whitehead, 2010, p.18).

que convocam o interesse, que puxam coisas, seres e fenómenos para a criação de ocasiões concretas, isto é, reais momentos de experiência.

Estas observações também são úteis para clarificar a perspetiva sobre design de novos instrumentos que adoto: as decisões subjacentes à criação de novas interfaces afetam o resultado final, pelo que a ação de compor abrange a invenção de um sistema tecnológico musical (Magnusson, 2019; Tahiroğlu et al., 2020; Tanaka, 2011).

1.2.1.2 — Instrumentos baseados em sensores

O caso particular dos instrumentos baseados em sensores reforça a noção dos instrumentos como sistemas abertos. Estes são dependentes de várias componentes que não incluem apenas questões relacionadas com a produção de um sinal sonoro, mas, também, com aspetos informativos e computacionais. Como outros DMI, são “materiais no corpo, elétricos na função, e simbólicos no controlo” (Magnusson, 2019, p. 57).

Tanaka (2011) enumera cinco componentes que devem ser consideradas quando se incluem tecnologias digitais e de sensores enquanto sistemas abertos na criação de instrumentos:

- Dispositivo de entrada (*input*): geralmente um sensor e sistema de aquisição de dados;
- Algoritmos de mapeamento: um subsistema de software que traduz os dados dos sensores para informação musical;
- Motor de síntese sonora: programa que gera em tempo real áudio cujos parâmetros de síntese sonora são modulados pelos dados de entrada;
- Estrutura composicional: a camada estrutural que define as secções musicais ou progressões do trabalho
- Sistema de saída: o subsistema de saída áudio, consistindo da configuração de canais de saída e dos conversores digital-para-analógico — CDA, ou DAC em inglês.

A Figura 3 mostra o esquema de um instrumento da autoria de Thor Magnusson, que inclui um controlador gestual, uma camada de mapeamento e um gerador de som.

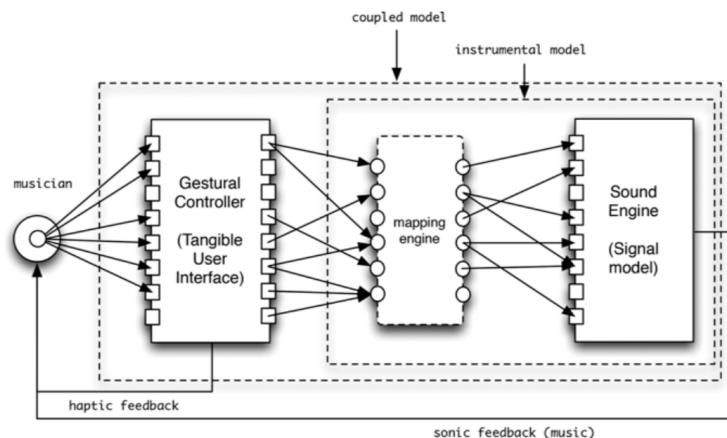


Figura 3 — Modelo explicador de um instrumento musical eletrônico.³⁰

Contudo, os modos de controlo de um DMI podem ser mais do que apenas gestuais. A utilização de sensores permite recolher informação externa ao instrumento. Um microfone pode ser utilizado como sensor, mas há muitos outros tipos de sensores, porventura mais peculiares: musculares, de pressão, proximidade, movimento, flexibilidade, de frequências rádio, infravermelhos, eletromagnéticos, acelerómetros, giroscópios, temperatura, humidade ou poluição, para nomear alguns. Geralmente, o fenómeno detetado modifica o estado elétrico ou eletroquímico de uma componente interna do sensor. Essas mudanças de estado, que são traduzidas como alterações de resistência e voltagem, podem ser quantificadas via microcontroladores — e.g. Arduino, Raspberry Pi —, e traduzidas em informação digital. Por exemplo, um sensor de flexibilidade — que permite usar o grau de flexão dos dedos como variável de controlo, ver Figura 4 — é composto por múltiplas partículas condutoras. Quando o sensor é dobrado, as partículas afastam-se umas das outras e a sua resistência elétrica aumenta. Um microcontrolador é capaz de reconhecer esta variação de resistência elétrica e convertê-la em dados digitais. Esses dados tornam-se, assim, uma variável no código de mapeamento, controlando um ou vários parâmetros da composição.

Há também a considerar que sensores gestuais podem ser usados noutros contextos, não-gestuais. Por exemplo, Bill Fontana utilizou acelerómetros como detetores de vibração sísmica, na sua instalação *Shadow Soundings*, implementada na Ponte 25 de Abril em Lisboa³¹. As vibrações da ponte detetadas pelos acelerómetros eram convertidas em dados que o artista utilizou para criar sons e controlar a sua composição.

Da mesma forma, sensores não-gestuais podem ser sensíveis ao gesto e movimento físico. No âmbito do meu próprio trabalho prático utilizo sensores ambientais, pelo que a gestualidade do corpo não é a fonte de dados. No entanto, no caso de instrumentos

³⁰ Fonte da imagem: Magnusson (2019, p. 36)

³¹ Apresentada, também, no Museu de Arte, Arquitetura e Tecnologia em 2017

de sonificação móveis, o movimento do corpo pode ter influência nos resultados sonoros ao fazer deslocar os sensores de um espaço para o outro; de um conjunto de condições ambientais para outro, eventualmente, diferente.

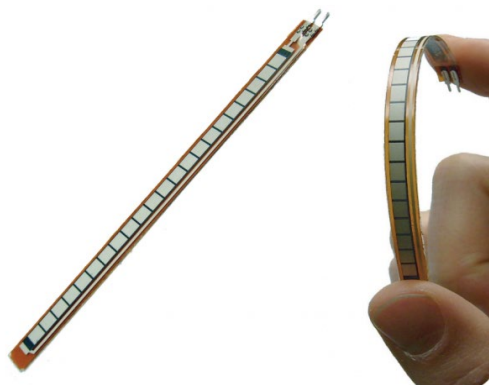


Figura 4 — Exemplo de um sensor flexível³²

1.2.1.3 — Relações de Interação

A criação e utilização de DMI não problematiza apenas a noção de instrumento, mas, também, os modos de interação com ele.

Tahiroğlu et al. (2020) investigaram como as relações humano-máquina se estabelecem no ecossistema musical, focando-se na computação como um aspeto central na construção e performance dos DMI. Para analisar a fenomenologia da interação com DMI, serviram-se dos quatro modos de mediação tecnológica formalizados por Don Ihde (1990): relações incorporadas, relações hermenêuticas, relações de alteridade e relações de fundo.

Nas relações incorporadas a tecnologia funciona como uma extensão do corpo, tornando-se “transparente”; a interface é concebida de modo a criar uma sensação de imediatismo, ou um isomorfismo entre as nossas ações corporais e os respetivos resultados. Isto permite que a atenção se foque na atividade realizada, sem se distrair com o meio propriamente dito. Para Tahiroğlu e os colegas, as relações incorporadas das tecnologias digitais possibilitam “ampliar o nosso comportamento auditivo, resultando na aquisição de novas competências para a compreensão da música; permitindo-nos, em última análise, experimentar uma nova estética (...)” (Tahiroğlu et al., 2020, p. 70, tradução do original).

Nas relações hermenêuticas a tecnologia é utilizada para interpretar um dado aspeto do mundo, e revelar aquilo que não é imediatamente perceptível. Segundo os autores, os DMI mobilizam este tipo de relações ao estabelecer o modo como fenómenos físicos são interpretados pela máquina, convertendo-se em som e música. A dimensão hermenêutica da interação é proeminente em instrumentos que sonificam parâmetros do ambiente ou da

³² Fonte da Imagem: JIMBLOM & BBOYHO (sem data)

sociedade — e.g. valores de ações na Bolsa —, jogando duplamente com a criação de uma atmosfera musical e a comunicação de informação sobre o mundo. Este duplo jogo já sucedia em instrumentos acústicos como a harpa eólica. A grande diferença, como nos indica Thor Magnusson (2019, pp. 35–36), é que na harpa o instrumento era a interface, enquanto os novos instrumentos precisam de uma interface programável. Isso significa que a interação é condicionada pelo código de programação e pelas interfaces representacionais (Magnusson, 2019, pp. 47–57).

Uma nova interface de expressão musical pode ter características que possibilitam relações de alteridade com a tecnologia. A alteridade surge quando a tecnologia se torna um “outro”, que se afigura autónomo e inteligente ou simplesmente imprevisível; um outro que aparenta ser capaz de tomar decisões por si próprio. Por exemplo, alguns DMI são capazes de improvisar com outros músicos mediante inteligência artificial; estes são também conhecidos por interfaces conversacionais (Magnusson, 2019, p. 52). Outros fazem uso de técnicas mais simples e tradicionais, utilizando geradores de valores aleatórios, ou «inputs» não-humanos e não-intencionais. Além disso, podem-se mapear diversos comportamentos sónicos a um mesmo input, e obter resultados inesperados a partir da sua combinação. Em todo o caso, o instrumento torna-se uma entidade autónoma; um parceiro com quem se dialoga, num processo de cocriação.

Por fim, as relações de fundo são aquelas em que a tecnologia se torna uma “presença ausente”. Por um lado, manifesta-se como uma parte ou a totalidade do próprio ambiente. Por outro, condiciona — *texturiza*, segundo Ihde — a experiência do espaço que um corpo habita. Para Ihde, “as tecnologias de fundo (...) transformam as *gestalts* da experiência humana e, precisamente por parecerem ausentes, podem exercer efeitos indiretos subtis sobre a experiência do mundo” (Ihde, 1990, p. 112). De facto, a percepção musical pode ser transformada com o uso de sistemas de som «surround» que permitem criar um ambiente musical; ou uma envolvência musical (Tahiroğlu et al., 2020). Esta qualidade é particularmente relevante no contexto da presente investigação, porque relaciona-se com a noção de “atmosfera”, que remete para as experiências subtis e vagas, que condicionam a habitação sensorial de um espaço.

1.2.2 — Ciência cidadã e “criaturação de dados”

1.2.2.1 — Ciência cidadã e Instrumentos de monitorização ambiental

A utilização de tecnologias de sensores numa interface de expressão musical envolve aspetos funcionais e simbólicos que estendem a música para além do som. Além disso, pode expandir a experiência musical para além de considerações puramente estéticas. Com efeito, ao utilizar sensores de qualidade do ar as minhas motivações são, também, de teor científico e social.

A geógrafa Jennifer Gabrys (2016, 2019) tem mobilizado estas tecnologias para interrogar o sentido e formas pelas quais instrumentos se materializam no contexto de problemas ambientais e mobilização de comunidades em risco. Gabrys desenvolve sensores e redes de monitorização de qualidade do ar DIY em workshops e projetos com comunidades localizadas junto a fontes de emissão de poluentes, como campos de extração de gás de xisto que usam o processo de «fracking»³³.

Desta forma, possibilita que essas comunidades criem os seus próprios meios para determinar a qualidade do ar que respiram, e os efeitos da atividade mineira na sua saúde. Tal é particularmente importante, porque muitas vezes não existem sistemas governamentais responsáveis por essa monitorização, ou mesmo que existam, há resistências à sua implementação.

As comunidades com que Gabrys trabalha envolvem-se em projetos de “ciência cidadã” e de «citizen sensing». A “ciência cidadã” é uma atividade em que cidadãos comuns — que podem ter ou não ter experiência científica, mas não são especialistas no campo em que agem — participam no estudo de um dado fenómeno usando técnicas científicas para a recolha de dados, que fornecem a uma comunidade de cientistas que os estuda³⁴. Por seu lado, a «citizen sensing»³⁵ é uma área dentro da ciência cidadã em que os cidadãos não se limitam a recolher observações para plataformas já estabelecidas, sendo mais ativos na

³³ Processo de extração de gás de xisto que envolve libertar gás natural ou petróleo embebido em rochas. A libertação do combustível fóssil é realizada ao fragmentar-se a rocha com a injeção de água a alta pressão. Os impactes ambientais desta atividade podem ser vários, destacando-se o aumento do risco sísmico, poluição da água e poluição do ar (Meng & Ashby, 2014).

³⁴ Ver por exemplo o projeto Ebird em www.ebird.org. Neste, cidadãos comuns submetem através dos seus telemóveis ou computadores pessoais avistamentos de aves, contribuindo por isso para a investigação científica em ornitologia, com dados sobre demografia e geografia da avifauna. Para mais informação sobre esta atividade consultar o portal da ciência cidadã europeu: <https://www.plataforma.edu.pt/eu-citizen-science>

³⁵ A tradução para português seria deteção cidadã, mas tal não reflete os aspetos experienciais de sentir através do instrumento, assumindo-se apenas um ato momentâneo de detetar e identificar uma certa quantidade ou qualidade do fenómeno. Por essa razão decidi manter o termo em inglês.

implementação de tecnologias de recolha de informação. Em ambos os casos, os cidadãos podem usar instrumentos, e sensores para obter informação que permite denunciar situações eventualmente perigosas.

Gabrys e os cidadãos com quem colabora lidam com sensores e microcontroladores que avariam, que deixam de comunicar com computadores e bases de dados, bibliotecas de código que sofrem atualizações e que tornam os sensores inoperáveis. Paralelamente, instrumentos e componentes podem ser “canibalizados”, reconfigurados ou mesmo adaptados para outros fins.

Assim, estas práticas interrogam o instrumento e como se constitui — um ponto de convergência com as práticas inerentes ao desenvolvimento de novas interfaces de expressão musical.

Gabrys põe em causa o que normalmente se entende por “instrumentalidade”, i.e., um modo de causalidade que apenas procura atingir um fim específico da forma mais eficiente possível. A sua noção de “instrumentalismo de ar livre” aceita a contingência como parte de qualquer processo experimental aberto, e capaz de desvios produtivos. Abrange o modo como os instrumentos se modificam e são modificados pelos questionamentos que se constituem no próprio desenrolar da prática.

Influenciada pelo filósofo do pragmatismo norte-americano John Dewey, Gabrys olha para a natureza ontológica dos instrumentos como geradores de relações e capacidades contingentes a partir da forma como realizam trabalho no mundo. Ora, é precisamente a partir dessa ação que se figuram como instrumentos e que surgem as eventualidades técnicas, sociais, ambientais e políticas — e.g. falhas, adaptações, reconfigurações, abandono, substituição, resistências — que modificam os fins e a diversidade de envolvimento com os problemas ambientais. É esta multiplicidade e ramificação potencial de práticas e caminhos instrumentais que brotam e são moldados por processos distintos de questionamento, que Gabrys assume como central na relação entre humanos e tecnologias de monitorização do ambiente.

1.2.2.2 — “Criaturação” dos dados

No seu livro “Program Earth”, Gabrys (2016) discute uma série de projetos de monitorização de poluição do ar que se situam na fronteira ténue entre ciência, arte e ativismo. Trata-se de explorar novas formas de monitorização-móvel, adquirir dados quando não existem oficialmente ou não são de confiança, ou torná-los mais imediatos, e portanto, eventualmente, mobilizadores de ações interventivas. A autora fala-nos de exemplos como os *Feral Robot Dogs*, em que um conjunto de cães robôs equipados com sensores de qualidade do ar viaja por espaços públicos, tendendo a agrupar-se nas zonas com maior

poluição. Noutro exemplo, o *Pigeon Blog*, pombos-correio equipados com sensores de poluição e GPS servem de voluntários invulgares que mapeiam a poluição do ar na Califórnia do Sul durante os seus voos.

Neste tipo de experiências com recurso a tecnologias computacionais, sensores ambientais e criaturas não-humanas, dá-se também lugar a novos universos de sensação e sentido. Gabrys sublinha que estas ações não se limitam à função de detetar e relatar fenómenos externos. Dá origem a entidades que experienciam esses fenómenos coletivamente, influenciando novos arranjos entre dados ambientais e formas particulares de detetar. Estes arranjos manifestam-se em “ocasiões distintas para criar e dar sentido a esses dados”, ou seja, estes podem acabar a ser usados como factos científicos, assuntos de interesse, ou figurar como “padrões rudimentares produzidos por tecnologias instáveis ou práticas de monitorização esporádicas.” (Gabrys, 2016, p. 160).

Por outras palavras, os dados de monitorização ambiental não são apenas valores abstratos, e a interpretação dos fenómenos que deles se pode abstrair deve ter isso em conta. Os métodos de recolha originam “entidades” particulares, que devem ser consideradas relativamente a outras. Gabrys, influenciada por Whitehead³⁶ — e pelos próprios exemplos com que se deparou—, utiliza o termo “criatura de dados” para designar este tipo de entidades: materializações da própria experiência, que resultam de um envolvimento específico com os dados, podendo gerar encontros de carácter extraordinário.

Sendo assim, projetos de monitorização ambiental são processos de “criaturação de dados”³⁷ onde a concreção de entidades ambientais materializa-se através de “formas [particulares] e distintas de perceber e participar em ambientes. Estas criaturas podem ter legitimidade científica”, ou podem constituir modos alternativos de informação ambiental usados para contestar a produção científica quando essa é limitada ou não satisfaz as necessidades de uma dada comunidade (Gabrys, 2016, p. 160). Como a autora indica, tais experimentações por vezes não têm o rigor e a exatidão dos métodos científicos mais avançados, dos quais dependem as verificações que legitimam muitas decisões político-económicas. No entanto, isso não as invalida como modalidades complementares e de experimentação com cidadania ambiental e cativação de públicos.

Em última análise, no âmbito desta dissertação importa reter que experimentações deste género são modos de envolvimento com causas ambientais, que nos levam a pensar sobre como os afetos gerados no seio de ambientes sociais são críticos para a efetividade

³⁶ Ver nota 17.

³⁷ Nota de tradução: a autora usa os termos «creaturing» *data*.

dos dados. A sua eficácia ambiental pode ser contestada³⁸, mas à medida que estas práticas são postas em marcha, a “criaturação dos dados” potencia ambientes e atmosferas sociais que podem vir a ganhar relevância e força política, operando também no campo alargado do controlo social da ciência, da tecnologia e das atividades extrativistas.

1.3 — Teoria de Atmosferas

“weathering is formative – a ‘continuous metamorphosis’, (...) in which unending deterioration is also perpetual beginning. It is from their exposure to weather that beings draw from the medium the inspiration, strength and resilience to carry on along their lines. Weathering brings out their grain or texture, allowing them to bind in sympathy. It is where the whirl of the elements is turned into the spinning of the line, and where the tempest gives birth to time.” (Ingold, 2015, p. 71)

1.3.1 — Atmosferas afetivas

Encontrar obras que medeiam as forças e constituintes dos meios elementais, coloca questões sobre o nosso sentimento de presença, imersão e consciência do momento. Com obras atmosféricas ficamos retidos entre a sua meteorologia e a sua afetividade. Esta secção trabalha este duplo sentido de atmosfera como meio gasoso e estado de espírito, por forma a perceber como essa pode consistir, num plano estético, de imaginação e meio de experimentação artística e ativista.

O conceito de atmosfera tem sido discutido na confluência da teoria de arte e da estética, como uma forma de descrever afetos coletivos presentes num espaço e num tempo (Anderson, 2009, 2014b; Böhme, 2016a; McCormack, 2018). Dito de outra forma, como a qualidade perceptível de uma situação que emana de organizações particulares de pessoas, coisas, espaços e tempos (Bille et al., 2015)³⁹. Quando aplicado a afetos coletivos, o termo é, em larga medida, metafórico e resultado de uma “imaginação materialista” (Anderson, 2009, p. 78). A força da metáfora está em mobilizar qualidades da atmosfera meteórica, como a sua leveza, turbulência, dinamismo, contingência e envolvimento para descrever

³⁸ Gabrys insiste que mesmo os dados científicos por si não estão imunes a contestação e falta de eficácia, como é possível verificar na falta de verdadeira ação contra as alterações climáticas ou nos exemplos recentes de negacionismo climático e de vacinas, entre outros.

³⁹ O uso do termo é corrente tanto no discurso estético como no popular. Uma sala pode ter uma “atmosfera de cortar à faca”, significando uma tensão existente entre alguns dos seus ocupantes. Uma época pode ter uma atmosfera “elétrica” e vibrante. Além disso, vários outros termos são-lhe equiparáveis, como sejam disposição, tom, aura, ambiência (Thibaud, 2011), *genius loci* ou *Stimmung*. *Stimmung* é o termo cunhado por Martin Heidegger para descrever a disposição humana como a forma pela qual o ser está sintonizado consigo e com o mundo (Withy, 2021). Ver Bille et al. (2015) para uma discussão sobre as raízes históricas desta interpretação de atmosfera ou ambiência e a sua relação com o termo cunhado por Heidegger.

espaços-tempo afetivos (McCormack, 2018, p. 6), que são “intensidades vagas e indefinidas, que excedem a explicação racional e a figuração clara” (Anderson, 2009, p. 78). Segundo Derek McCormack (2018, p. 413), as atmosferas são “uma qualidade de imersão ambiental que se regista *nos* e *através dos* corpos sensíveis, enquanto se mantêm difusas, no ar, etéreas”. Todavia e em simultâneo, as atmosferas possuem qualidades notáveis pela forma como afirmam a sua singularidade, e.g., tensa, serena, elétrica, melancólica, sublime, animadora (Anderson, 2014b, p. 140). Ou seja, mesmo sendo difusas, um “algo mais” que paira no ar como uma envolveria vaga, estas são, ainda assim, “palpáveis” (McCormack, 2018), pois são sentidas intensamente e, eventualmente, partilhadas pelos corpos que circundam.

De acordo com o filósofo alemão Gernot Böhme, as atmosferas constituem uma nova estética e teoria geral de percepção (Böhme, 2016a). Este quadro analítico pretende ultrapassar a estética centrada no juízo do gosto e na análise de objetos estéticos e obras de arte, para se focar em reabilitar o sentido clássico de *aestesis*, ou seja, da experiência sensorial. Na base está, também, a tentativa de incluir a perspectiva estética na ecologia, que tende a ser descartada nas análises políticas e científicas dos problemas ambientais (Böhme, 2016a). Neste sentido, a atmosfera afetiva e sensorial de um certo ambiente é responsável por como nos sentimos nele e, por isso, é parte integrante das relações ecológicas que estabelecemos com os espaços que habitamos.

Embora as atmosferas afetivas sejam ubíquas — ou seja, existem sempre como modo de sentir um espaço —, há vários campos da atividade humana em que a sua produção é um aspeto central da prática, tais como a arquitetura, a publicidade, a cenografia, a música e as artes sónicas, entre outras (Böhme, 2000, 2016a). Pode parecer “paradoxal” (Bille et al., 2015, p. 3) tentar produzir atmosferas, dada a sua qualidade vaga e difusa, mas os profissionais das áreas “atmosféricas” fazem-no para suscitar um dado sentido de ocasião, valor de experiência ou para condicionar os movimentos e atividades das pessoas, como acontece em espaços comerciais ou de trabalho (Bille et al., 2015; Edensor & Sumartojo, 2015; McCormack, 2018, p. 20).

Por outro lado, todos nós participamos em atmosferas mundanas no dia-a-dia, que ocorrem como simples atos de habitar um local. Seja na nossa casa, com práticas de iluminação e decoração, seja no tomar parte de atividades comunitárias extraordinárias e festivas (Edensor & Sumartojo, 2015). Assim, as atmosferas veiculam e/ou possuem um poder relevante para moldar a habitação sensorial de um local. Como tal, o seu estudo tem sido considerado muito importante na análise das dinâmicas sociais de diferentes espaços (Bille et al., 2015; Edensor & Sumartojo, 2015; Paiva & Sánchez-Fuarros, 2021; Thibaud, 2018).

1.3.2 — O “Mundo do tempo” e o contínuo material-afetivo das atmosferas

Vários autores enfatizam que as atmosferas não são apenas estados de espírito (Engelmann, 2020; Ingold, 2015; McCormack, 2008; Simpson, 2019). Estes autores defendem que o seu potencial está, precisamente, em ligar o afetivo com o meteorológico, o subjetivo e o sensível com o material.

Nesta corrente de pensamento, o conceito de “mundo do tempo”⁴⁰ de Tim Ingold tem sido especialmente influente. Ingold defende que não existimos apenas numa superfície onde relações entre objetos e sujeitos acontecem. Em vez disso, relembra-nos que estamos imersos num meio turbulento, de fluxos e devires, que é a própria condição que permite que tais interações ocorram e que, conseqüentemente, é essencial para a nossa existência como seres sencientes. Atravessamo-nos e somos atravessados pela atmosfera. Da escamação da pele, ao sol ameno de inverno que nos anima; da expiração de dióxido de carbono à inalação de poluição do ar ou micróbios, estamos em constante troca material-afetiva com este sistema de suporte à vida.

Para Ingold, o tempo — «weather» —, i.e., a condição básica de estarmos expostos aos elementos e às suas variações que “temperam” não só a nossa vida, como todas as inter-relações no meio, é aquilo que fica excluído de muitas aceções científicas e filosóficas da atmosfera. A etimologia da palavra *temper*, do latim, e a sua difração em várias outras relacionadas com o tempo — e.g., temperatura e temperado — e com estados de humor — e.g., temperamento —, serve, para o autor, como justificação para encarar o tempo e o estado de espírito como unificados na nossa experiência.

Claro que, neste ponto, podemos questionar de que forma a atmosfera material é afetada pelos nossos “temperamentos”. A atmosfera meteorológica não é meramente uma força natural associal; tal suposição ignoraria todas as formas pelas quais esta é influenciada acidental e intencionalmente pelo mundo humano. Das alterações climáticas à poluição do ar nas cidades, as mudanças na atmosfera que mais nos preocupam atualmente são expressões de sistemas de organização e atividade social, e.g., paradigmas económicos, de transporte e uso de energia, planos de mobilidade, planeamento urbano, agnotologia⁴¹, etc. Não podemos, por isso, olvidar como estes processos estão sujeitos às atmosferas afetivas

⁴⁰ Nota de tradução: «weather-world» na versão original inglesa. Note-se a semelhança entre «weather-world» e o conceito de «life-world» de Husserl (1970), i.e., o mundo como experienciado subjetivamente, donde Ingold certamente retira a sua inspiração.

⁴¹ Agnotologia é o estudo — ou conjunto de atos — da criação e propagação intencional e cultural de ignorância e dúvida.

que são desenvolvidas entre grupos de decisores, especialistas, indústrias, cidadãos e ativistas.

Concluindo, interessa-me a noção de atmosfera material-afetiva ou meteorológica-afetiva e a noção de “mundo do tempo”, pois considero-as produtivas para refletir sobre o ato de criar expressão a partir de dados da atmosfera meteorológica — informação que é dinâmica, material, social e caracteriza a nossa exposição ao mundo.

1.3.3 — Ambiguidade e dinamismo das atmosferas

O “algo mais” para que as atmosferas remetam não diz respeito apenas a sentimentos ou emoções que estão para lá das palavras. Refere-se, também, à sua ambiguidade ontológica. Caracteriza-se por uma tensão entre termos opostos, como presença e ausência, sujeito e objeto/sujeito, ou definido e indefinido (Anderson, 2009). Böhme (2016a, p. 19) explica-o da seguinte forma:

“(...) as atmosferas são (...) concebidas não como livremente flutuantes, mas, pelo contrário, como algo que provém e é criado por coisas, pessoas, ou pelas suas constelações. Concebidas desta forma, as atmosferas não são nem algo objetivo, ou seja, qualidades possuídas pelas coisas, e, no entanto, são algo semelhante a uma coisa, pertencente à coisa no sentido em que as coisas articulam a sua presença através de qualidades — concebidas como êxtases. Nem são as atmosferas algo subjetivo, por exemplo determinações de um estado psíquico. E, no entanto, são algo subjetivo; pertencem a sujeitos na medida em que são detetados na presença corporal por seres humanos e esta deteção é ao mesmo tempo um estado corporal de ser um sujeito no espaço”. (Tradução do Original)

De acordo com esta interpretação, as atmosferas são emocionais e espaciais, relativas a uma experiência de presença, e problematizam a dicotomia sujeito-objeto, pois não se pode dizer que pertençam exclusivamente a um ou outro, existindo, antes, como um interstício entre os dois.

Bille et al. (2015) fazem questão de enfatizar que as atmosferas estão sempre localizadas entre experiências e ambientes. São “uma experiência espacial de estar-se sintonizado⁴² *no e pelo* mundo material” (Bille et al., 2015, p. 5). Afirmam-se tanto por um sentimento de presença e atenção num espaço configurado por objetos e eventos, como por um processo no qual os objetos radiam as suas qualidades e se fazem sentir, uma ocasião em que nos afetam e situam no momento. Se as suas tensões constitutivas as podem tornar difíceis de “capturar” e descrever, isto indica que “são um fator de conexão, que liga pessoas, lugares e coisas, muitas vezes de forma imprevisível” (Bille et al., 2015, p. 3).

⁴² Nota de tradução: «Attuned», na versão original em inglês.

Há que fazer duas ressalvas aqui. A primeira é que, mesmo existindo como experiência sensível, a atmosfera omite sempre algo de si aos corpos que nela estão imersos, e isso é uma parte integrante da sua sedução (McCormack, 2008). Há sempre aspetos que não são sentidos de forma consciente. Por exemplo, podemos estar imersos em radiação ionizante sem a sentir.

A segunda ressalva é que as atmosferas nem sempre conduzem a uma maior ligação, atenção e partilha de experiência. Tais processos de envolvimento implicam a “capacidade para se retirar, para perfurar e para modificar exposição a atmosferas que podem tão facilmente funcionar para entorpecer, distrair, ou ocluir como podem para revelar, tornar palpável ou amplificar a atenção” (McCormack, 2018, p. 8). Exemplos como o dispositivo “Mosquito” ou a “Muzak” demonstram este tipo de atmosferas repelentes ou sedativas, pois condicionam e controlam o acesso, uso, ritmos e consciência dos espaços públicos e de trabalho⁴³. É também importante realçar que, embora exista um processo de subjetivação no decurso do sentir e integrar de uma atmosfera, esta nunca é recebida por corpos neutros. Os corpos trazem consigo memória e condicionamentos culturais, diferentes expectativas sobre modos de estar e habitar um local, que influenciam a interpretação da ambiência envolvente e são, por isso, parte da constelação de elementos que coproduz os seus diversos sentidos (Anderson, 2009; Sumartojo & Pink, 2018).

A turbulência e o dinamismo das atmosferas estão relacionados com esta contínua aquisição pela experiência. Transitam constantemente entre o sujeito e o objeto, entre as qualidades e materialidades que destes emanam e os sentimentos situados histórica, pessoal e culturalmente, que as completam (Anderson, 2009). São instáveis em função da transformação dos seus elementos, existindo na intersecção de espaço, tempo e experiência. Consequentemente, a atmosfera pode assumir novas qualidades afetivas com o transitar ou transformar de um dos seus constituintes, ou o movimento e posição relativa dos corpos no espaço (Bille et al., 2015). Elementos do “mundo do tempo”, como a luz, a temperatura ou a paisagem sonora, e elementos da esfera humana como valores morais e culturais, podem

⁴³ O “Mosquito” é um dispositivo utilizado para afastar adolescentes de lojas e parques à noite, numa defesa contra alegados vandalismos. O aparelho emite zumbidos muito agudos, que apenas os adolescentes conseguem ouvir, enquanto as pessoas mais velhas são, em geral, imunes, pois o envelhecimento causa perda de audição nas frequências mais altas. Por esta razão, são usados por comerciantes e organizações municipais para prevenir que os jovens se reúnam nas zonas públicas (Winberg, 2019). Por seu lado a Muzak é uma forma e sistema de música ambiente desenvolvida na primeira metade do século XX e usada como tecnologia para distrair e condicionar ritmos nos espaços de consumo e nas linhas de montagem de fábricas. Esta sua função de modulação afetiva contribuía, simultaneamente, para um ambiente de produtividade e de inibição das faculdades críticas dos sujeitos e da sua consciência dos problemas estruturais inerentes às atividades em causa — e.g. consumismo, exploração e alienação no trabalho (LaBelle, 2010, pp. 170–179).

alterar-se significativamente produzindo novas atmosferas a partir das já existentes. Acima de tudo, as atmosferas não produzem interpretações unívocas. Estas podem mesmo ser concorrentes e antagónicas, divergindo de acordo com as perspetivas de diferentes públicos (Paiva & Sánchez-Fuarros, 2021). Não sendo possível prever totalmente os significados que serão atribuídos a uma atmosfera, torna-se claro que essas também não são plenamente controláveis. Assim, apenas é possível criar as condições para que, pelo menos, ocorra uma experiência atmosférica (Edensor & Sumartojo, 2015).

Estas características inerentes à noção de atmosfera — dinamismo, ambiguidade, relação entre experiência individual e meio-ambiente interessam-me conceptual e operativamente. São fundamentais para o modo como tento procurar uma ligação entre o intuitivo e o cognitivo, trabalhando com um sentimento de encantamento que surge da tensão entre aquilo que está para lá do sentir e aquilo que se torna acessível através dos meios técnicos.

1.3.4 — “Coisas atmosféricas”

Como demonstrei acima, as atmosferas implicam um condicionamento afetivo, ganham realidade e transformam-se através de um processo de atenção e sintonização do corpo com a sua envolvimento (Anderson, 2014b). Contudo, esta sintonização não se limita à capacidade do corpo humano para sentir e situar-se. Estende-se a não-humanos, técnicas e tecnologias de sensorialidade que podem cooperar com os sentidos nesse processo. Neste sentido, o conceito de Derek McCormack (2018) de “coisas atmosféricas” é útil para se pensar os processos pelos quais as atmosferas, as suas condições e variações se podem tornar mais tangíveis. McCormack define “coisas atmosféricas” como “objetos, processos, ou eventos que de alguma forma revelam, geram, ou intensificam a condição de se estar envolvido pela força elemental das atmosferas”⁴⁴ (McCormack, 2018, p. 10). Associado a este conceito estão outros dois termos que são fundamentais ao materialismo atmosférico de McCormack: envolvimento e sedução.

Por envolvimento, o autor quer dizer duas coisas. A primeira é a condição de estar imerso num meio elemental. Trata-se de uma condição que pode ser sentida por entidades humanas e não-humanas — vivas ou inertes⁴⁵, mas apenas parcialmente, pois as

⁴⁴ O uso do termo “coisa” não é arbitrário nem coloquial. McCormack pretende refletir sobre as implicações dos elementos — e.g., ar, água — e de experiências que os inquiram ou lhes dão expressão para mediar uma síntese entre a ontologia das coisas, realismos especulativos — como a «object-oriented ontology» — e materialismos que têm como fundamento uma noção processual da realidade — e.g. a ontologia processual de Whitehead.

⁴⁵ Por exemplo, McCormack dá o exemplo de como uma folha de papel é capaz de sentir a humidade da atmosfera ao ficar enrodilhada. Num caso mais próximo desta dissertação, um sensor

“atmosferas nunca se revelam totalmente e daí a sua sedução⁴⁶”. A segunda diz respeito a um processo de formação de uma coisa distinta da atmosfera na qual está imersa, mas sem se tornar descontínua com esta. É um processo que gera uma entidade dentro do meio elemental e que é capaz de revelar condições e variações deste, ou seja, senti-las.

O exemplo de “coisa atmosférica” com que McCormack trabalha nas suas especulações é o balão. O balão figura como um objeto suspenso e envolvido pela atmosfera. Permite-nos observar as correntes do ar, pode ser usado no estudo do clima, e pode facultar-nos, no caso do voo aerostático, uma experiência fenomenológica das camadas superiores da atmosfera. Também é um elemento icónico em festas, memoriais, celebrações políticas e desportivas, tornando palpável as atmosferas de ocasião. Em todo o caso, o balão resulta dum processo técnico de fabricação, do “dobrar de uma membrana” (McCormack, 2018, p. 5), que capta parte do ar, ou possui uma atmosfera alterada com recurso a gases. Nisso, cria uma entidade distinta na atmosfera capaz de sentir variações desse meio.

Por seu lado, a noção de sedução relaciona-se com a ambiguidade da atmosfera. Como indicado anteriormente, para McCormack as atmosferas nunca se revelam totalmente às entidades por elas envolvidas. Precisamente por desafiarem a compreensão e totalização das suas condições e afetos, são caracterizadas por uma “sublimidade quotidiana”, que desperta constantemente o pensamento e a imaginação numa procura de sentido. Ademais, a sedução elemental desperta uma procura por diferentes modos e possibilidades técnicas de sentir e detetar as forças e constituintes da atmosfera, tornando-as úteis para diferentes propósitos científicos, tecnológicos, políticos e comerciais (McCormack, 2018, pp. 204–205).

Em suma, as atmosferas propõem desafios à cognição, expressão e imaginação (Engelmann, 2020) e, por isso, apelam à criação ou utilização de dispositivos que tornam a sua meteorologia-afetividade mais palpável. Com efeito, os dispositivos que realizam coisas atmosféricas e experiência artísticas que exploram o atmosférico — como as realizadas no contexto desta dissertação — têm um grau de encantamento e atração por darem substância a afetos que pairam no ar e revelarem propriedades e qualidades da atmosfera física que de outra forma não poderiam ser apreendidos. Nisto, intensificam ou criam a sensação de se estar envolvido pelo meio (McCormack, 2018). Interessa-me que, no seu duplo sentido, a noção de envolvimento é produtiva para refletir sobre como se gera uma diferença na

de qualidade do ar é capaz de sentir poluição quando essa se liga a uma sua componente eletroquímica — e.g. um pequeno filamento de cerâmica com óxido de metal — e altera a sua resistência elétrica.

⁴⁶ Nota de tradução: o autor usa a expressão «allure» na versão original em inglês, que opto por traduzir como sedução. «Allure» poderia ser traduzido como atração, contudo, McCormack refere-se a algo de sensual, misterioso, a uma tentação que nos chama. Por esta razão optei pelo termo sedução.

atmosfera que pode ser sentida e/ou uma diferença em relação à atmosfera — uma coisa, entidade, fenómeno — que pode sentir as suas variações.

Interessa-me, também, como afirmam Edensor e Sumartojo (2015, p. 259), que a manipulação atmosférica tanto pode tornar um sítio familiar mais estranho, como reforçar o sentimento de lhe pertencermos. Este encantamento do lugar pode dirigir a atenção para aspetos que anteriormente eram negligenciados ou não valorizados. Nisto, ao modificarem as nossas perceções e experiências da atmosfera, podem aumentar a nossa consciência estética e política do meio (Engelmann, 2020).

Capítulo 2 — Técnicas utilizadas nos trabalhos práticos

2.1 — Sonificação por Mapeamento de Parâmetros

Como indicado na Introdução, o mapeamento de parâmetros é o método de sonificação mais comum. Consiste em estabelecer uma relação entre uma ou mais variáveis de dados e um ou mais parâmetros acústicos, de forma que a informação e os padrões presentes nos dados se percebam através do som. Além do exemplo, já referido, da sonificação de temperatura em frequência do som, um outro caso poderia ser a sonificação da velocidade do vento, em que a variável velocidade é mapeada ao parâmetro de corte de um filtro passa-baixos⁴⁷ aplicado a ruído branco: à medida que a velocidade aumenta, a frequência de corte do filtro também aumenta — sendo o inverso também verdade —, resultando num som cada vez mais agudo e ruidoso — mais grave no inverso. Tal sonificação teria, também, a vantagem de se aproximar ao som real do vento e, dessa forma, ser mais facilmente compreendida pelos ouvintes.

Graças à multidimensionalidade do som, este método é especialmente adequado para a sonificação de conjuntos de dados com múltiplas variáveis (Grond & Berger, 2011), como acontece com os trabalhos práticos realizados no âmbito desta dissertação.

Este tipo de sonificação consiste, fundamentalmente, em definir-se adequadamente a função de transferência e a tipologia de mapeamento.

A função de transferência define a correspondência entre os dados ou características desses — e.g., um valor limite que poderá ser sinalizado quando ultrapassado — e parâmetros do domínio do sinal ou da percepção auditiva. Essencialmente, passa pela definição das variáveis que se consideram relevantes nos dados, pelo estabelecimento da sua gama de valores — e.g., máximo e mínimo, percentis —, e pela criação de correspondências com um ou mais parâmetros acústicos, cada qual com uma gama de valores própria. O Quadro 1, mostra como se pode esquematizar e planear tal correspondência.

⁴⁷ O «cut-off» de um «low-pass filter», ou LPF, em inglês.

Quadro 1 — Função de transferência de uma sonificação⁴⁸

Característica dos Dados		Parâmetro de Síntese de Som
Característica_dados1[_,_]	→	início [10ms, 50ms]
Característica_dados2[_,_]	→	frequência [100 Hz, 1000Hz]
Característica_dados3[_,_]	→	ganho [-18 dBV, 0 dBV]
Característica_dados4[valor limite]	→	ativação de um som específico

Em cada campo do lado esquerdo do quadro é identificada uma dada variável e no interior dos parêntesis retos [_,_] a gama de valores que se pretende sonificar. Do outro lado são apresentados o parâmetro de síntese sonora correspondente e o intervalo de valores dentro do qual pode variar. Este último é balizado de forma a representar adequadamente a evolução dos dados ao longo do tempo.

Por exemplo, a função de transferência de um conjunto de dados sobre temperatura e velocidade do vento poderia ser esquematizada de acordo com o disposto no Quadro 2:

Quadro 2 — Exemplo de uma função de transferência⁴⁹

Característica dos Dados		Parâmetro de Síntese de Som
Temperatura [-20°C, 50°C]	→	Nota MIDI [28, 100]*
Velocidade do Vento [0m/s, 200m/s]	→	Cut-off Filtro passa baixos [100hz, 3000hz]

*este intervalo corresponde a seis oitavas da nota Mi

Neste exemplo, uma temperatura de -20°C corresponde à nota MIDI 28 — Mi 1, 41.2Hz — e uma temperatura de 50°C à nota MIDI 100 — Mi 7, 2647Hz. Todas as temperaturas intermédias correspondem a notas MIDI entre 28 e a 100, que aqui são mapeados às 12 notas da escala cromática. Os 72 valores nesse intervalo podem ser mapeados de forma contínua, de modo a corresponder à escala cromática ao longo de seis oitavas. Também se podem escolher outras escalas com base em Mi, como a escala diatónica ou pentatónica. Nestes casos, a resolução, i.e., o número de notas a tocar varia em função da escala. Algumas escalas possuem mais notas — e.g. a cromática tem 12 tons — e como tal são capazes de representar uma maior diversidade de valores no intervalo de dados. Outras, como a escala pentatónica possuem apenas algumas notas — neste caso cinco — e

⁴⁸ Adaptado de Grond & Berger (2011).

⁴⁹ Idem.

tendem a representar bandas mais largas de valores, perdendo-se precisão. Contudo, os resultados de uma sonificação com recurso a estas escalas podem ser mais musicais e agradáveis de ouvir para o público mais abrangente do que no caso de escalas cromáticas.

A relação entre o número de variáveis extraídas dos dados e o número de parâmetros de síntese sonora denomina-se “topologia de mapeamento” (Grond & Berger, 2011). Nos exemplos dos Quadro 1 e Quadro 2 cada variável corresponde a um parâmetro de síntese; trata-se de mapeamentos um-para-um. Alternativamente, podem criar-se mapeamentos um-para-muitos e muitos-para-um⁵⁰.

O mapeamento um-para-um é o mais simples de realizar, mas só pode ser aplicado a parâmetros do domínio do sinal — e.g. frequência, ganho, duração, envelope —, pois os parâmetros do domínio da percepção — e.g. volume, timbre, brilho, rugosidade — são interdependentes.

O mapeamento um-para-muitos implica que a variável a ser sonificada seja mapeada a vários parâmetros de som. Por esta razão, esta técnica é também conhecida por mapeamento divergente. Este tipo de mapeamento é bastante útil para representar sonificações com simulações de instrumentos idiofones — e.g. por modelação física⁵¹ —, em que múltiplas características sonoras variam ao mesmo tempo, quando se varia por exemplo a quantidade de energia que recebem. Adicionalmente, são particularmente relevantes quando se quer reforçar a percepção da sonificação ou quando se pretende que as variações sejam mais pronunciadas.

Quadro 3 — Mapeamento um-para-muitos

Característica dos Dados		Parâmetro de Síntese de Som
Velocidade do Vento [0ms/s,200m/s]	→	Cut-off Filtro passa baixos [100hz, 3000hz]
Velocidade do Vento [50ms/s,200m/s]	→	Q (ressonância) FPB [1, 0.1]

No exemplo do Quadro 3 mostra-se como a sonificação de velocidade do vento se pode tornar mais tangível com uma variável adicional, o fator Q do filtro passa baixos. À medida que a velocidade do vento aumenta, a frequência de «cut-off» do filtro também aumenta e o som torna-se mais brilhante. A partir dos 50m/s a sonificação começa também a

⁵⁰ Respetivamente, «one-to-one», «one-to-many» e «many-to-one», em inglês.

⁵¹ Na síntese por modelação física é utilizado um algoritmo que emula a física do instrumento e a técnica pelo qual é tocado. Trata-se de um tipo de síntese bastante atraente para músicos de computador, pois tende a ter um som mais natural, mais próximo do instrumento real.

ser caracterizada por um aumento progressivo na amplitude da frequência de corte — o fator Q —, tornando essa mais pronunciada e, conseqüentemente, a variação da velocidade mais saliente.

Inversamente, o mapeamento muitos-para-um, ou mapeamento convergente, implica mapear múltiplas variáveis de dados a um só parâmetro de síntese. De acordo com alguns autores, este tipo de estratégia é mais comum no campo das novas interfaces musicais, em que, por exemplo, o uso de gestos — caracterizados por múltiplas variáveis — é importante para controlar a expressividade musical (Grond & Berger, 2011). Embora, neste campo, existam abordagens que geram complexidade de expressão através de mapeamentos um-para-um (Bongers & Harris, 2002).

Quando o objetivo de uma sonificação é tornar a relação de causa-efeito claramente perceptível, os tipos de mapeamento utilizados tentam relacionar forma com função de modo a representar adequadamente os dados. Outros aspetos a considerar são a “dimensão sonora” que será mapeada ao fenómeno, a “polaridade” dessa relação, a escala do mapeamento ou “dimensionamento”, a interferência entre sonificações concorrentes, a criação de “contexto” e a “agência” do utilizador.

Algumas dimensões sonoras, como a altura, mais grave ou aguda — o «pitch» na nomenclatura inglesa —, são mais adequadas do que outras para descrever certas variáveis, pois existe já uma expectativa criada pelos próprios ouvintes que as tornam mais eficazes. Por exemplo, a sonificação de valores de temperatura costuma ser considerada mais eficaz quando é mapeada a altura, enquanto a amplitude do som não é considerada uma dimensão eficaz (Grond & Berger, 2011) quando utilizada singularmente — pode, no entanto, como expliquei anteriormente, reforçar outra dimensão, através de um mapeamento um-para-muitos.

A “polaridade” diz respeito ao sentido de evolução da dimensão sonora relativamente ao sentido de evolução dos dados. Sonificações de temperatura são mais eficazes quando a altura sobe em relação direta com a subida dos valores de dados, e desce quando os últimos também descem. O mesmo sucede com o contador Geiger-Muller, em que a intensidade de radiação ionizante é representada por um aumento na densidade de cliques emitidos pelo dispositivo. Por outro lado, a representação de peso pode ser mais eficaz utilizando uma polaridade inversa, ou seja, quando o peso sobe o som torna-se mais grave (Walker, 2002). A questão da polaridade depende não só do fenómeno representado, que em si está relacionado com as expectativas dos ouvintes, como é função do contexto e do tipo de ouvinte — por exemplo, pessoas invisuais podem ter polaridades preferidas que nem sempre correspondem às de pessoas que veem (Walker, 2002).

Para que uma mudança numa série de dados seja compreensível auditivamente, é necessário determinar qual a quantidade de mudança na dimensão acústica mais apropriada para a veicular. Ou seja, é necessário fazer corresponder a gama de valores dos dados a uma gama de valores da dimensão acústica, naquilo a que se chama de “dimensionamento”⁵². Neste processo determina-se qual a quantidade de transformação necessária no som emitido que é mais adequada a transmitir a mudança nos dados e a facilitar a deteção de valores específicos de forma precisa pelo ouvinte. Por exemplo, para realizar a sonificação de valores de temperatura que variam entre 0 e 50 graus Celsius, um designer pode escolher como dimensão acústica a frequência do som. Neste caso, tem ao seu dispor toda a gama auditiva dos humanos — 20Hz - 20 000Hz —, contudo isso pode ser excessivo e impedir uma correta leitura nos extremos do intervalo. Assim, o designer pode dimensionar a gama de frequências do som para um intervalo no qual a audição humana seja mais sensível, por exemplo entre os 1000 Hz - 5.000 Hz. Outras opções envolvem usar notas musicais bem definidas ou escalas musicais. Há ainda que considerar como o mapeamento evolui. Podemos ter um dimensionamento linear, em que a evolução dos dados é acompanhada por uma evolução proporcionalmente direta na dimensão acústica. Em alternativa, podemos ter outros tipos de progressão na dimensão acústica, como por exemplo exponencial, logarítmica, quadrática, gaussiana, entre outras; que poderão eventualmente ser mais úteis à expressão sonora. No caso do dimensionamento exponencial, o tipo de progressão é lento para valores baixos e rápida para altos, pelo que se pode usar para dar maior destaque aos primeiros. O inverso sucede com o dimensionamento logarítmico — ver Figura 5.

Estas considerações podem ser importantes para a expressão de um dado som em função de uma dada variável. Por exemplo, um sensor de poluição pode produzir resultados de concentrações numa gama entre 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 1200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Esta é uma gama bastante ampla, contudo o poluente em causa pode, em termos ambientais, limitar-se a dígitos singulares ou na ordem das dezenas, ou tornar-se perigoso ainda dentro da primeira centena de valores. Assim, para que o ouvinte tenha uma melhor perceção da evolução destes dados na região em que mais importam, um dimensionamento exponencial pode ser mais útil do que um dimensionamento linear ou logarítmico.

⁵² Na terminologia inglesa costuma ser referido como «scaling».

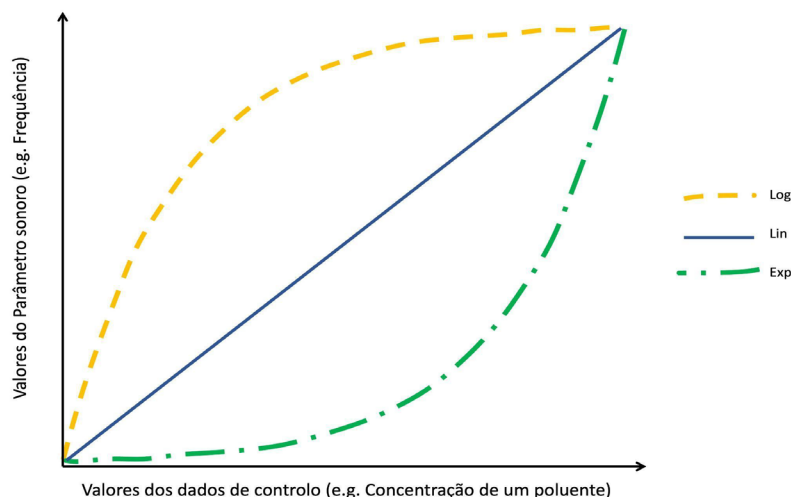


Figura 5 — Tipos de dimensionamento numa sonificação.

Quando se sonificam duas variáveis presentes num conjunto de dados — e.g. temperatura e humidade — existe o risco de os dois sons interferirem um com o outro ao nível da perceção. Para o evitar é necessário escolher dimensões acústicas que facilitem a “segregação auditiva”⁵³ (Bregman, 1990), tornando as duas variáveis claramente discerníveis. Por exemplo, diferenças de timbre⁵⁴ e separação estéreo⁵⁵ podem ser muito eficazes para ajudar o ouvinte a discriminar cada uma das variáveis sonificadas.

Outro aspeto ainda, o “contexto”, diz respeito a referências extra-sinal que permitem ao ouvinte ter uma noção mais clara dos valores representados. Por exemplo, marcas nos eixos de um gráfico visual assinalam valores de referência para facilitar ao leitor estimar um ponto de dados ou comparar dois pontos diferentes. Outro bom exemplo é uma sonificação de valores de humidade diária ao longo de um ano acompanhada por um tom constante que sinaliza o máximo — 100% —, permitindo assim estimar o valor sonificado por comparação. E outro exemplo ainda, o uso de cliques ou sons curtos para assinalar o fim de cada mês, pode auxiliar o ouvinte a especificar melhor a passagem do tempo.

Finalmente, a ter em conta em qualquer sonificação estão a natureza ou os modos da interação que será permitida ao utilizador — aquilo que habitualmente se denomina de “agência”. As sonificações podem ser interativas, i.e., modo de conversação ou «query based» ou não-interativas, i.e. modo-concerto ou «tour based» (Grond & Berger, 2011). Os tipos de

⁵³ A segregação auditiva é uma das componentes da Análise de Cenas Auditivas desenvolvida por Albert Bregman (1990). A segregação auditiva é o processo perceptual pelo qual o sistema auditivo agrupa e separa sons de diferentes fontes em ambientes que são perceptualmente significativos, como por exemplo a voz — especialmente num ambiente ruidoso —, um violino ou uma guitarra.

⁵⁴ Por exemplo, numa sonificação que recorra a emulações virtuais de instrumentos reais através de MIDI, uma das dimensões de dados pode ser alocada a um saxofone, e a outra a um piano.

⁵⁵ Por exemplo, separar dois sons ao colocar um todo à direita e o outro todo à esquerda.

interação disponíveis podem ir do simples controlo de reprodução — e.g. tocar, pausar, parar —, ao controlo de velocidade, de volume ou, nalguns casos, à possibilidade de inserir dados para gerar a sonificação. Segundo autores como Walker e Cothran (2003), a interação, por mais simples que seja, é essencial ao sucesso de uma sonificação, especialmente em fases de aprendizagem ou descoberta.

2.2 — Arduino

O Arduino é uma plataforma «open-source» usada na construção e prototipagem de projetos de eletrónica programável. Este é constituído por um hardware e um software para o controlar. O hardware é um microcontrolador, ou seja, uma placa de circuito programável que gere as ações do projeto, seja acender luzes, recolher e transmitir dados, controlar motores, e assim por diante. Existe uma grande variedade de placas desenvolvidas tanto pela Arduino como por outras empresas.

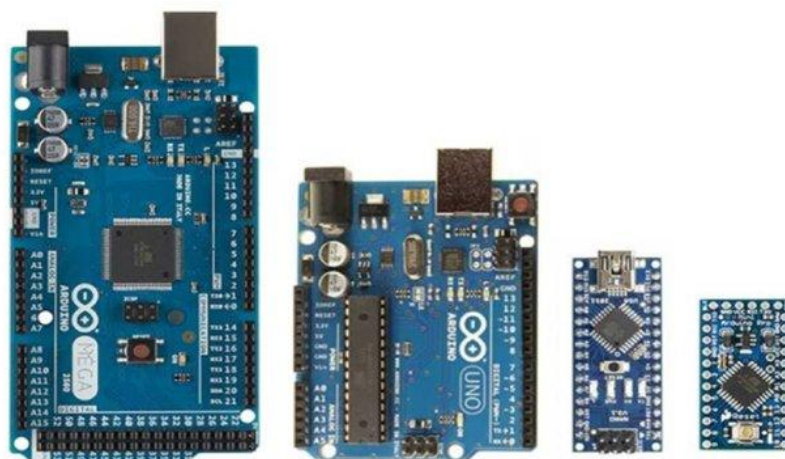


Figura 6 — Quatro das principais placas Arduino (esquerda para a direita): Mega, Uno, Nano e Pro mini.⁵⁶

Geralmente estas consistem num processador — e.g. Atmega — e num conjunto de entradas e saídas analógicas e digitais. Dependendo da placa, alguns possuem componentes adicionais. Por exemplo, a placa Arduino Mega possui um grande número de entradas e saídas analógicas e digitais, o que a torna mais apropriada para receber informação de vários sensores ou controlar vários motores, transístores ou ralés; a placa Arduino WiFi, inclui nela uma antena WiFi o que permite ligar esta à internet.

⁵⁶ Fonte da imagem: Kumar (2022)

A razão pela qual optei por este microcontrolador nos instrumentos aqui desenvolvidos, prende-se com a sua acessibilidade técnica e económica, assim como com a sua forte compatibilidade com todos os sensores utilizados.

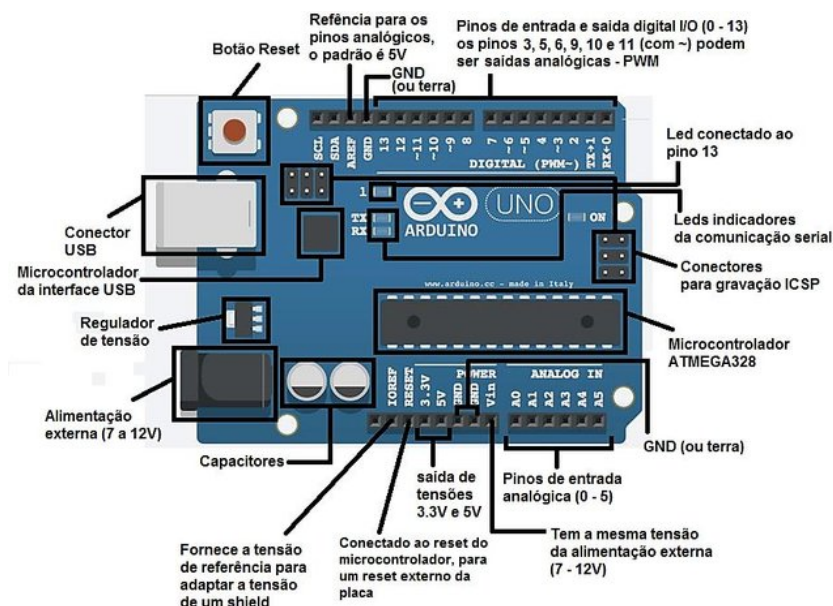


Figura 7 — Componentes de uma placa Arduino⁵⁷

O software é um IDE — ou um «Integrated Development Environment» — que permite programar o Arduino em qualquer computador pessoal. A linguagem de programação utilizada é uma simplificação de C++, tornando todo o ambiente mais acessível. Uma vez elaborado o programa que se quer correr no microcontrolador, este pode ser carregado para a placa através do IDE e de uma ligação USB com o computador.

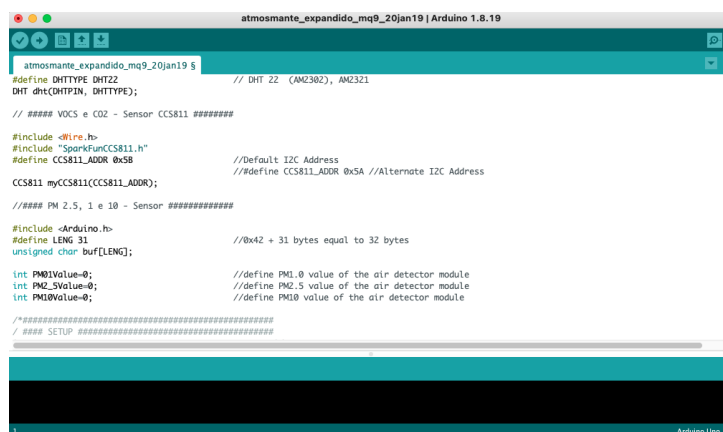


Figura 8 — O IDE Arduino

⁵⁷ Fonte da imagem: Dorneles (2016)

2.3 — SuperCollider

O SuperCollider 3, doravante referido como SC3, é um software de livre acesso, que possibilita a síntese e processamento de sinal, assim como organizar e estruturar composições com recurso a programação. Nesta dissertação, utilizei-o apenas para compor as sonificações das duas versões do *Atmosmancer*.

O software inclui três componentes fundamentais: um servidor de áudio em tempo real, o «scsynth», uma linguagem de programação, a «sclang» e um IDE que serve de editor para a «sclang» (*SuperCollider*, sem data).

O «scsynth» é o motor de áudio desta plataforma, assim como um meio de análise e processamento. Na base do seu funcionamento estão os UGens, ou «Unit Generators». Os UGens são unidades pré-programadas em C++ pelos criadores e pela comunidade de utilizadores da plataforma, que permitem a criação de som, análise e processamento do sinal. Por exemplo, existem UGens para produzir som — e.g. osciladores de ondas sinusoidais ou triangulares, entre outras —, para analisar um sinal sonoro, para gerar números aleatórios, para efetuar processamento granular de amostras áudio e, ainda, para fornecer um controlo multicanal sobre a espacialização, com o qual é possível criar instalações de som «surround».

A «sclang» é uma linguagem própria do programa, que comunica com o motor de som através de «Open Sound Control», ou OSC. Permite criar composições e sequências algorítmicas, controlar os UGen e os novos sintetizadores digitais que programamos. Permite ainda a criação de interfaces visuais, a comunicação com hardware externo como controladores MIDI, e realização de música em rede.

Esta linguagem é do tipo «object-oriented», querendo isto dizer que as entidades no interior do programa são consideradas objetos singulares que podem ser controlados através de mensagens. Por exemplo, o comando *SinOsc.ar()*, recorre ao UGen *SinOsc* para criar um objeto que gera uma onda sinusoidal — i.e., um tom puro — com uma frequência pré-definida de 440 Hz, fase de 0 radianos e amplitude 1, ou seja, máxima. Por seu lado, o comando *SinOsc.ar(100, 0, 0.5)* cria o mesmo objeto com uma mensagem que lhe indica que tem a frequência de 100 Hz, fase de 0 radianos e uma amplitude de 0,5, ou seja, metade da amplitude máxima.

Por fim, o IDE do SC3 permite editar os nossos programas utilizando a linguagem «sclang».

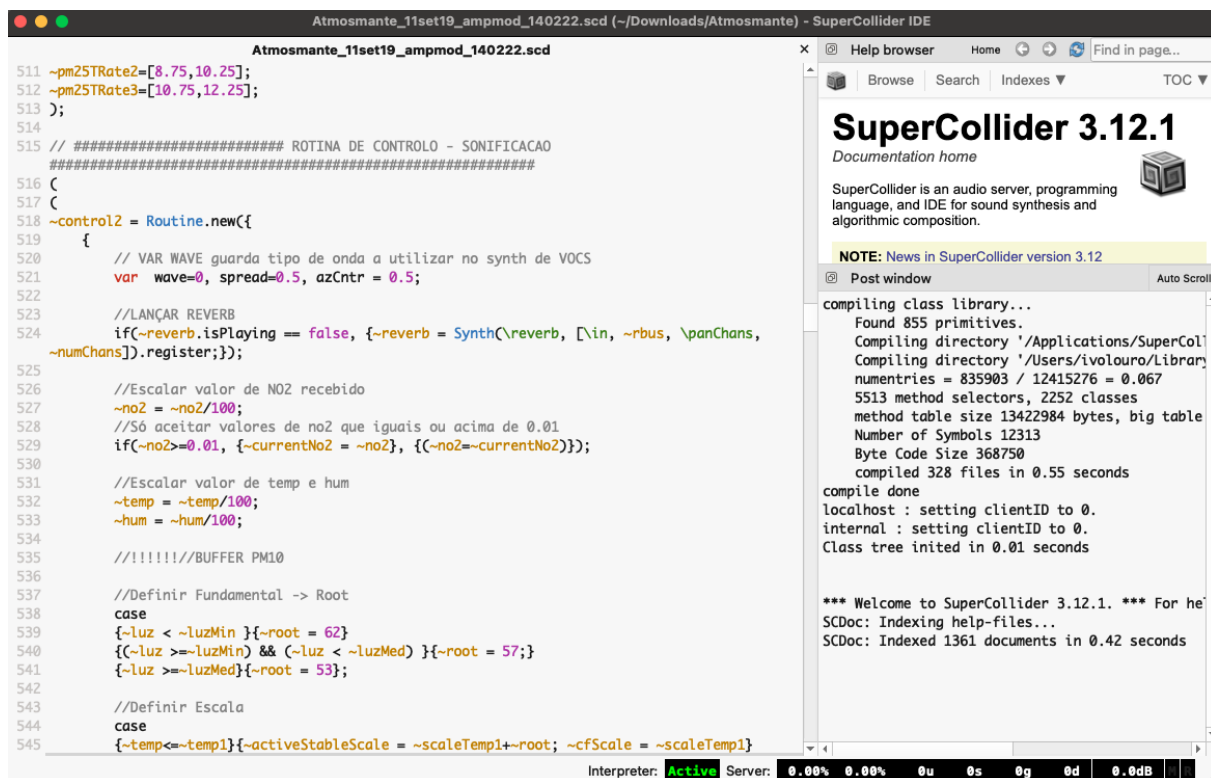


Figura 9 — IDE do SuperCollider, versão 3.12.1

Através do Arduino é possível usar sensores para controlar parâmetros de som programados no SC3. A comunicação entre o Arduino e o SC3 é possível por comunicação de porta de série. No *Atmosmancer*, a transmissão é feita em ASCII⁵⁸, pelo que foi necessário introduzir uma rotina que descodificasse a informação para valores numéricos (Fieldsteel, 2017).

2.4 — Métodos de síntese de sonora

Os principais métodos de síntese sonora utilizados para os trabalhos de som digital neste projecto de Mestrado são a subtrativa, granular e de modelação física.

A síntese subtrativa consiste em esculpir um som ao retirar — filtrar — frequências que não interessam. Por norma, um sintetizador de síntese subtrativa utiliza os seguintes componentes: fonte sonora ou oscilador, filtro, amplificador, gerador de envelope e oscilador de baixa frequência ou LFO — do inglês «low frequency oscillator».

O oscilador consiste numa fonte sonora rica em frequências harmónicas ou em ruído. Os principais parâmetros do oscilador são o tipo de onda usado — quadrada, dente de serra, triangular, ou sinusoidal — e a frequência, que irá corresponder à nota tocada. O tipo de onda

⁵⁸ ASCII, ou American Standard Code for Information Interchange, é um protocolo de encriptação para comunicação eletrónica.

utilizada influência a quantidade de frequências disponíveis e, por consequência, o timbre do som. Uma onda dente de serra tem harmónicos pares e ímpares, pelo que é uma onda muito rica, com um som mais brilhante e abrasivo. Uma onda quadrada é caracterizada por ter apenas harmónicos ímpares, ou seja, multiplicações ímpares da frequência fundamental, como 3, 5, 7, e assim por diante. Esta configuração de harmónicos confere à onda quadrada um som oco e sintético (Russ, 2008, p. 109). A onda triangular também tem apenas harmónicos ímpares, mas com amplitudes reduzidas, tornando-a mais melosa. Uma onda sinusoidal é um tom puro que contém apenas a frequência fundamental sem quaisquer harmónicos adicionais. Já o ruído consiste em formas de onda aleatórias que contêm uma mistura de todas as frequências em constante mudança (Russ, 2008, p. 107).

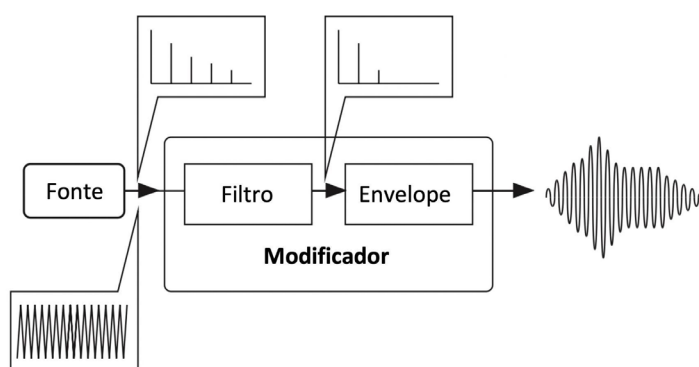


Figura 10 — Esquematisação da Síntese subtrativa típica⁵⁹

O filtro é a componente que modifica o som do oscilador ao seleccionar, atenuar ou retirar frequências específicas. Como tal, afeta o timbre do som. Os principais parâmetros do filtro são o tipo de filtro, a frequência central ou de corte e o seu fator de qualidade. Relativamente aos tipos de filtro, existem passa-baixos, passa altos e passa bandas. Um filtro passa-baixos, como o nome indica, deixa passar frequências graves e corta frequências altas, ou seja, quanto maior a frequência maior a atenuação realizada pelo filtro. O ponto a partir do qual a atenuação se começa a notar é a frequência de corte, ou «cut-off». Com a variação da frequência de corte, o som pode ficar mais grave ou mais agudo. Um filtro passa-altos funciona de forma inversa ao passa-baixos, ou seja, deixa passar frequências altas e filtra todas as que ficam abaixo da frequência de corte. O filtro de bandas deixa passar apenas uma gama de frequências em volta de uma frequência central, cortando todas as outras. O intervalo de frequências que passam pelo filtro é chamada de largura de banda.

A ressonância do filtro, o fator de qualidade ou fator Q, consiste numa acentuação da frequência de corte ou da frequência central. Assim, o som pode-se tornar mais saliente e

⁵⁹ Adaptado de Russ (2008, p. 107)

ressonante nessa zona. No caso de um filtro de bandas, se a largura de banda for muito reduzida e o fator Q muito alto, podemos obter um harmónico isolado da fonte sonora.

O amplificador é o componente que varia o volume ou forma do som. Ao usarem-se geradores de envelope, é possível modificar a dinâmica do som com o tempo. O envelope é constituído por diferentes secções do tempo de um som. Existem vários tipos, mas o mais comum é o de Ataque, Decaimento, Sustentação e Repouso ou ADSR. O ataque corresponde à parte inicial do som, entre o seu surgimento e o atingir da sua amplitude máxima. O decaimento é a secção seguinte, em que o som decai até ao volume de sustentação. A sustentação é a secção em que o volume do som se mantém inalterado durante algum tempo até alcançar a fase de repouso. Por fim, o repouso consiste no decaimento gradual do volume até ser zero. Por exemplo, um ataque sonoro rápido, cria um som percussivo. Enquanto um repouso lento, em que o som perde volume demoradamente, torna o som longo e etéreo

Por último, o LFO é um oscilador independente que pode ser usado para fazer variar qualquer um dos parâmetros acima mencionados, como a nota, a frequência de corte, a largura de banda ou a qualidade recíproca do filtro.

A síntese granular consiste em criar sons a partir de pequenos segmentos de som chamados de “grãos”. Cada grão é muito curto em duração, podendo ter apenas alguns milésimos de segundo — 10 - 100 milissegundos. É um tipo de síntese que pode ser produzido através de osciladores ou aplicando-a sobre samples. Este último processo foi aquele que aqui empreguei, sendo cada grão produzido uma pequena porção da sample de áudio original. Assim, os principais parâmetros deste tipo de síntese são o número de grãos num dado período, a sua frequência ou velocidade de reprodução da sample e amplitude. À semelhança da síntese subtrativa, cada grão pode ser alterado com recurso a diferentes envelopes de tempo e filtros. O tipo de timbres produzidos pode ser descrito como cintilante, dada a reprodução muito rápida dos grãos (Russ, 2008, p. 294-295).

A síntese de modelação física consiste em produzir som a partir de um modelo matemático do funcionamento de um instrumento real. Os sons deste tipo de síntese tendem a ser mais orgânicos e naturais, pois o modelo comporta-se como o instrumento, incluindo as suas contingências na produção de som. Como tal, o tocar de notas consecutivas tende a soar mais realista do que quando se utilizam samples que repetem sempre a mesma gravação.

Existem dois tipos de modelos que podem ser utilizados, nomeadamente, contínuos e impulsivos. Os contínuos replicam matematicamente o funcionamento de um instrumento que é continuamente tocado, como instrumentos de sopro ou friccionados com um arco, como o violino. Os impulsivos correspondem a instrumentos que são dedilhados ou percutidos. Neste projeto de mestrado, foi apenas utilizado um modelo impulsivo correspondente a

tambores, especificamente, um banco de ressoadores. Este consiste num conjunto de filtros ressoadores que, quando excitados com uma rajada rápida de ruído de amplo espectro, replicam os modos ressonantes de um dado objeto ou instrumento. Os principais parâmetros deste tipo de síntese são as frequências centrais de cada um dos filtros ressoadores, as suas amplitudes, os seus decaimentos e uma frequência fundamental na qual o instrumento irá soar (*Klank* | *SuperCollider 3.12.2 Help*, sem data; Russ, 2008, pp. 294–295)

2.5 — Sensores atmosféricos

Os instrumentos criados no âmbito desta dissertação — *Atmosmancer* e *Weather-World Harps* — fazem uso de sensores de poluição do ar e de condições ambientais como temperatura e humidade.

O Quadro 4 apresenta os sensores que fazem parte destas criações, tal como os parâmetros que estes medem, os limites de deteção e as fontes de informação utilizadas na construção e programação do dispositivo.

Quadro 4 — Sensores, parâmetros medidos e fontes de informação utilizados no desenvolvimento do *Atmosmancer*

Sensor	Parâmetros medidos	Limites de deteção	Fontes de instruções e bibliotecas de código	Instrumento
DHT22	Temperatura (°C) e Humidade (%)	-40°C - 80°C 0% - 100% de humidade relativa	Biblioteca Arduino: DHT22	<i>Atmosmancer</i>
PM2.5 SKU:SEN0177	Partículas PM ₁₀ , PM _{2,5} e PM _{1,0} (µg/m ³)	0 ~ 999 µg/m ³	(DFRobot, sem data)	<i>Atmosmancer</i> <i>Weather-World Harps</i>
Air Quality Breakout - CCS811	Compostos Orgânicos Voláteis (ppb)	0 ppb - 1187 ppb	(Taylor, sem data)	<i>Atmosmancer</i> <i>Weather-World Harps</i>
CJMCU-4541	Dióxido de Azoto e Monóxido de Carbono (ppm)	0,05 ppm - 10 ppm	(jo-seph, 2018/2020)	<i>Atmosmancer</i> <i>Weather-World Harps</i>
Resistência Fotocélula	Intensidade de Luz (valor bruto analógico em bytes)	0 - 1024	(lady ada & Tony Dicola, sem data)	<i>Atmosmancer</i>

Como referido anteriormente, os sensores utilizados em NIME e DMI podem operar de diferentes modos. Geralmente, uma das suas componentes internas sofre uma modificação no estado elétrico ou eletroquímico quando deteta o seu objeto, sendo esta mudança comunicada ao microcontrolador através de alterações da resistência e da voltagem. No *Atmosmancer*, operam dois modos de deteção: ótica e eletroquímica.

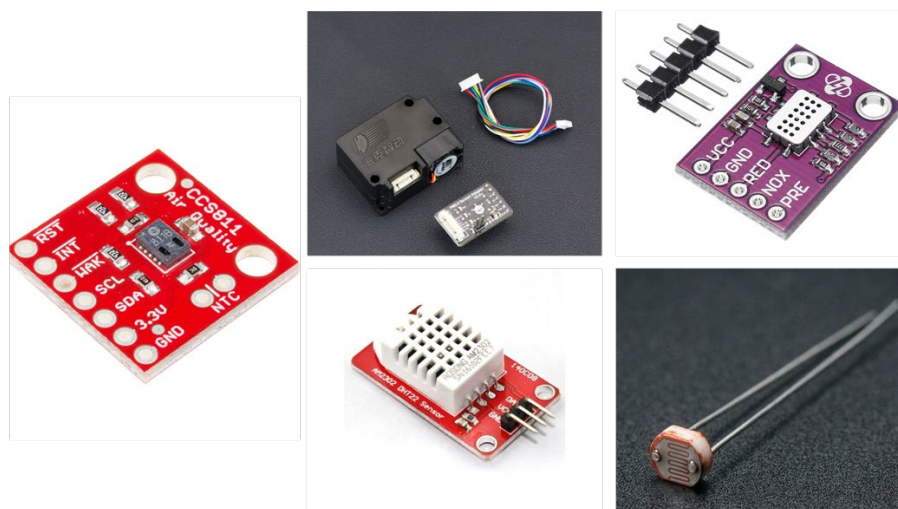


Figura 11 — Sensores atmosféricos utilizados no *Atmosmancer* e nas *Weather-World Harps*.⁶⁰

Esquerda: CCS811; Topo Centro: Sensor de Partículas; Topo Direita: CJMCU-4541; Centro Baixo: DHT22; Baixo Direita: Fotocélula.

O sensor de partículas PM utilizado neste projeto é de tipo ótico e funciona segundo um princípio de difração de laser, em que as partículas ao passarem por um feixe de luz no interior do invólucro do sensor provocam a sua difração. A dispersão resultante é captada por um sensor de luz — e.g. um díodo fotossensível—, cuja voltagem é modificada em função da intensidade da luz captada. A amplitude do sinal medido no microcontrolador indica o tamanho da partícula. As variações de voltagem associada a um tempo de leitura especificado são dados que o microcontrolador e os algoritmos apropriados usam para produzir um valor de

⁶⁰ Fontes das imagens:
<https://www.electrofun.pt/sensores-arduino/sensor-humidade-temperatura-dht22-am2302-modulo>
https://wiki.dfrobot.com/PM2.5_laser_dust_sensor_SKU_SEN0177
<https://www.sparkfun.com/products/retired/14193> ;
<https://www.arduino-tech.com/cjmcu-4541-mics-4514-carbon-monoxide-nitrogen-oxygen-sensor-co-no2-h2-nh3-ch4/>
<https://learn.adafruit.com/photocells/using-a-photocell>

concentração dos poluentes — ver Figura 12. Este é, então, o valor comunicado ao programa de informática musical — o SC3 — para controlar os diferentes parâmetros da sonificação de partículas poluentes.

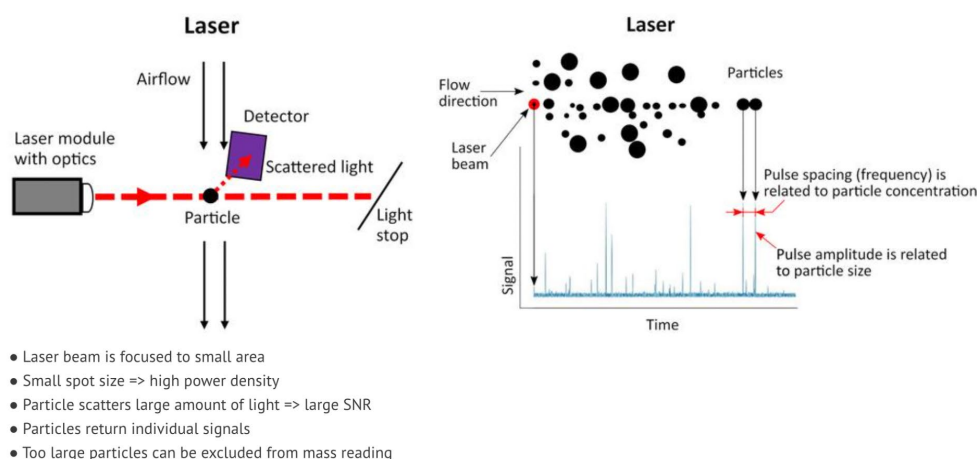


Figura 12 — Funcionamento típico de um sensor de partículas ótico a laser.⁶¹

Ao nível eletroquímico, temos os sensores de COV, NO₂, temperatura-humidade, e a fotocélula. Os sensores eletroquímicos baseiam-se numa reação entre o componente do ar que se quer medir e um elétrodo. Os sensores de COV e NO₂ possuem um sensor de óxido de metal. Os gases reagem com a superfície do sensor — são oxidados — e modificam a sua resistência, produzindo um sinal que é interpretado pelo microcontrolador. Por seu lado, o sensor de temperatura e humidade funciona com um condensador de polímero cuja capacitância⁶² é variável em função desses parâmetros. Finalmente, a fotocélula opera segundo o princípio de fotocondutividade, ou seja, a sua superfície torna-se mais condutiva quanto maior for a intensidade de luz incidente e, como tal, a sua resistência baixa.

⁶¹ Fonte da imagem: S.O.S. electronic (2018)

⁶² Um condensador de polímero usa polímeros sólidos como eletrólito. O seu funcionamento consiste em armazenar uma carga elétrica até ao máximo da sua capacidade — a sua capacitância. Quando esse máximo é atingido o condensador descarrega a carga que segue em frente no circuito elétrico. No caso de condensadores usados em termómetros digitais, a capacitância varia com a temperatura e humidade. Essa variação é registada pelo microcontrolador que a converte em valores dos dois parâmetros.

2.6 — Equipamentos de gravação das obras

No decurso desta dissertação apresento ficheiros áudio respeitantes a gravações que fiz dos instrumentos apresentados.

Os ficheiros relacionados com demonstrações das sonificações digitais com SC3 foram gravados e exportados para áudio diretamente pelo programa.

Todos os ficheiros relacionados com demonstrações dos instrumentos em contexto de exposição, são gravações binaurais feitas com recurso a microfones Roland CS-EM10 ligados a um gravador TASCAM DR100 MKIII.

Capítulo 3 — *Atmosmancer*

3.1 — Apresentação e trabalhos prévios

Neste capítulo, apresentarei o *Atmosmancer*, um dos dois instrumentos que desenvolvi para a componente prática deste mestrado. Como explicitado no capítulo introdutório, focar-me-ei, principalmente, em fazer uma memória descritiva sistemática e detalhada de todo o processo que conduziu à realização do *Atmosmancer*, atentando às escolhas que tomei de carácter conceptual, técnico e de instalação no lugar de exposição. Farei o mesmo, no Capítulo 4, para o instrumento *Weather-World Harps*. Esta explicação será complementada, na conclusão, com uma discussão de âmbito mais alargado sobre como estes instrumentos se relacionam com os tópicos da sonificação ecológica artística, dos interfaces e instrumentos musicais e das atmosferas meteorológico-afetivas.

O *Atmosmancer* é um instrumento que sonifica qualidades e constituintes atmosféricos em tempo real. A sua base consiste numa pequena estação de monitorização de qualidade do ar. Como tal, inclui uma série de sensores cuja montagem e funcionamento exigem conhecimentos básicos e intermédios de química atmosférica, eletrónica e programação em Arduino.

Como princípio orientador, decidi que os sensores e equipamentos a utilizar deveriam ser acessíveis tanto a nível financeiro como técnico. Assim, a maioria dos sensores que adquiri estão acessíveis no mercado DIY e podem ser utilizados facilmente, sem ser necessário soldar e modificar partes do circuito.

Todavia, à semelhança do que referi a propósito do trabalho de Jennifer Gabrys (2019), montar sensores e colocá-los a funcionar não é uma tarefa linear; não se trata apenas de seguir um conjunto de instruções. Todo o processo envolve sensores que não funcionam como pretendido, que estão avariados ao sair da caixa, que queimam quando mal ligados, cujas equações de conversão de dados brutos a valores de concentrações são equívocas, ou microcontroladores que, simplesmente, não comunicam com o computador.

Adicionalmente, numa sonificação, alguns sons podem não funcionar como esperado, não produzir nada de útil e levar ao desânimo, ou pior, “explodir” nos nossos ouvidos desencadeando o pânico dos braços e mãos para baixar o volume ou ativar os controlos de terminação do programa que está a decorrer. Por outro lado, processamentos que são úteis e interessantes acontecem muitas vezes por acidente ou improvisação. Isto

mantem o espírito aberto da computação e de encontro com as suas possibilidades inesperadas.

Da captação de uma molécula de poluição à geração de um som, estamos no domínio do “instrumentalismo de campo aberto”, citando Gabrys, onde as contingências dão origem a horas e horas de procuras online em fóruns, websites DIY, tutoriais, vídeos e, ocasionalmente, à improvisação — por vezes, contrária às indicações, mas enquanto uma força que surge, precisamente, pelas dificuldades encontradas.

As próximas secções discutem os aspetos práticos de conceptualizar, montar e programar o instrumento.

Trabalhos Prévios

As sonificações do *Atmosmancer* beneficiaram e evoluíram a partir das experiências com *Atmosmancy*, uma instalação multicanal de sonificações de problemáticas ambientais, que apresentei na exposição *Immersive/Imersivo*, que esteve patente na Sociedade Nacional de Belas Artes entre 29 de junho e 21 julho de 2018. A *Atmosmancy* era uma instalação interativa em que o visitante podia escolher entre duas sonificações diferentes: alterações climáticas, entre 1971-2100 em cinco regiões de Portugal ou poluição do ar, em cinco zonas da Área Metropolitana de Lisboa (AML) durante o ano de 2016. Nesta instalação, compus sonificações a partir de informação de bases de dados públicas e não de sensores em tempo-real. Ou seja, os dados — resultado de monitorização ou de modelação ambiental — estavam já definidos para cada local e período. Aqui, tive de começar por os tratar. Esse processo envolveu ter de os descarregar, preparar e organizar em função do fenómeno e da localização geográfica. A instalação foi pensada para podermos passear entre as sonificações de dados atmosféricos associados a diferentes contextos geográficos — cinco regiões de Portugal e cinco localizações na AML. Assim, fazendo uso de cinco pares de altifalantes — um por localização —, distribuí-os pelo espaço de exposição, tentando replicar, tanto quanto possível, a disposição espacial das localizações geográficas dos dados — ver Figura 8.

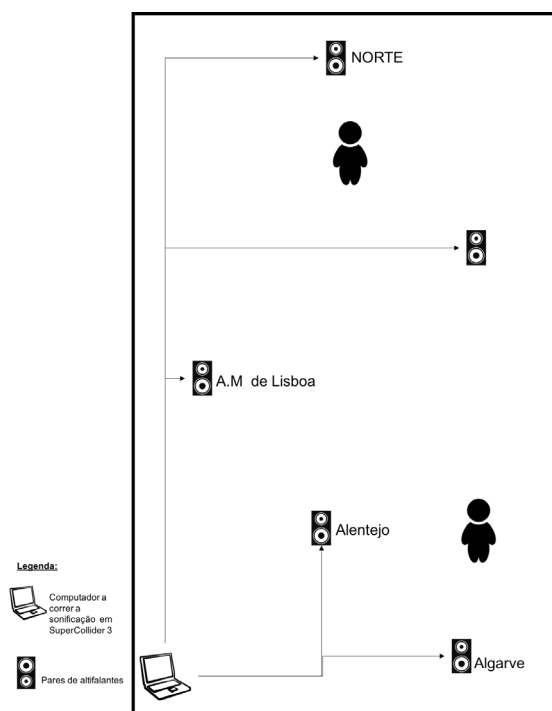


Figura 13 — Disposição espacial da instalação Atmosmancy

Atmosmancy pretendia jogar com uma estética divinatória do ar, um aspeto que transpus depois para o *Atmosmancer*. Para criar o mise-en-scène evocativo do atmosférico e do ato de o conhecer, criei os suportes dos altifalantes com base na figura da pirâmide. A peça central era um par de pirâmides com duas colunas suspensas a partir do seu vértice zenital. Em retrospectiva, a imagética mobilizada foi um uso inconsciente e equivocado, mas produtivo, do arquétipo platónico para o símbolo do elemento ar — equivocado, pois a geografia platónica para o ar é o octaedro. Esta foi outra faceta que também transitou para o *Atmosmancer*.

A instalação *Atmosmancy* acabou, assim, por ter uma forte influência no *Atmosmancer* ao nível conceptual, visual e sonoro. Neste último caso, tratou-se de uma ocasião em que experimentei várias das estratégias de composição e síntese que agora apresento no *Atmosmancer*. Contudo, sendo este um instrumento de sonificação em tempo real, acarreta consigo desafios concretos ao nível da programação e exibição dos dados. À partida, as duas versões que desenvolvi neste contexto não fazem uso de dados estáticos e, como tal, não foi necessário um tratamento prévio.



Figura 14 — O centro da instalação Atmosmancy com suportes para colunas piramidais na exposição *Immersive/Imersivo*

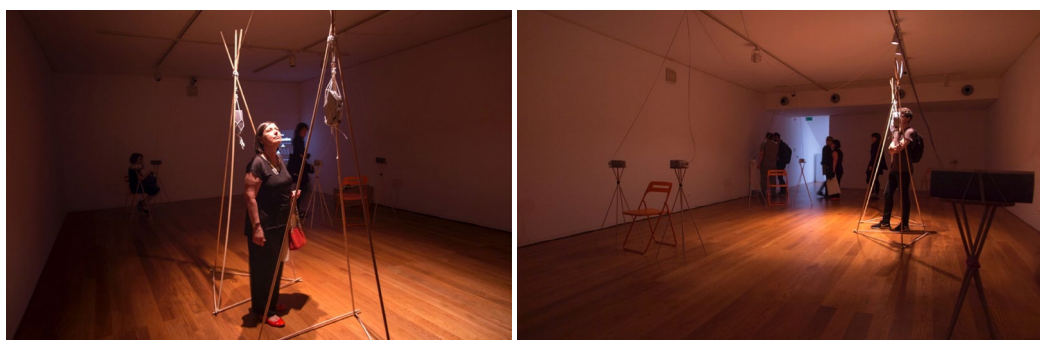


Figura 15 — Visitantes escutam a Atmosmancy e passeiam-se pela sala

Compor com sensores

Grande parte dos sensores têm bibliotecas de código prontas para os colocar a funcionar sem grande dificuldade. Ainda assim, é necessário saber programar Arduino, integrar os diferentes sensores no mesmo programa de código, e converter dados brutos em valores de concentração de poluentes. Alguns sensores podem usar as mesmas portas de comunicação ou interferir com as leituras de outros, pela forma como extraem corrente elétrica do sistema. Esta experimentação com diferentes sensores recorda os ensaios do Abade Gattoni — ver secção 1.1.1 — com diferentes metais nas cordas da sua harpa, para encontrar qual deles melhor respondia ao vento. Aqui, a lógica é semelhante, procurando-se perceber quais os sensores que, sendo acessíveis, melhor respondem às condições ambientais e

produzem informação relativamente fidedigna sobre essas. Ou seja, quais são os sensores que fornecem a base mais sólida para criar composições que sejam, ao mesmo tempo, leituras do estado do ambiente e obras artísticas?

À partida, trabalhar com sensores e microcontroladores fez-me encarar duas possibilidades: a instalação fixa, como uma harpa eólica, ou o instrumento móvel, como uma espécie de contador Geiger científico-artístico. Contudo, não me interessava criar um instrumento que se limitasse a gerar impulsos e alarmes. Queria, antes, criar uma atmosfera musical que refletisse a atmosfera física e, com isso, expandir a perceção da poluição à nossa volta. A minha composição algorítmica inspira-se na música «ambient» e nas experiências generativas de Brian Eno, seguindo os mesmos princípios: “pensar num sistema ou conjunto de regras que, uma vez postos em movimento, criam música” autonomamente (Eno, 1996).

As primeiras versões da sonificação e composição foram realizadas para o *Atmosmancer* móvel. Mais tarde, com o convite para expor o trabalho no Lisboa Soa, decidi criar um invólucro para os sensores e retrabalhar algumas secções da composição algorítmica. Assim, apesar dos dois instrumentos partilharem sensores e alguma programação, são diferentes pelas composições que integram e pela forma como as emitem para o exterior.

3.2 — Configuração

3.2.1 — Componentes e ligações

Como podemos observar na Figura 16, o sistema do *Atmosmancer* está dividido em três partes principais: os sensores e o microcontrolador, ou seja, a interface ambiente-máquina; o sistema de computação e sonificação, i.e., os geradores de mapeamento e de som; e o sistema de emissão sonora.

Na primeira parte, temos os diferentes sensores que escolhi em função dos poluentes que seria mais relevante medir, mas também em função da sua disponibilidade no mercado e acessibilidade de uso. Nas minhas experiências iniciais utilizei sensores de monóxido de carbono, dióxido de carbono, ozono e raios ultravioleta. Contudo, abandonei estes sensores por duas razões. A primeira é que os sensores de gases que estão disponíveis no mercado DIY não são capazes de medir os valores geralmente presentes no ambiente por terem limiares de deteção muito elevados. São sensores utilizados para detetar grandes concentrações, como em casos de fugas de gás, que podem ser nocivas e urgem a atenção. Ou seja, com estes sensores não seria capaz de obter valores úteis para criar uma composição contínua em atmosfera livre. A segunda razão relaciona-se com ter percebido

que, quanto mais sensores adicionava ao instrumento, mais complexa e difícil de se perceber se tornava a composição.

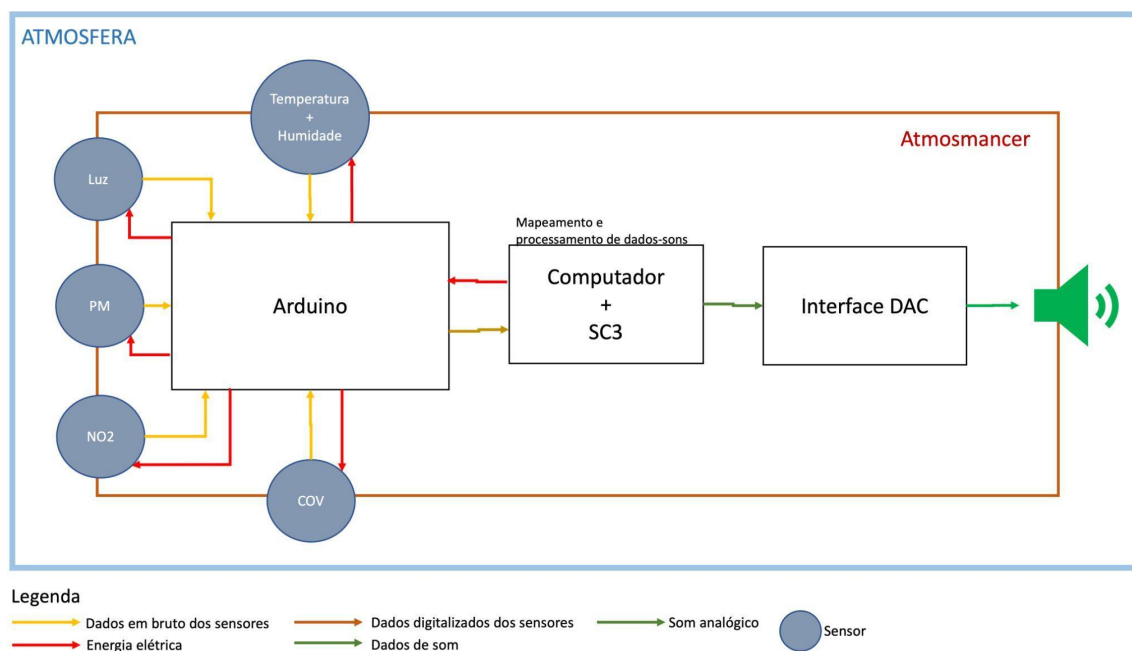


Figura 16 — Esquema conceptual do *Atmosmancer*

Assim, decidi reduzir o número de sensores de poluição a três dos mais essenciais em ambientes urbanos e interiores: matéria particulada inferior a 10 micrómetros e 2,5 micrómetros— PM_{10} e $PM_{2,5}$ —, dióxido de azoto — NO_2 — e compostos orgânicos voláteis — COV.

Nas partes seguintes do esquema temos as componentes responsáveis pelo processamento de dados e criação da sonificação: o microcontrolador Arduino, um computador portátil e o programa SC3.

Finalmente, na ponta direita, temos os equipamentos referentes à emissão sonora da sonificação, incluindo a interface DAC⁶³ e o sistema de altifalantes. Neste último ponto, o sistema pode ser estéreo ou quadrifónico, em função de ser uma configuração móvel ou uma instalação fixa. Cada opção implica desafios diferentes ao nível da programação da composição.

⁶³ Conversor digital-para-áudio, ou «digital-audio converter», DAC em inglês.

3.2.2 — Interface de controle

O *Atmosmancer* possui uma interface de controle simples. Funciona com base em usar a app TouchOSC⁶⁴ para enviar mensagens OSC⁶⁵ que são recebidas e interpretadas por rotinas dedicadas no SC3. A TouchOSC permite que o utilizador crie e configure o seu próprio sistema de controlo através do toque em tablets ou telemóveis. É possível inserir botões, “potenciómetros”, «sliders» e quadros XY no ecrã e mapear a sua manipulação ao controlo de parâmetros de síntese ou de música feita num computador. No caso do *Atmosmancer*, a simplicidade do controlo está em usar apenas potenciómetros e botões para regular o volume de cada variável sonificada e modificar as samples áudio que alimentam a sonificação das PM₁₀, PM_{2,5} e NO₂.

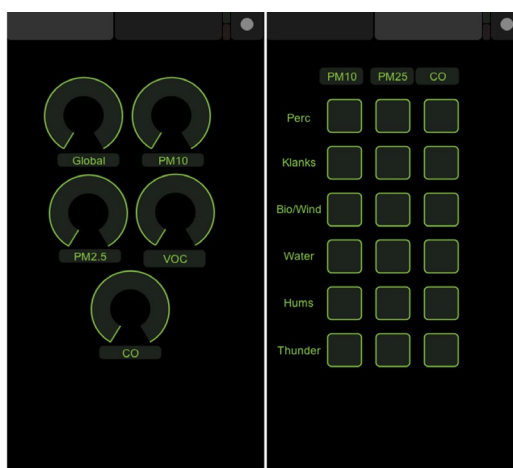


Figura 17 — Interface de controlo móvel por OSC do *Atmosmancer*.

À esquerda o controlo de volume da sonificação de cada poluente através de potenciómetros. À direita uma grelha de botões permite modificar o tipo de sample alocada à sonificação de um dado poluente.

Com esta interface, procurei seguir os princípios de Walker e Nees (2011) sobre interatividade, perceção e aprendizagem das sonificações. Essencialmente, o controlo individual do volume dos diversos poluentes permite destacar ou silenciar uma dada sonificação, possibilitando uma melhor compreensão daquilo que se passa com cada componente individual. Permite igualmente, numa lógica mais performativa, misturar os sons de acordo com a nossa preferência.

Por seu lado, os controlos de mudança das samples de áudio destinam-se somente a contextos de performance. Esta opção surgiu de modo a permitir “tocar” mais ativamente o instrumento. Para tal, é possível manipular a poluição do ar — por exemplo, com recurso à queima de substâncias — regular o volume de cada sonificação ou trocar os samples para

⁶⁴ <https://hexler.net/touchosc>

⁶⁵ «Open Sound Control» é um protocolo de comunicação para dispositivos e sintetizadores ligados em rede.

criar diversos tipos de comportamento sonoro a partir dos mesmos valores obtidos por um sensor. Este é um aspeto ainda em desenvolvimento, que discutirei na Capítulo 5 .

3.3 — Sonificações

3.3.1 — *Atmosmancer* Móvel

3.3.1.1 — Composição Algorítmica e Mapeamento Parâmetros

Neste trabalho, utilizei diferentes técnicas de síntese cujos parâmetros são controlados pelas leituras dos sensores. As principais técnicas utilizadas foram a síntese subtrativa, síntese granular — com samples — e «sample based», utilizando, nestes últimos casos, sons de gravações de campo captadas por mim.

Como já discutido, a saída de áudio do *Atmosmancer* móvel está reduzida a dois canais em estéreo. Em situação de passeio, o ideal é usar auscultadores. Não obstante, para uma ação mais “confrontadora” ou demonstrativa para o público transeunte, pode-se usar uma pequena coluna portátil. Na prática, tudo isto significa que a programação das panorâmicas se limita a uma gama entre esquerda e direita absolutas.

Nesta sonificação, são empregues três processos, que passo a descrever. O primeiro é a utilização de criação de camadas e texturas com recurso a sobreposição de várias instâncias do mesmo sintetizador, que, por incluírem aleatoriedade limitada, diferem muito ligeiramente em parâmetros como o ataque, sustentação, repouso, velocidade da sample e/ou a frequência de oscilação do filtro. O número de instâncias criadas é uma função do valor de concentração do poluente lido a cada momento. O tipo de polaridade utilizada é direta, ou seja, quanto maior poluição, maior o número de instâncias, seguindo uma progressão exponencial. Este processo foi replicado para todos os poluentes. O resultado é alguma complexidade tímbrica e um “coro” sem que seja necessário utilizar um efeito específico para isso. Esta técnica reforça o carácter atmosférico da peça.

Por aleatoriedade limitada, quero dizer o uso de geradores de números aleatórios, mas limitados a um intervalo específico. Ou seja, a possibilidade de resultados nunca vai para além desse intervalo de valores, o que permite criar alguma variabilidade no parâmetro de síntese, sem alterar totalmente a identidade do som. Por exemplo, o ataque de um som pode ser especificado para ocorrer aleatoriamente entre 0,1 e 0,15 segundos. Tal não representa uma mudança drástica no som que nos leve a assumi-lo como uma entidade tímbrica diferente. Contudo, ao nível do sistema auditivo, as diferenças de valores deste intervalo podem ser percecionadas como suficientes para atribuir uma qualidade de diferença entre

sons consecutivos. A introdução de aleatoriedade limitada em alguns parâmetros — e.g. ataques, repousos, panorâmicas — justifica-se com querer criar uma peça que produza alguma complexidade sónica e não leve à fadiga do ouvinte. Barrass & Vickers (2011) argumentam que este é um dos problemas que mais facilmente conduz à falta de sucesso de algumas sonificações. Contudo, as sonificações criadas neste trabalho tentam jogar o conteúdo informativo com um plano estético que possa ser experienciado pelo ouvinte enquanto obra artística. Em vez de almejarem a uma representação precisa dos dados, como acontece nas sonificações científicas, procuram comunicar de forma intuitiva a qualidade da atmosfera através do teor tonal e textural das sonificações. A aleatoriedade limitada fornece dinamismo aos sons produzidos, de forma a reforçar a textura da sonificação, mas não afeta a leitura geral do seu significado, que se traduz em: pouca ou demasiada poluição; valores ótimos ou acima de determinados limiares para a segurança; evolução da atmosfera com o tempo.

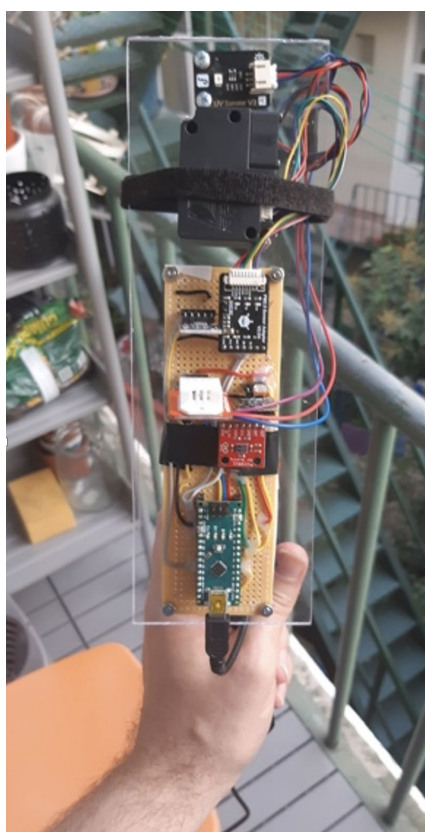


Figura 18 — *Atmosmancer* no exterior antes de realizar uma medição.

Sensores presentes: NO₂ (à esquerda, no topo), COV (de cor vermelha ao centro), Temperatura e Humidade (a branco, ao centro), luz (à esquerda do de temperatura) PM₁₀ e PM_{2,5} (preto, no topo). Em baixo, a verde, um Arduino Nano.

Temperatura, humidade e luz

Entre os sensores que fazem parte do dispositivo, apenas são sonificados os referentes a poluentes atmosféricos — COV, NO₂, PM₁₀. Nesta versão, os sensores de temperatura e humidade foram utilizados na compensação das leituras dos sensores de poluição e como variáveis de controlo da escala musical utilizada a cada momento da sonificação.

No primeiro caso, como os sensores de qualidade do ar — e.g. o sensor CCS811 de COV — têm curvas de resposta variáveis em função dos valores de temperatura e humidade, é necessário ajustar as suas leituras para as condições específicas do momento. Para isso, introduzi os valores de temperatura e humidade como fatores de ajuste das equações de conversão de dados brutos do sensor a concentrações do poluente. Assim, apesar de não serem sonificados, têm um efeito indireto sobre a sonificação ao regularem a leitura dos sensores.

No segundo caso, a variável temperatura é uma variável de estado, isto é, diferentes gamas de valores correspondem a diferentes estados da composição. Assim sendo, o estado afetado corresponde à escala musical. O Quadro 5 demonstra a função de transferência para o mapeamento realizado. A decisão de alocar a uma gama de temperatura determinada escala foi exploratória e depende da minha conceção subjetiva do “calor” de cada escala ou modo musical. Como demonstrarei aquando da discussão da sonificação dos COV, por vezes uso na composição escalas microtonais. Em função de um contexto em que recorro predominantemente a escalas ou modos do temperamento igual, a passagem para uma escala microtonal pode acrescentar uma sensação de maior instabilidade e dissonância⁶⁶, e por isso sugerir o alarme ou a atenção. Ora, no caso da temperatura, utilizei a escala Partch utonal — providenciada pelo SC3 — para temperaturas acima de 40°C, precisamente para indicar que em tal situação, a temperatura pode ser o maior fator de risco em questão no momento.

Nos seus fundamentos para uma estética da música eletrónica, Curtis Roads argumenta que variar parâmetros oferece-nos consistência na composição, mas pode levar a uma situação estagnada ou monocromática (Roads, 2015, pp. 26–27). Como alternativa, sugere que se tente mudar de estratégia ao fazer transições para outras técnicas de síntese ou fonte sonora. Ainda que a introdução de um argumento de escalas e a sua mudança em função dos valores dos dados possa ser considerada uma variação de parâmetros — uma vez que não se mudou a técnica de síntese ou a fonte sonora — esta acaba por introduzir

⁶⁶ Assumo esta decisão como uma opção pessoal influenciada pelo ouvido histórico ocidental, que tende a escutar na microtonalidade maiores dissonâncias.

variabilidade e mudanças cromáticas próximas da sugestão de Roads, contrariando a estagnação da composição e, com ela, a fadiga do ouvinte.

Quadro 5 — Mapeamento da temperatura à escala musical

Gama de Temperatura	Escala Musical
< 10° C	Harmónica Menor
10° C – 20° C	Modo Dórico
20° C – 30° C	Pentatónica Maior
30° C – 40° C	Modo Lídio
> 40° C	Escala Partch Utonal 06

Nesta versão, a variável da humidade não afeta a composição. Contudo, foi sempre a minha intenção mapeá-la à reverberação aplicada a alguns elementos. Acabei por fazê-lo na versão fixa do *Atmosmancer* exposta no Lisboa Soa, pelo que discuto o processo e resultados na secção correspondente.

Por seu lado, o sensor de luminosidade afeta a nota fundamental da escala segundo o mapeamento do Quadro 6.

Quadro 6 — Mapeamento do sensor de luminosidade

Gama de intensidade Luminosa em valores brutos	Nota Fundamental
< 600 (dia)	C5
600 – 900 (lusco-fusco, sombra)	A4
>= 900 (noite)	F#4

Neste caso, a lógica de mapeamento dita que, à medida que fica mais escuro, a nota central da sonificação fica mais grave. Poder-se-ia consegui-lo afetando apenas a oitava que estava a ser utilizada. Contudo, para criar variabilidade na composição, decidi optar por uma mudança de nota. As notas escolhidas, são relativamente arbitrárias. Foram selecionadas por tentativa e erro, procurando as que me soavam melhor nas transições de um estado para outro.

Relativamente à sonificação dos poluentes do ar, as sonificações seguem as funções de transferência dispostas nos Quadro 12 a Quadro 18 do Apêndice II. A segregação auditiva entre as várias sonificações é realizada com recurso apenas a sons de timbres diferentes.

COV

No caso dos COV — Quadro 12 a Quadro 15 — são utilizados sintetizadores compostos por ondas de dente de serra filtradas por um filtro passa-bandas. Tanto os parâmetros da onda — frequência, «detune» — como os do filtro — frequência central, qualidade recíproca, frequência de oscilação do filtro — estão sujeitos a modificações em função do valor da concentração do poluente. Por seu lado, o envelope, composto pelo ataque, sustentação e repouso do som, sofre alguma aleatoriedade, criando-se assim a diferenciação necessária entre cada instância do sintetizador que conduz a uma textura mais rica. A evolução desta sonificação entre os 0 ppb e os 1200 ppb de concentração de COV é exemplificada pelo ficheiro ► Áudio 1, presente no CD que acompanha esta dissertação.

► Áudio 1 — *Atmosmancer*: Móvel, evolução COV 0 ppb – 1200 ppb

A composição da sonificação está dividida em quatro partes diferentes. A primeira diz respeito a concentrações baixas de COV, ou seja, inferiores a 220 ppb, a segunda a concentrações médias — entre 220 ppb e 660 ppb — as terceira e quarta para concentrações altas — superior 660 ppb — e muito altas — 1100 ppb —, respetivamente. Por forma a reforçar a noção de perigosidade, a terceira e quarta secções começam-se a sobrepor a partir dos 1100 ppb⁶⁷.

Ao dividir a sonificação desta forma, procurei dar uma ideia de progresso e mudança da perigosidade do poluente sem seguir uma sonificação linear e homogénea. Dentro de cada parte, as concentrações dos poluentes são mapeadas a vários parâmetros de síntese, seguindo um mapeamento relativamente tradicional de um-para-muitos. A diferença relativamente aos procedimentos mais convencionais surge quando se ultrapassam os limiares de toxicidade. Quando isto acontece, inicia-se uma nova secção, com um novo mapeamento de um-para-muitos.

Todas as partes usam o mesmo tipo de sintetizador, mas com mudanças significativas nos seus parâmetros, notas, escalas e texturas tocadas.

Na primeira parte — ► Áudio 1 entre 0s-24s, Quadro 12 —, o sintetizador usa por definição uma onda sinusoidal no oscilador. Para criar algum movimento e reforçar a noção da escala de mudança de uma leitura para a outra, incluí um mapeamento em que, sempre que a diferença absoluta entre uma leitura e a sua anterior é superior a 2 ou 4 ppb, a onda a ser utilizada pelo oscilador é triangular ou dente de serra, respetivamente. Assim, o número de harmónicos é maior em ambas as ondas do que na sinusoidal, que é um tom puro,

⁶⁷ Estes limites de toxicidade dos COV têm por base as orientações Agência Federal do Ambiente Alemã (Umweltbundesamt, 2007).

dando-se, por isso, um sinal tímbrico associado à mudança. Quanto mais harmónicos se ouvem, maior é a mudança. Daí ter escolhido uma onda triangular para a mudança mais baixa e dente de serra para a mais alta, pois a segunda é mais rica nos parciais do que a primeira. A adição desta regra prendeu-se com querer, simultaneamente, adicionar um sinal para reforçar a mudança de estado da atmosfera e criar maior variabilidade numa sonificação que, por vezes, podia estagnar ao estar sempre a repetir o mesmo timbre.

Em segundo lugar, o número de notas da escala selecionada em função da temperatura depende também da concentração do poluente. Seguindo uma polaridade direta e linear, entre os 0 ppb e os 65 ppb, o número de notas que podem ser tocadas vai aumentando de um a sete, sendo que o dimensionamento segue a progressão de uma nota aos 0 ppb e sete notas acima dos 65 ppb. Contudo, neste desenvolvimento, também adicionei uma regra para aumentar a variabilidade e reforçar o sinal do nível a que se está. Cada nota é tocada segundo um peso pré-definido. Assim, quando se toca duas notas, ou seja, quando se está em valores relativamente baixos do poluente, a ponderação dá maior destaque ao segundo grau da escala do que ao primeiro. O processo é idêntico para graus seguintes, como apresentado no Quadro 12. Nesta sonificação, à medida que as notas vão aumentando, também aumenta a qualidade harmónica da peça e cria-se uma ambiência que pode ser considerada reconfortante e embaladora. Tal pode parecer paradoxal para uma sonificação que delinea o aumento de um poluente, mas o objetivo, aqui, é demonstrar que esta gama de substâncias está presente em qualquer ambiente. Podem ser libertadas pelas tintas das paredes e substâncias industriais, mas também por plantas e animais. O mais pertinente, em relação aos COV, é, sim, a sua quantidade. Quanto estes estão presentes em concentrações elevadas, apresentam um perigo para a saúde. Abaixo disso, são apenas mais um constituinte da nossa realidade e do nosso “mundo do tempo”, presente na base de aromas de flores e outras substâncias, pelo que o facto da sonificação se tornar mais harmoniosa até aos 65 ppb — o limite máximo aconselhado para um ar de forte qualidade⁶⁸ — é uma mera tradução estética da riqueza química do nosso ar.

Os restantes parâmetros também seguem polaridades diretas. Com o crescimento do poluente cresce, também, o número de instâncias — vozes — do sintetizador, o que, aliado a mudanças no «detune», confere ambiência e corpo ao som. O mesmo sucede com os parâmetros do filtro. Com o aumento das concentrações, estes parâmetros começam a oscilar mais rapidamente e o fator Q também torna a banda de frequências filtrada cada vez mais apertada, criando maiores ressonâncias junto da frequência central do filtro. Por

⁶⁸ Ver nota 47.

consequência, a instabilidade das notas é amplificada a sua desafinação começa a ficar mais saliente.

Na segunda parte, que diz respeito a valores de COV entre 220 ppb e 660 ppb, a principal diferença é a introdução de uma escala microtonal — ► Áudio 1 entre 24s-1m8s, Quadro 13. Ou seja, neste caso a sonificação liberta-se da escala principal e adota uma escala Partch (otonal 01), onde qualquer das suas notas pode ser tocada. À semelhança da temperatura extrema, volto a usar uma escala microtonal, pois, no contexto composicional em que se insere, é eficaz na sinalização de um estado de poluição um pouco mais preocupante. Como em vários casos anteriores, os parâmetros do envelope de amplitude — e.g. ataques, sustentações e libertações — são tornados aleatórios, para criar variabilidade nas notas tocadas e para reforçar a noção de suspensão e movimento no ar.

Na terceira parte, entramos numa gama de concentrações que podem ser consideradas preocupantes, acima de 660 ppb — ► Áudio 1 a partir dos 1m8s, Quadro 14. A sonificação volta ao sistema utilizado na primeira parte, mas desta vez tocando notas mais altas e mais desafinadas. A ideia de alerta é, aqui, introduzida e começa também a formar-se uma certa instabilidade, ou, mais adequadamente, uma volatilidade, como se os COV estivessem cada vez mais agitados no ar.

A quarta parte, que é sobreposta à terceira a partir dos 1100 ppb, “materializa” a volatilidade do poluente ao criar uma textura borbulhenta — Quadro 15. Esta decisão de «sound design» é influenciada pela natureza do composto orgânico volátil, como uma substância que facilmente se evapora no ar. Ao variar com rapidez a frequência central do filtro passa-bandas e usando valores de fator Q que tornam a banda muito apertada, é possível criar um som de bolha a rebentar. Assim, a evolução da sonificação procura associar uma concentração mais intensa do poluente a dimensões sonoras que providenciem um som volátil e turbulento.

PM₁₀

No caso das PM₁₀, gravei vários sons de espanta-espíritos de bambu que na sonificação são reproduzidos a diferentes velocidades em função da concentração do poluente. A evolução desta sonificação pode ser escutada no ► Áudio 2, e a sua função de transferência no Quadro 16 do Apêndice II.

► Áudio 2 — *Atmosmancer*: Móvel, evolução PM₁₀ 0 µg/m³ a 1200 µg/m³

Nesta sonificação, o parâmetro mais importante é a velocidade de reprodução da sample, pelo que o seu dimensionamento tem uma grande influência nos resultados obtidos. Assim, para valores entre 0-1200 µg/m³ de PM₁₀, esta velocidade pode variar entre metade e

o dobro da velocidade original, seguindo uma polaridade direta e linear. A sonificação inicia-se com toques curtos de carácter médio-grave. Com o aumento da poluição, a velocidade da sample sobe e o som torna-se mais agudo e agitado, como se o espanta-espíritos estivesse a ser chocalhado com força. A velocidade da sample é o único parâmetro desta sonificação em que uso uma polaridade linear. Neste caso, a conversão exponencial criava uma diferença muito acentuada do som entre valores baixos e altos de poluição, o que não representava adequadamente a evolução do poluente.

O uso do espanta-espíritos tem duas razões associadas: uma é o seu funcionamento como instrumento eólico, um motivo inspirador ao longo de toda esta dissertação; outra é o seu som ter uma qualidade granular. Cada pequeno som não tem mais do que alguns microssegundos, o que me remete para uma representação que atenta à natureza particulada do poluente. Mais uma vez, alguns parâmetros, como ataque, sustentação e panorâmica, são aleatórios de forma limitada. No caso da panorâmica, o intuito era mesmo dar a ideia de partículas surgindo por todo o lado no horizonte acústico da composição, pelo que a aleatoriedade é máxima entre esquerda e direita absolutas.

NO₂

Por fim, a sonificação de NO₂ tem duas partes que consistem na manipulação de samples. Na primeira parte — ► Áudio 3, Quadro 17 —, em que as concentrações de NO₂ são baixas, o «sample» usado é o de ressonância de um pequeno tubo, quando agitado de um lado para o outro.

► Áudio 3 — *Atmosmancer*: Móvel, evolução NO₂ 0 ppm a 0,05 ppm

A base da sonificação consiste em criar cada vez mais instâncias desse som e aumentar a sua velocidade para ficar mais agudo. Nestes casos, e particularmente no que diz respeito à velocidade da sample, preferi usar uma conversão exponencial, pois a progressão sonora dos dados funcionava melhor assim.

À semelhança das outras estratégias, envelopes e panorâmicas são aleatórias, de forma que cada instância surja com uma expressão diferente. O som desta «sample», pela sua ressonância oca e aguda, remete-me para o etéreo, razão pela qual se trata de um bom representante deste gás, que é um importante constituinte da atmosfera, quando não está presente em demasia.

Na segunda parte, em que os valores de NO₂ são superiores a 0,05 ppm, a sonificação passa a utilizar aleatoriamente dois «samples»: um motor e uma mola metálica a bater numa superfície — ► Áudio 4, Quadro 17.

► Áudio 4 — *Atmosmancer*: Móvel, evolução NO₂ 0,05 ppm a 0,1 ppm

Com esta sonificação, procurei, também, jogar com o simbolismo entre o som mecânico e a origem do excesso do poluente na atmosfera, nomeadamente, o tráfego automóvel. O primeiro som, depois de processado, é útil para criar um ruído evocativo de tráfego, enquanto o segundo remete para engrenagens e tem uma qualidade alarmante de chicote elétrico agudo que, por isso, remete para a noção de que o estado deste poluente na atmosfera se encontra a um nível preocupante. Adicionalmente, ambos os sons podem remeter para um som de serrar. Aqui, a intenção simbólica é, também, ligar o dióxido de azoto ao ozono como seu precursor. O ozono troposférico, enquanto poluente, é perigoso por ser um poderoso gás que corta facilmente ligações orgânicas, razão pela qual é usado como desinfetante. A sua origem está na reação do NO₂, como gás de escape automóvel, com radiação solar incidente.

3.3.1.2 — Resultados da Sonificação

Andrea Polli (2012) afirma que ouvir uma sonificação em tempo-real é conducente à consciencialização da continuidade e imersividade de um ambiente. Como podemos ouvir nos exemplos abaixo, existe uma grande variação na textura do som atribuído aos COV. Em termos estéticos, isto cria variabilidade na composição. Por outro lado, em termos informativos, diz-nos que naquele momento circulam à nossa volta bolsas de ar com concentrações diferentes destas substâncias. Assim, destaco que através do processo estético de ouvir a composição sonora do *Atmosmancer* móvel, podemos, de facto, criar uma noção aumentada daquilo que nos circunda.

Neste sentido, o *Atmosmancer* pode ser usado para criar uma intuição de como diferentes espaços se diferenciam também em termos de composição atmosférica. Oiça-se por exemplo os seguintes excertos:

- ▶ Áudio 5 — *Atmosmancer*: Móvel. Interior de uma casa com concentrações de COV baixas
- ▶ Áudio 6 — *Atmosmancer*: Móvel. Interior de uma casa com conc. de COV de 200 ppb
- ▶ Áudio 7 — *Atmosmancer*: Móvel. Exterior. NO₂ a 0.15 ppm, COV a 30 ppb, PM₁₀ inferior 10 µg/m³

Para uma situação de interior apresento dois trechos gravados. O primeiro, para condições de bom arejamento da casa, onde podemos escutar uma concentração baixa de COV — ▶ Áudio 5. Neste caso, só é produzido um tom nessa sonificação, pois os valores estão abaixo de 10 ppb. Por seu lado, a sonificação de NO₂ revela ainda estar abaixo dos 0,05 ppm, mas não muito, pois o tom dos tubos tende a ser mais agudo. As partículas estão

a nível aceitável, pelo número de eventos e altura tonal que escutamos. Esta casa encontra-se a ser arejada com janelas abertas e é possível escutar o «trade-off» se a compararmos com o segundo trecho — ► Áudio 6. Nesse os COV estão mais concentrados, mas as concentrações de NO₂ mantêm-se ou baixam — isso acontece, pois, este gás é absorvido pela nossa respiração, por superfícies e por plantas. O ar interior é particularmente caracterizado pela presença de COV, pois tende a ser mal arejado e estar sujeito à libertação de substâncias dos materiais de construção — e.g. vernizes — e de produtos de limpeza. Por essas razões, podemos ficar expostos a quantidades dessas substâncias tão ou mais elevadas como aquelas ouvidas no segundo excerto. Adicionalmente, quando abrimos as nossas janelas, diluímos o ar, que fica mais oxigenado e menos pesado com poluentes de interior. No entanto, isso pode levar, à entrada de mais poluentes exteriores como partículas com maior número de substâncias tóxicas e NO₂.

No exterior — ► Áudio 7 — os eventos sonoros são mais esparsos e a composição é menos ocupada por COV e PM, mas, como foi realizada em ambiente urbano, escuta-se a maior intensidade da sonificação do NO₂.

O *Atmosmancer* móvel permite realizar passeios sonoros mediados. A intenção é escrutinar a poluição e composição da atmosfera dos locais pelos quais me desloco. Os passeios sonoros utilizando o *Atmosmancer* tem também como motivação a educação ambiental, chamando a atenção dos participantes para as questões de poluição atmosférica que assolam as nossas cidades. Contudo, esta componente do trabalho está ainda por concretizar.

3.3.2 — *Atmosmancer* Instalação

3.3.2.1 — Composição Algorítmica e Mapeamento de parâmetros

Nesta secção limito-me a diferenciar composição algorítmica do *Atmosmancer* instalação em relação ao móvel e discutir um pouco o sistema de som envolvente associado. Deixo para a secção seguinte, dedicada à instalação no Lisboa Soa, as várias decisões e considerações estéticas da obra, pois estiveram, em grande parte, associadas à necessidade de adaptar a instalação ao local.

O primeiro destaque a fazer é que na versão fixa o *Atmosmancer* é uma instalação a 4 canais, dispostos em quadrado e com cada coluna virada para o centro, no qual se deve situar, sensivelmente, a estação de sensores suspensa no ar. Assim, o uso de quadrifonia implicou logo uma mudança de todos os sintetizadores programados, para serem capazes de emitir numa panorâmica circular. Tal foi conseguido usando o UGen PanAz incluído no SC3.

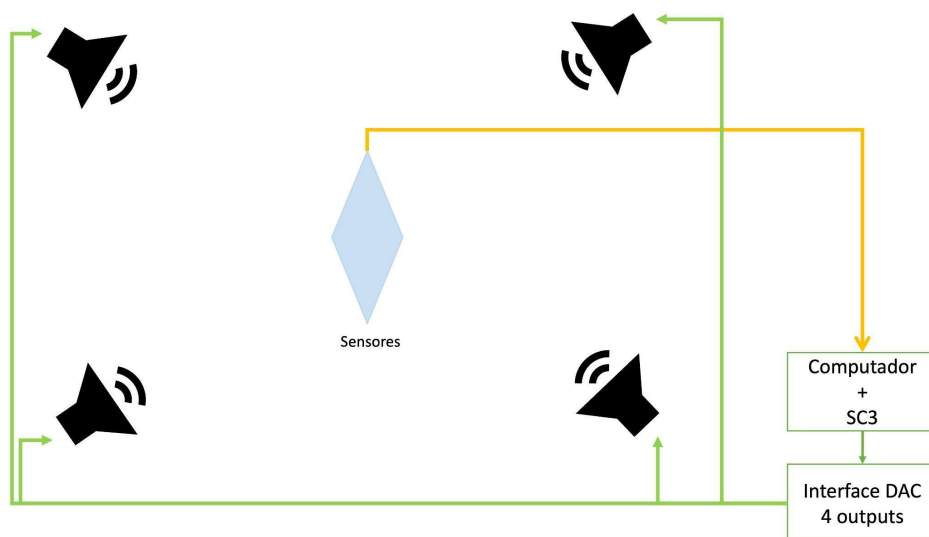


Figura 19 — Configuração espacial do *Atmosmancer*: Instalação

Temperatura, Luz e Humidade

No que se refere à temperatura e luz, funcionam da forma já definida na secção anterior. A novidade está no uso da humidade como parâmetro de sonificação. Neste caso, os dados de humidade são mapeados ao nível de reverberação que é aplicada aos sons de alguns poluentes. Aqui, jogo com o simbolismo característico da linguagem de produção de som, quando esta se refere a um som como «wet» — húmido —, quando tem mais reverberação, e «dry» — seco — quando essa é mais fraca. A consequência desta ação é permitir uma intuição de quão húmida está a atmosfera através da intensidade de reverberação dos sons emitidos pela sonificação. É um efeito que funciona especialmente bem com a sonificação de partículas, pois, graças ao seu som transiente, é possível escutar melhor a cauda de reverberação sem que haja sobreposição do som original. Esta é, também, a razão pela qual este efeito não foi aplicado ao sintetizador de COV. Como é um sintetizador com várias camadas que criam um coro, já possui alguma reverberação natural. Assim, neste caso particular, enviar esse som para o efeito de reverberação contribuiria para alguma confusão na mistura, o que era indesejável.

COV

No caso dos COV a composição segue, mais ou menos, os mesmos princípios da sonificação do *Atmosmancer* móvel. A diferença fundamental está em ter-se retirado a terceira parte, caracterizada por notas altas e desafinadas. Senti que esta redundância não era necessária. Adicionalmente, como o local de instalação ia ser numa zona em que a atmosfera é altamente influenciada pelos ritmos do tráfego, preferi dar destaque à sonificação do NO₂. Neste sentido, a terceira parte dos COV, relacionada com um sentimento de alarme, foi

movida para a sonificação do NO₂, pois achei ser mais importante salientar como esta progredia ao longo do dia. Adicionalmente, a facilitar a decisão, estava o facto de que no exterior, a quantidade de COV tende a ser reduzida. A não ser que, como apresento mais à frente, se instancie forçosamente a presença do poluente, dificilmente são atingidos os valores elevados.

► Áudio 8 — *Atmosmancer*. Instalação: Gravação binaural da evolução de COV entre 0 ppb e 1200 ppb

Assim, para os COV, temos a primeira parte — ► Áudio 8 entre 0m00s-0m23s, Quadro 19 —, com o seu característico aumento de notas tocadas aleatoriamente e na escala definida pela temperatura e luz do momento. A onda sinusoidal como predefinição do oscilador do sintetizador foi substituída pela triangular, por uma questão de riqueza do som. As panorâmicas estão distribuídas entre o primeiro e o segundo canal, mas com silêncio no centro. O número de instâncias máximas do sintetizador foi reduzido para quatro, para não sobrecarregar a RAM do computador. As ponderações dadas a cada nota da escala também foram ligeiramente modificadas, pois tendiam, na versão anterior, a dar muito peso a notas agudas. Neste caso, a quantidade de «detune» máximo foi aumentada para 0,5 cents.

A segunda parte continua a ser tocada numa escala microtonal — ► Áudio 8 entre 0m23s – 2m00s, Quadro 20. Por seu lado, a frequência central do filtro de bandas mantém a oscilação cada vez mais errática, com o aumento da concentração do poluente. A mudança de onda do oscilador e as panorâmicas seguem uma regra diferente da apresentada na secção anterior. Aqui, enquanto as concentrações forem inferiores a 600 ppb, podem ser tocadas uma onda triangular 98% das vezes, uma onda dente de serra 1% das vezes e uma quadrada 1% das vezes.

Quando as concentrações são superiores a 600 ppb, o tipo de onda do oscilador a tocar muda em função das seguintes ponderações: triangular 65% das vezes, dente de serra 20% das vezes, quadrada 15% das vezes. Esta ação tem a vantagem de, para as concentrações moderadas, privilegiar uma onda com menos harmónicos, mas adicionando a possibilidade de outras se manifestarem e, assim, quebrarem a monotonia dessa parte. Quando estamos acima de 600 ppb, aproximamo-nos cada vez mais do limite inferior das concentrações nocivas para a saúde, pelo que o número de vezes em que as ondas com mais harmónicos se manifestam, aumenta. Isto resulta numa maior dinâmica do som emitido, em varrimentos de frequência que são mais pronunciados — o filtro tem, agora, mais harmónicos para destacar — e, portanto, num sinal que revela a aproximação às concentrações mais perigosas. No geral, esta regra de composição e mapeamento aproveita as dinâmicas de

evolução dos poluentes para criar eventos sonoros que produzem surpresas e uma maior imprevisibilidade na composição que está a ser gerada.

Finalmente, a quarta parte do *Atmosmancer* móvel passa a ser agora a terceira. Quando as concentrações estão acima de 660 ppb, a sonificação torna-se mais texturada, com os sons de bolhas que ficam mais intensos com o aumento do poluente. Neste caso, a panorâmica abre completamente e os sons das bolhas são livres para aparecer em qualquer ângulo, criando então uma envolvimento total para quem se encontra no interior da instalação — ► Áudio 8 dos 2m00 em frente, Quadro 21 do Apêndice II.

PM₁₀ e PM_{2,5}

No caso das PM foram adicionadas várias modificações. Em comparação com o *Atmosmancer* móvel, nesta versão queria ter maior controlo sobre os sons dos espanta-espíritos. Em vez de usar «samples» do conjunto do espanta-espíritos, preferi usar sons singulares de cada um dos seus tubos de bambu. Com recurso a um sintetizador granular, fui capaz de lançar cada um desses sons individualmente, como se fossem grãos. e dispersá-los mais eficazmente na panorâmica. Através deste método, consegui criar uma maior noção de partículas individuais a circular à nossa volta — ► Áudio 9, Quadro 22 do Apêndice III.

► Áudio 9 — *Atmosmancer*: Instalação: Gravação binaural da evolução de PM₁₀ entre 0 µg/m³ e 1200 µg/m³

A quantidade de grãos que é emitida num dado período, ou seja, a sua densidade, está agora associado à concentração do poluente. Assim, quanto maior a concentração, maior o número de grãos que é emitido. Deste modo, não é necessário lançar mais do que uma instância do sintetizador a cada período da rotina de sonificação poupando recursos computacionais. Dependente da concentração está, também, a velocidade da sample e a sua amplitude. No primeiro caso, para valores baixos, a reprodução da sample começa a variar aleatoriamente entre 0,5 décimos e 1 décimo da sua velocidade normal. Para valores mais altos, varia entre 1,5 e 1,6 vezes a sua velocidade normal. Assim, para valores baixos de PM₁₀, os grãos são mais graves e, à medida que o poluente aumenta em concentração, tendem a ficar mais agudos. No caso da amplitude, esta segue uma polaridade inversa, ou seja, quando as concentrações são mais baixas, o som dos grãos é mais alto e o contrário acontece quando as concentrações aumentam. Com isto, procurei compensar o aumento aparente de volume que acontece pelo facto de os grãos ficarem mais agudos, um efeito que se deve ao sistema auditivo humano perceber sons agudos como mais altos do que os sons graves.

Adicionalmente, esta sonificação opera em conjunto com a sonificação da humidade. Assim, quanto maior for a humidade no momento, maior o nível de ganho do som gerado pelos grãos que é enviado para o efeito de reverberação. Ou seja, quando a humidade é baixa, os grãos soam mais como se estivessem a ser tocados num espaço com poucas reflexões acústicas, ou seja, mais “seco”. Quando a humidade é maior, o som dos grãos possui uma maior reverberação. Seguindo a metáfora da produção de som, torna-se num som mais “húmido”.

► Áudio 10 — *Atmosmancer*: Instalação: Gravação binaural evolução humidade com PM₁₀

Como indiquei acima, tornou-se também interessante explorar a criação de sinais de contexto. Neste caso, as marcas de contexto associam-se aos limiares para a saúde das PM₁₀ que são definidos pela legislação europeia e pelo Índice de Qualidade do Ar (Agência Portuguesa do Ambiente, sem data). Assim, em função de três níveis, são criados 3 diferentes sinais — médio, fraco e mau. Como se pode escutar no ► Áudio 9, quando os valores de PM₁₀ ultrapassam cada um desses níveis, começam a surgir gradualmente diferentes sons de tambores, produzidos por síntese de modelação física, mais especificamente, bancos de filtros excitados com um impulso de ruído branco. Ao usar síntese de modelação física em vez de samples, é possível obter um som de tambor mais natural, pois possui ligeiras diferenças de intensidade e espectro em cada iteração.

Esta sonificação manifesta-se da seguinte forma: quando a concentração do poluente passa para o nível médio — 36 µg/m³ —, começamos a ouvir um tambor grave afinado na fundamental da escala ativa no momento, colocado no canal 1 e que toca uma vez a cada dois segundos — no ► Áudio 9 a partir dos 00m36s. Quando a concentração passa para valores fracos — 51 µg/m³ —, junta-se um segundo tambor afinado quatro oitavas acima, colocado no canal 3 e que toca uma vez por segundo — a partir dos 0m40s. Por fim, quando a concentração do poluente excede o limite de valores maus para a saúde — 101 µg/m³ —, surge um terceiro tambor a tocar no canal 4 duas vezes por segundo e afinado seis oitavas acima do primeiro — a partir dos 0m47s. A diferença de ritmos e de intensidade de cada toque dos tambores cria polirritmias que ajudam a uma maior variabilidade da sonificação e à sensação de agitação e alarme provocada por um aumento da poluição. À medida que os valores de concentração vão descendo abaixo de cada limiar, o tambor correspondente silencia-se, até que, quando as concentrações são novamente seguras, todos entram em descanso.

Outra mudança significativa foi a inclusão da sonificação de partículas abaixo 2,5 µm, também elas um poluente importante que é captado pelo sensor de PM. Neste caso, para não

criar um excesso de eventos sonoros, limitei-me a sonificar as alturas a partir das quais as concentrações de $PM_{2,5}$ ultrapassam os limites de segurança para a saúde. À semelhança das PM_{10} são sonificadas as ultrapassagens das concentrações médias — $21 \mu g/m^3$ —, fracas — $26 \mu g/m^3$ — e más — $51 \mu g/m^3$. Aqui recorri a um sintetizador granular que usa diferentes samples de espanta-espíritos e molas longas a baterem em superfícies. Com a granulação, estas samples ficam mais curtas e tendem a ganhar alguma distorção e uma qualidade de partículas de vidro a chocar de um lado para o outro.

► **Áudio 11** — *Atmosmancer*: Instalação: $PM_{2,5}$ sinais de contexto a avisar ultrapassagem de valores limite médio, fraco e mau para a saúde humana

A forma de diferenciar cada limiar foi semelhante à sonificação dos limiares das PM_{10} . Entre as concentrações médias e fracas — ► **Áudio 11** entre 0m00s-0m15s —, toca apenas um sintetizador a granular as samples com uma taxa de velocidade de 0,5, ou seja, a sample é tocada a metade da sua velocidade. Adicionalmente, esse valor pode ser aleatoriamente positivo ou negativo, ou seja, o grão pode tocar a sample para a frente ou para trás. Como habitual, esta é apenas mais uma estratégia para criar variabilidade na sonificação.

Quando as concentrações estão entre a gama fraca e má — ► **Áudio 11** entre 0m15s-0m50s —, junta-se outro sintetizador granular, com as mesmas samples, mas desta vez aumentado a densidade de grãos a ser tocada e uma reprodução de sample entre quatro e seis vezes mais rápido do que a velocidade original. Com esta transformação começam a surgir sons de qualidade mais vítrea.

Finalmente, ao se ultrapassar as concentrações fracas — ► **Áudio 11**, 0m50s em frente —, junta-se um novo sintetizador aos anteriores com uma ainda maior densidade de grãos por segundo e a uma velocidade de reprodução de sample entre seis e oito vezes mais rápida. Com esta transformação, surgem sons com uma qualidade de papel a ser machucado ou de efervescência.

Em todos os sintetizadores de $PM_{2,5}$, para evitar saturar a mistura, inseri uma condição que determina que, a cada leitura, só são tocados com uma probabilidade de 35%. Esta probabilidade, pode parecer baixa, mas é alta o suficiente para criar uma quantidade equilibrada de eventos.

NO₂

No caso do NO_2 , para além do que já descrevi acima, na primeira parte a mudança mais substancial é passar a usar apenas samples de zumbidos de máquinas e deixar de usar os sons de molas. De resto, nesta secção, a sonificação segue os mesmos parâmetros definidos no *Atmosmancer* móvel, excetuando pequenas mudanças nos tempos e níveis do

envelope de amplitude. A segunda parte, como também mencionei, passa a ser a que figurava como terceira parte da sonificação de COV no *Atmosmancer* móvel. A diferença principal, neste caso, é que as oitavas podem ser tocadas muito agudas, o que reforça a qualidade de perigosidade do ambiente. Aqui, temos uma aproximação à sugestão de Roads de se mudar o método de síntese, com o intuito de introduzir uma mudança mais significativa. Neste caso, não se altera o método completamente, pois o outro sintetizador com samples continua a tocar, mas sobrepõe-se o sintetizador de filtros de passa bandas para complementar a expressão dos valores altos do poluente.

► Áudio 12 — *Atmosmancer*: Instalação: Evolução NO₂ entre 0,00 ppm e 0,2 ppm

3.3.3 — Instalação no Lisboa Soa 2019

3.3.3.1 — Design da estrutura para albergar sensores

Em função do convite para participar no Lisboa Soa de 2019, foi-me necessário converter o *Atmosmancer* para uma instalação fixa e adaptar a forma de apresentação do instrumento, tanto na aparência visual como no modo espacialização dos sons. Assim, os desafios principais consistiram em definir uma forma de proteger os sensores e realizar uma sonificação mais envolvente.

Começando pelo modo de apresentação visual, era o meu desejo dar ênfase à encenação do instrumento como um dispositivo de divinação e continuar com uma configuração que evocasse o elemento ar, como já tinha feito na *Atmosmancy*. Assim, centrei-me em três arquétipos da atmosfera e do ar: o octaedro platónico — Figura 20 —, a translucidez e a suspensão. O meu desejo era ter um invólucro que suspendesse os sensores no ar e que os protegesse da chuva e do vento, permitindo, contudo, uma boa circulação de ar entre exterior e interior. A translucidez tinha duas razões de ser: significar a presença invisível do ar e dos seus constituintes e permitir a observação dos órgãos de sensorialidade do instrumento.



Figura 20 — A geografia do elemento ar como conceptualizada por Platão e ilustrada no *Mysterium Cosmographicum* de Johannes Kepler, 1597

Para concretizar esta parte do trabalho, colaborei com o arquiteto e artista de banda desenhada, André Pereira. Indiquei-lhe os três princípios base e o artista apresentou alguns esquemas conceptuais. Concomitantemente, ambos visitámos a Estufa Fria alguns meses antes do evento para definir a localização da instalação, estruturas de suporte e relação com a envolvente — Figura 22.

Após algumas tentativas e discussão, o André Pereira apresentou-me o conceito esquematizado na Figura 21.

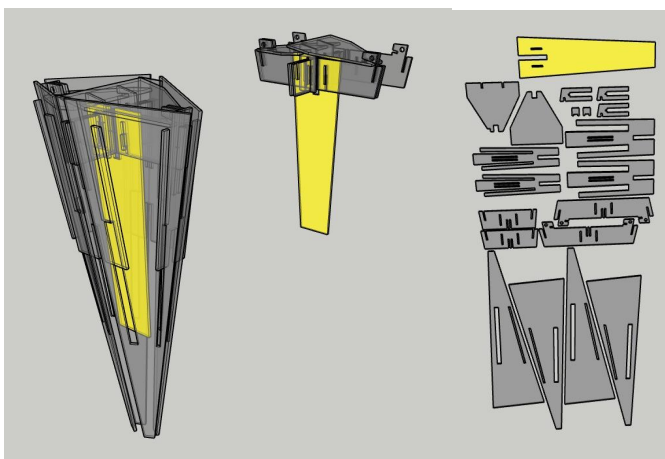


Figura 21 — Conceptualização visual do abrigo de sensores do *Atmosmancer* e das suas partes individuais.⁶⁹

⁶⁹ Desenhos por André Pereira.

Como vemos nas Figura 21 e Figura 22, a estrutura segue os princípios que defini: inspira-se livremente no octaedro platónico, é construída em vidro acrílico — para evocar a translucidez do ar — e está apta a ser suspensa facilmente.

O invólucro foi esquematizado em várias peças que se encaixam e suportam umas outras. A sua montagem é fácil e o sistema funciona como desejado, permitindo proteger os sensores e circular facilmente o ar entre exterior e interior.

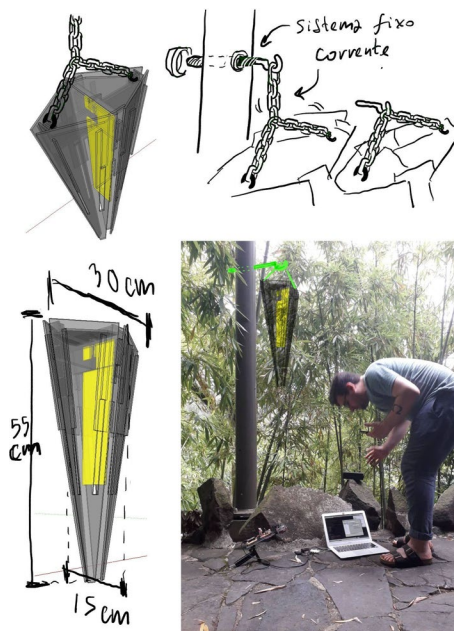


Figura 22 — Esquício do abrigo de sensores do *Atmosmancer* e visualização potencial da sua instalação no espaço.⁷⁰

3.3.3.2 — Instalação no local

Para instalar o *Atmosmancer* na Estufa Fria foi necessário explorar o local e tentar perceber qual o espaço que proporcionaria boas condições atmosféricas para a demonstração do instrumento. Adicionalmente, preocupava-me encontrar um cenário que, em conjunto com o *Atmosmancer*, gerasse as condições ideais para um encontro estranho ou encantatório com o lugar. À semelhança do indicado por Edensor e Sumartojo (2015, p. 259)⁷¹, a criação de uma atmosfera singular no local seria útil para salientar a poluição do ar e com isso combater o aspeto vulgar e negligenciado que tem no nosso quotidiano.

Inicialmente, pensei em colocar o *Atmosmancer* perto de uma pequena caverna na área norte do jardim da Estufa Fria — Figura 23. Esta era uma das localizações mais isoladas e cobertas de vegetação. O teto da Estufa Fria em caniçada e as canas de bambu que povoam

⁷⁰ Fotos e desenhos por André Pereira.

⁷¹ Ver secção 1.3.1 .

esta zona criavam feixes de luz que poderiam contribuir para uma atmosfera, a meu ver, mais radiante e contemplativa. Adicionalmente, o ranger das canas e o farfalhar das suas folhas eram um complemento que acompanharia perfeitamente a paisagem sonora criada pelo *Atmosmancer*. Contudo, após alguns testes nesta zona, apercebi-me de que o interior da Estufa Fria é, na verdade, um local cujo ar é consideravelmente limpo. As concentrações de partículas e COV eram quase inexistentes. Apenas as de NO₂ tinham uma maior expressão que, ainda assim, não era suficiente para demonstrar as capacidades do instrumento.



Figura 23 — Localizações da Estufa Fria testadas para instalar o *Atmosmancer*.⁷²

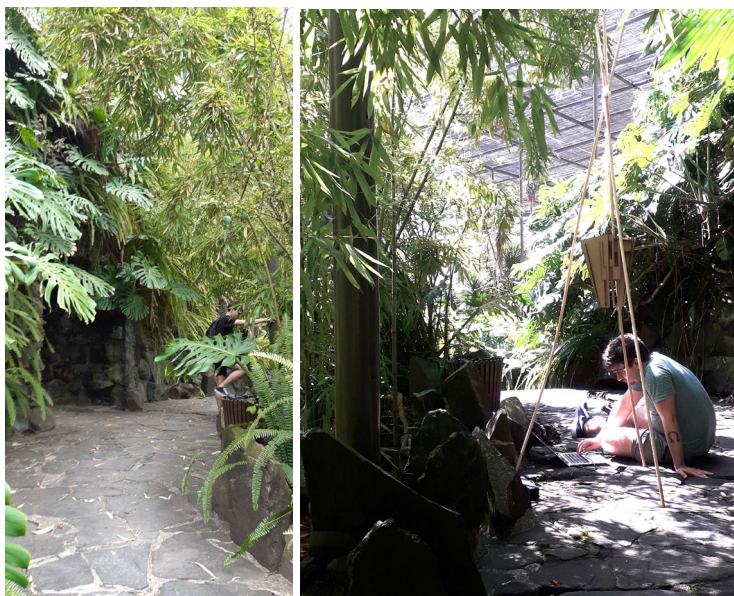


Figura 24 — Testando o *Atmosmancer* na primeira localização, já com uma maquete em madeira da estrutura que albergaria os sensores (imagem à esquerda). (Fotos por André Pereira)

⁷² Fonte da imagem: Estufa Fria de Lisboa

Face a este problema, foi necessário que ponderasse duas abordagens. A primeira seria semelhante ao trabalho de Brian Foo (2014)⁷³, em que operava com uma sonificação de polaridade inversa. Ou seja, à medida que as concentrações do ar aumentavam, podia “poluir”, isto é, degradar ou distorcer uma composição sonora harmoniosa que estaria sempre a tocar. O que se verificaria, nesse caso, seria um ar do local bastante limpo, com ocasionais intromissões de poluentes que perturbariam a composição tocada. Apesar de ser uma alternativa que poderia ser viável, acabei por não seguir por esta via. Não só a composição do *Atmosmancer* já se encontrava num estado demasiado avançado para recomencá-la, como aquilo que se pretendia deste instrumento era demonstrar a presença dos poluentes pelos sons que vão surgindo. Ou seja, interessava-me mais verificar como a quantidade de poluentes contribuía para compor a atmosfera musical do que a forma como modificavam uma composição já existente.

A outra opção seria encenar o próprio ar. Aqui, pensei em queimar carvão para «hookahs», incenso, libertar aromatizantes no ar ou estratégias similares que modificassem momentaneamente a atmosfera química do local. Estas soluções ocorreram-me por serem métodos semelhantes aos que utilizo para ir fazendo testes com *Atmosmancer* à medida que estou a programá-lo.

Contudo, no interior da Estufa Fria, como é compreensível, não é possível atear fogos, pelo que tive de pensar, definitivamente, em relocalizar o instrumento. Perante esta situação, foi útil para mim trocar ideias com a curadora do Festival, a Raquel Castro, que manifestou a vontade de que instrumento tivesse um forte potencial de interação direta com o público. Assim, a curadora sugeriu-me que o colocássemos perto do bar do festival, numa zona onde seria possível ao público estar reunido e a fumar, portanto, algo que também contribuiria para ativar o instrumento. Como a zona do bar fica na orla exterior da Estufa Fria, seria possível retomar a ideia de encenar a qualidade do ar através da queima de incensos e libertação de outras substâncias. Ademais, o instrumento estaria mais exposto à poluição das vias envolventes do Parque Eduardo VII e, como tal, esta zona mais exterior do jardim tornava-se mais propícia à ativação “passiva” do instrumento. Tendo em conta todos estes fatores, e por pragmatismo, escolhi o bar como a localização definitiva para instalação do instrumento, suspendendo-o num candeeiro de iluminação na zona oeste do local.

⁷³ Ver secção 1.1.3.



Figura 25 — Testando duas hipóteses para a segunda localização e escutando as sonificações *in situ*.⁷⁴

Adicionalmente, apesar do instrumento reagir melhor nesta localização, decidi, ainda assim, prosseguir com a encenação da atmosfera através do uso de incensos: pendurei dois pequenos frascos de cobre junto à peça e, ocasionalmente, ao longo do dia, fui queimando o incenso, deixando-o circular livremente pela zona. Desta forma, adicionei mais um fator de controlo contingente da performance do instrumento, uma vez que ora o incenso serpenteava no ar até aos sensores do *Atmosmancer*, ora era soprado para os lados sem entrar em contacto com eles.

Em relação aos parâmetros sonoros da instalação, foi necessário fazer alguns ajustes às especificidades do local. Como já discuti anteriormente, trata-se de uma instalação quadrifónica. Assim, requisitei, junto dos técnicos do festival, colunas com um mínimo de 7 polegadas de «woofer», sem especificar a marca. Este requisito teve a ver com ter uma potência e gama de frequências minimamente aceitáveis para expor a instalação no exterior.

A disposição das colunas foi outro desafio, uma vez que o *Atmosmancer* ficou localizado num corredor de passagem, onde era difícil espaçar adequadamente os altifalantes. Acabei por colocar duas delas no interior de um caniçal e as outras duas no topo do gradeamento exterior da Estufa Fria. Decidi, também, que as colocaria a uma altura de sensivelmente 2 metros a 2,5 metros, anguladas para baixo. A minha intenção era criar uma sensação de que os sons estão a cair de cima sobre nós e a rodear-nos, replicando o comportamento da própria poluição atmosférica.

⁷⁴ Fotos por André Pereira.



Figura 26 — Encenando a Atmosfera com incenso.⁷⁵

Dada a vegetação e o espaço exterior, tornou-se necessário dar um pouco mais de ênfase a alguns sons, especialmente àqueles que se poderiam facilmente misturar com os sons do tráfego, como os baixos ou sons com bandas de frequências mais largas. Ajustar os volumes da sonificação global e de cada uma das individuais foi, na verdade, um processo contínuo ao longo dos dias em que a obra esteve exposta, em que procurei sempre o melhor equilíbrio possível para esta localização. O número de pessoas que poderia ocupar o espaço e a quantidade de ruído que daí poderia advir, tal como a existência de outras instalações sonoras nas imediações, levou-me a estar atento à paisagem sonora e a fazer mudanças em função das necessidades do momento. Procurei, com isto, evitar que o instrumento se tornasse demasiado intrusivo ou demasiado subtil.

⁷⁵ Fotos por Taiga Trigo.

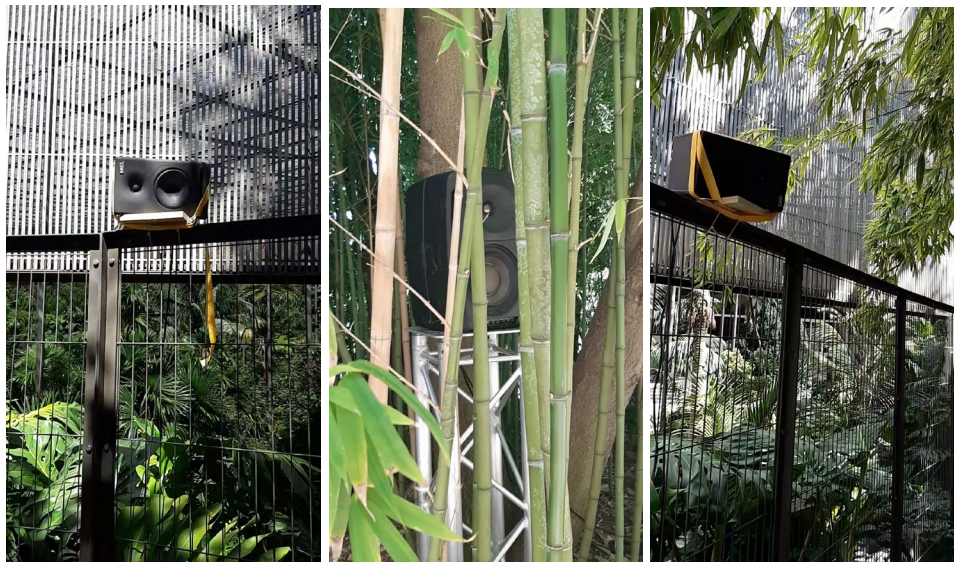


Figura 27 — Três dos quatro altifalantes da instalação *Atmosmancer*



Figura 28 — Localização final do *Atmosmancer*

3.3.3.3 — Desenrolar das sonificações

No Lisboa Soa 2019, o *Atmosmancer* esteve em operação entre os dias 12 e 15 de setembro, entre as 9 horas e as 19h30m. O instrumento operou em contínuo durante esse intervalo de tempo, e os ritmos diários da atmosfera meteorológica no parque Eduardo VII ficaram bem patentes nos movimentos das sonificações.

Se, por um lado, a Estufa Fria criou desafios específicos à instalação, por outro, conduziu a descobertas interessantes. Como discuti anteriormente, apesar da estufa se encontrar rodeada por algumas das zonas de tráfego mais movimentadas de Lisboa, parece proporcionar uma bolsa de ar fresco no coração da cidade, limitando as sonificações de COV e PM. Contudo, diariamente ao longo da semana do festival, a sonificação do NO₂, em particular, começava a aparecer e a crescer por volta das 18h e até às 19h30m. Esta escalada do NO₂, ao final do dia, manifestava-se com o surgir mais pronunciado da respetiva sonificação, que, a cada par de minutos, aumentava a velocidade da sample que era tocada, tornando-se cada vez mais aguda — como se uma buzina de barco se fosse transformando, progressivamente, em longas buzinas de trânsito. Com o surgimento da segunda parte, correspondente a níveis muito elevados do poluente, escutava-se uma toada aguda, desafinada e urgente, circulando de forma assertiva no interior e para lá do espaço da instalação.

► Áudio 13 — *Atmosmancer*: Instalação no Lisboa Soa 2019 durante a manhã, gravação binaural

► Áudio 14 — *Atmosmancer*: Instalação no Lisboa Soa 2019, fumo de incenso encontra os sensores, gravação binaural

► Áudio 15 — *Atmosmancer*: Instalação no Lisboa Soa 2019, NO₂ elevados ao aproximar do fim de tarde, gravação binaural

Este aumento e progressão do NO₂ encontra-se estreitamente relacionado com os movimentos pendulares da cidade, pois o regresso a casa do trabalho faz com que o tráfego na cidade cresça exponencialmente nessa hora do dia e, por consequência, que o mesmo aconteça com a poluição do ar. O soar mais intenso da sonificação do NO₂ durante essas horas, em comparação com o dos outros poluentes, tem a ver com este poluente ser capaz de viajar para longe das suas fontes e, portanto, conseguir chegar facilmente ao interior do jardim ou mesmo às zonas mais periféricas da cidade.

Como também já referi, os sensores COV e PM foram ativados, sobretudo, através da encenação da atmosfera, quer utilizando incensos quer pelos visitantes do Lisboa Soa que

fumavam nas proximidades do instrumento, despoletando as partes mais agitadas da composição. Por vezes, sem grande razão aparente, o sensor de COV respondia com maior intensidade. Nestas alturas, suponho que uma massa mais concentrada das substâncias tinha acabado de passar pelo instrumento. Uma vez que os COV também podem ser produzidos por plantas, coloco a hipótese de que estas possam ser a fonte. Contudo, estes episódios foram esporádicos e não observei qualquer cadência específica que pudesse indicar alguma relação com o ritmo circadiano das plantas.

Durante todo o decorrer da exposição, o tempo esteve, com exceção de apenas um dia, seco. Neste dia mais húmido, as sonificações ficaram marcadas por uma reverberação mais forte do que nos dias anteriores, dando assim expressão a esta qualidade meteorológica através da sonificação dos dados captados pelo sensor de humidade.

3.3.3.4 — Relação com o público

O contacto com o público foi uma das questões mais relevantes na exposição desta obra. Ao longo da semana em que estive a acompanhar a minha instalação, fui abordado por pessoas curiosas e fascinadas com o instrumento. Tive a oportunidade de ter várias discussões interessantes sobre arte sonora e sonificação como técnica artística, que enriqueceram o meu conhecimento; porém, também me deparei com um profundo desconhecimento dos problemas da poluição do ar nos visitantes. Assumindo que estes contactos são, pelo menos parcialmente, representativos da sociedade em geral, é possível concluir que muitas pessoas ainda desconhecem quais são os principais poluentes. E, acima de tudo, quais são as suas fontes e quais os seus impactos na saúde humana e ambiental.

Cada interação começava sempre com algum espanto por parte do visitante. Primeiro, vinha um olhar de estranheza sobre a estrutura, seguido pela leitura da folha de sala e por um circundar curioso em torno do instrumento e do círculo implícito na disposição das colunas. “Fazer música a partir de poluição?! Não percebo”. Esta foi a pergunta mais habitual que me foi dirigida, dando-me a oportunidade de explicar o instrumento, o seu funcionamento, os sensores em causa, os poluentes e os sons que lhes estavam associados. Nestes momentos, costumava acompanhar estes esclarecimentos com uma demonstração com o incenso, que torna imediatamente perceptível a interação em jogo entre a atmosfera e o instrumento. Por volta das 19h, era também possível chamar a atenção dos visitantes para o crescimento do NO₂ e discutir as suas causas e consequências.

Muitos visitantes aproveitaram para interagir com o instrumento ao fumar nas suas imediações, o que desencadeava as sonificações mais intensas do instrumento. Então, tal como uma embalagem de tabaco, aproveitava para lhes lembrar que as quantidades de poluentes presentes no fumo e detetados pelo instrumento são muito prejudiciais à saúde. Em

vez de ser recebido com o desdém de quem tentou uma pedagogia de bom moralista, os visitantes riam-se e admitiam a advertência.

Acima de tudo, aquilo que me ficou mais marcado foi como o encontro com o instrumento provocava sempre um momento de fascínio. A este, seguia-se curiosidade e abertura para discutir o seu funcionamento e o fenómeno da poluição do ar, nas suas vertentes estéticas, sociais e políticas. Este tipo de interação foi algo que voltei a encontrar no ano seguinte, quando pude presenciar as «Environmental Bikes» de Kaffe Matthews⁷⁶. Neste caso, andar de bicicleta enquanto se escutavam e recolhiam dados de ambiente era uma fonte de prazer lúdico e curiosidade para os participantes na experiência e a artista providenciava no fim um momento de discussão e apresentação dos dados geolocalizados.

Esta é uma das formas pelas quais se manifesta a vertente militante e política inerente à criação de tais instrumentos. Ao acompanhar a exposição do instrumento, ao estar presente com ele, o artista disponibiliza-se para confrontar, discutir e elucidar o público sobre o instrumento e o problema em causa.

⁷⁶ Ver secção 1.1.3.

Capítulo 4 — *Weather-World Harps*

4.1 — Apresentação

Neste capítulo, descreverei o processo de criação e o funcionamento das *Weather-World Harps*, uma instalação que consiste em três grupos de guitarras elétricas, que são atuadas por dispositivos como motores e sustentadores eletrónicos. Em cada grupo a variável de controlo dos modos de atuação é a concentração de um poluente específico. Como nos casos anteriores, os valores de poluição são obtidos por sensores de qualidade do ar que detetam poluentes como PM₁₀, COV e NO₂.

O motivo que me levou a criar esta instalação foi o de continuar as minhas experiências de sonificação com poluição atmosférica, desta vez utilizando um instrumento eletroacústico, nomeadamente, a guitarra elétrica. Esta opção decorreu de considerar que a guitarra me permitiria explorar outros modos de sonificação em que a fonte sonora não é digital. Apesar das imensas potencialidades que o digital oferece no desenho de som, encaro-o como um meio que exige um planeamento rigoroso, i.e., um modo de trabalhar fortemente analítico e calculado. No caso das *Weather-World Harps*, procurei trabalhar com um processo mais exploratório e heurístico, em que as experiências com diferentes materiais e modos de atuação resultam em acidentes e surpresas produtivas na geração de som. Mais ainda, quis trabalhar com sons de origem material, isto é, resultantes da libertação de energia proveniente do choque entre duas superfícies sólidas no mundo real. Aqui interessa-me o som analógico pela sua “granularidade” que torna cada atuação única e, por isso, menos cansativa e eventualmente inesperada. Mas também a dramatização patente na atuação física, que faz mover cordas e ressoar os corpos das guitarras, como modo de reforçar a relação entre as concentrações de poluição e a produção de sons.

A opção pela guitarra é influenciada por uma série de fatores. Por um lado, iniciei-me a tocar música com este instrumento e, embora nunca o tenha dominado, sempre tive o desejo de o utilizar numa instalação. Por outro, por ser um cordofone, mobilizo a sua relação de proximidade organológica com a harpa, mais precisamente com a harpa eólica. Como discuti no Capítulo 2, a harpa eólica é um objeto técnico que permite escutinar informação sobre a natureza e o ambiente. Contudo, essa função analítica nunca esteve desligada da sua função estética, que providencia uma experiência de maravilhamento e encantamento do lugar. A harpa eólica é, por isso, o instrumento que inspira conceptualmente o pensamento em volta desta instalação.

À medida que progredi neste trabalho, comecei a ver esboçado um tema comum nos instrumentos usados. A minha intenção era criar um *ensemble* de guitarras. Comecei com três guitarras, uma minha e outras duas emprestadas por amigos. Então, porque queria expressar os poluentes de diferentes formas, pedi mais guitarras a outros amigos. Ora, é precisamente a rapidez com que me foram disponibilizadas que revela o fio que as liga. Tal como a minha própria guitarra, tinham sido compradas na juventude; os seus donos aprenderam a tocá-las um pouco, mas com o tempo abandonaram a prática e guardaram permanentemente os instrumentos no saco. Em certo sentido, todos privámos as guitarras duma exposição mais intensa ao “mundo do tempo”. Não ficaram apenas resguardadas da atmosfera, mas também do próprio contexto de tempo e ação manual que as tornam usadas — *temperadas* — e para as quais foram construídas. A ideia de exposição ao tempo e à atmosfera corre todos os objetos desenvolvidos no contexto deste projeto de Mestrado. Se, no *Atmosmancer*, pretendi chamar a atenção para a exposição do corpo, para a sua inserção no ambiente, com as *Weather-World Harps*, pretendo reforçar esse sentimento, jogando também com a realocização e reinserção do corpo do instrumento na atmosfera. Por esta razão, procurei ativamente guitarras usadas cujos proprietários lamentavam não as poder utilizar. Tal não foi difícil: não só vários amigos e amigas tinham essa queixa, como nos websites de vendas em segunda mão era fácil deparar-me com uma afirmação semelhante a “vendo, porque já não toco e está no saco a ocupar espaço”.

O interesse pela guitarra prende-se, ainda, com a sua extensa gama dinâmica e tímbrica. O seu som pode ser modificado extensamente com recurso a efeitos e técnicas de tocar. Por esta razão, sempre me fascinaram as técnicas utilizadas por bandas e intérpretes como Sonic Youth, Glenn Branca, Phil Niblock, Derek Bailey, Fred Frith, entre outros. Estes artistas não se limitam às convenções do que é e de como deve ser tocada uma guitarra. Experimentam com diferentes afinações para lá da chamada afinação standard⁷⁷. Por exemplo, muitas das músicas de Sonic Youth incluem partes de guitarras em que todas as cordas estão afinadas na mesma nota, podendo por vezes estar ligeiramente desafinadas de forma a criar um som mais hipnotizante. Ademais, muitos destes artistas recorrem a preparações, i.e., alterações com objetos externos, para modificarem ainda mais a morfologia sonora do instrumento. Os mesmos Sonic Youth são conhecidos pela sua vasta coleção de guitarras preparadas, nas quais colocavam pequenos objetos entre as cordas — e.g., clips, molas e baquetas. O termo “preparação” tem origem nas obras de “piano preparado” de John

⁷⁷ A afinação standard é a afinação mais convencional da guitarra em que as cordas, da mais fina para a mais grossa, estão afinadas nas seguintes notas: Mi, Si, Sol, Ré, Lá, Mi.

Cage, em que o compositor aplicava estas técnicas para adicionar variabilidade e imprevisibilidade aos sons emitidos pelo instrumento.

Ou seja, para mim, estas técnicas são importantes por expandirem o som da guitarra e criarem condições para o acidental e o inesperado durante a sua performance. São uma forma de aumentar a sua ergodinâmica, ou seja, o seu potencial expressivo e a sua capacidade para surpreender e maravilhar (Magnusson, 2019, p. 11). A meu ver, estes aspetos são muito importantes para veicular interesse em sonificações de questões ambientais.

De seguida discuto a conceptualização, construção, composição das sonificações e exposição deste instrumento. Para que o leitor fique contextualizado em relação aos detalhes que de seguida irei aprofundar, os ficheiros áudio referenciados abaixo apresentam uma gravação binaural e dois vídeos que demonstram a operação das *Weather-World Harps* durante a sua exposição na AUDIRE 2022 e na ICLI 2022.

► Áudio 16 — Gravação binaural de passeio entre as *Weather-World Harps* durante a exposição AUDIRE 2022

🎥 Vídeo 1 — Weather-World Harps na exposição ICLI 2022 e entrevista com o autor

🎥 Vídeo 2 — Weather-World Harps em exposição na AUDIRE 2022

4.2 — Conceptualização, componentes e expressão

As *Weather-World Harps* foram criadas a partir da simples intenção de controlar guitarras a partir de dados de sensores de qualidade do ar. Contudo, à medida que avancei neste processo criativo, rapidamente as fronteiras entre as fases de conceptualização, escolha de componentes, a criação de expressão e o sonificar se esbateram entre si. Num processo que se tornou altamente iterativo e circular, a experimentação com uma dada ideia levou ao reconfigurar de componentes eletrónicas, do código e dos modos de expressão usados. Assim, nesta secção apresento de forma integrada todo o processo relativo à conceptualização, seleção de componentes e modos de expressão.

Enquanto instalação, a versão aqui apresentada das *Weather-World Harps* está dividida em três conjuntos de guitarras. Cada grupo encontra-se alocado a um dado sensor e explora diferentes formas de fazer soar os instrumentos. Os sensores usados e, consequentemente, os poluentes medidos, foram os mesmo que utilizei para o *Atmosmancer*: PM₁₀, COV e NO₂⁷⁸.

⁷⁸ Ver Quadro 4.

Cada conjunto é composto por três categorias de componentes: de deteção e controlo, de atuação e eletroacústicas. Nas componentes de deteção e controlo, incluo os sensores, o microcontrolador e um ecrã digital para referenciar visualmente os valores medidos. Nas componentes de atuação, encontramos os dispositivos que movem e ativam partes que excitam som das guitarras, nomeadamente, motores e sustentadores eletrónicos — e.g. EBow — e outros componentes necessários à sua ativação, como relés e «drivers» de motores. Por fim, nas componentes eletroacústicas, estão os instrumentos e partes que contribuem para o som produzido: guitarras e suas preparações, afinações, amplificadores e os objetos que excitam o som das guitarras, por exemplo, paus e fitas de plástico.

O primeiro passo foi determinar que tipo de expressão utilizar para cada grupo de guitarras e como a automatizaria. Uma vez estabelecidos esses pontos, passei para a sonificação, ou seja, para o mapeamento de dados a eventos sonoros das guitarras.

Abaixo segue-se a descrição pormenorizada de cada um dos conjuntos de sonificação das *Weather-World Harps*.

4.2.1 — Harpas de COV

As harpas de COV, como o nome indica, são aquelas que sonificam os valores obtidos pelo sensor de compostos orgânicos voláteis. O sistema de deteção e controlo é composto por um sensor CCS811, um visor LCD, para auxiliar a leitura da poluição, e um microcontrolador Arduino Uno, para cálculo dos valores de poluição e controlo dos atuadores.

No que diz respeito à atuação, tinha interesse em trabalhar com sustentadores eletrónicos. Estes dispositivos são capazes de excitar e sustentar as cordas como se estivessem a ser tocadas por um arco de violino. O seu som pode ser meloso, quando atenuado nas frequências mais altas; semelhante a um violino quando o sustentador é manuseado de baixo para cima ao longo da corda; ou abrasivo e perfurante como «feedback», quando deixados a sustentar durante muito tempo. A inspiração para recorrer a sustentadores nesta instalação está, também, relacionada com ser um dispositivo amplamente usado para criar «drones» musicais ou fundos atmosféricos⁷⁹.

À semelhança do *Atmosmancer*, queria produzir uma sonificação em que o aumento da poluição correspondia a um aumento do número de notas tocadas. Da mesma forma, queria que as notas surgissem e desaparecessem sem uma sincronização rígida. A minha

⁷⁹ Por exemplo, Phill Niblock recorre frequentemente ao sustentador EBow para criar longos e progressivos «drones», como fica patente em álbuns como *Touch Food* [Touch, 2003] ou *Touch Strings* [Touch, 2009]. Os álbuns *Siamese Dream* [Virgin, 1993] e *Melancholy and the Infinite Sadness* [Virgin, 1995] da Banda Smashing Pumpkins possuem temas que podem conter dezenas de camadas de EBow, produzindo, densas atmosferas sobre as quais as melodias da banda assentam.

intenção era, de certa forma, emular o funcionamento de uma harpa eólica, em que quanto maior a velocidade do vento, maior é a diversidade de tons tocados e mais densa é a sua toada. Assim, coloquei dois ou três sustentadores em cada guitarra, o que me possibilitou extrair duas ou três notas de cada, num total de sete para o conjunto.

Os dois modelos de sustentador eletrónico usados foram o EBow Plus e o Joyo Infinite Sustainer. O EBow Plus é o dispositivo original inventado por Greg Heet em 1969 (Heet, 1978). O Joyo, por seu lado, é um modelo mais recente de outra marca, mas praticamente igual ao original.



Figura 29 — Modelos de sustentador utilizado nas *Weather-World Harps*

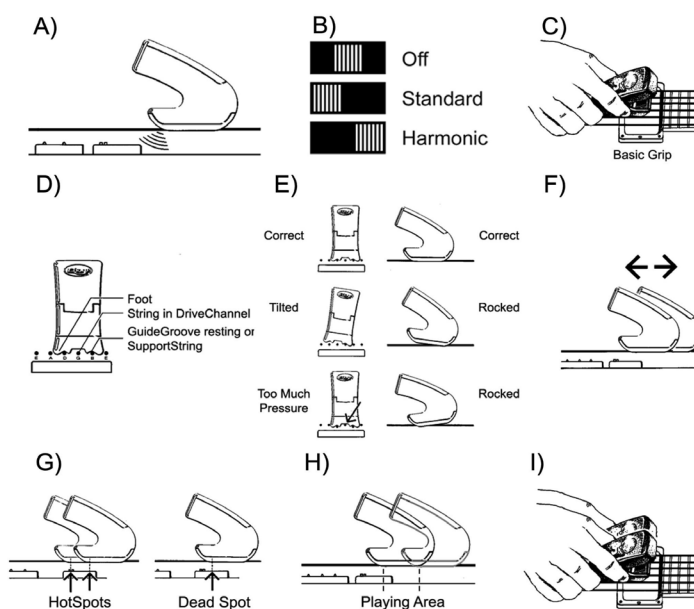


Figura 30 — Funcionamento de um sustentador típico⁸⁰

- A) Campo eletromagnético emitido pelo sustentador faz a corda vibrar; B) modos de funcionamento: modo Standard excita principalmente a fundamental da corda e alguns dos seus harmónicos; modo Harmónico ativa apenas os harmónicos superiores; C) Pega básica do sustentador; D) Como assentar o sustentador nas cordas; E) Formas corretas e incorretas de posicionar o sustentador; F) movimentos básicos; G) locais mais sensíveis da guitarra à sustentação; H) área mais propícia a tocar; I) movimento entre cordas para efeito de tremolo e arpejos.

⁸⁰ Fonte das imagens: <https://EBow.com/translate/>

Os sustentadores eletrónicos são pensados para serem manuseados. Como se apresenta na Figura 30, o sustentador típico funciona produzindo um campo magnético que oscila e toca a corda como se fosse um arco de violino. Para sustentar uma nota, o dispositivo é alinhado com a corda que se quer tocar e assentado nas adjacentes. O guitarrista segura e movimenta o sustentador perto dos «pickups» com uma mão até que a nota comece a sustentar. Com a outra mão no braço da guitarra pode tocar notas, fazer slides, ou acordes. O sustentador possui dois modos de operação: standard e harmónico. No modo standard, o timbre consiste principalmente no tom fundamental. Já o modo harmónico favorece a oscilação nos harmónicos superiores, o que torna o tom mais agudo (Heet Sound Products, sem data). Diferentes técnicas tornam possível obter diferentes tipos de expressão. O guitarrista pode mover o sustentador para baixo e para cima na corda por forma a regular o volume, inclinar para alterar o timbre entre mais limpo e mais distorcido, ou movê-lo rapidamente entre cordas para produzir efeitos de tremolo e arpejos.

A automatização com que trabalhei neste conjunto não me permite usufruir da maioria dos modos de expressão que estão disponíveis manualmente. Limitei-me a posicionar o sustentador num local fixo e automatizar o seu ligar e desligar. Efetivamente, isto é semelhante a tocar o sustentador como se fosse uma tecla de piano: quando ligada, ou “pressionada”, o tom é ativado; quando largada, o tom liberta-se e silencia-se. O posicionamento no braço permite controlar o volume geral e o ataque, ou seja, a duração entre o início do som e a sua amplitude total. Adicionalmente, a inclinação e a proximidade à corda permitem afetar o timbre.

O primeiro desafio deste conjunto foi como automatizar o ligar e o desligar do sustentador. Por norma, estes dispositivos usam uma pilha de 9 Volt que fica albergada no seu interior. Tendo isso em consideração, desenvolvi um sistema em que a bateria e o interruptor da unidade são substituídos por uma ligação a um relé controlado por Arduino — Figura 31 a Figura 34. O relé é um eletroímã que estabelece ou interrompe circuitos automaticamente. Se o interruptor do sustentador estiver sempre ligado num dos modos, o relé substitui-o. Através do Arduino, implementei instruções que controlam automaticamente o relé de forma que este interrompa ou estabeleça o circuito entre uma fonte de alimentação e o sustentador. Assim, o controlo dos sustentadores é mediado por sete relés ligados a sete pinos de saída digital do Arduino.

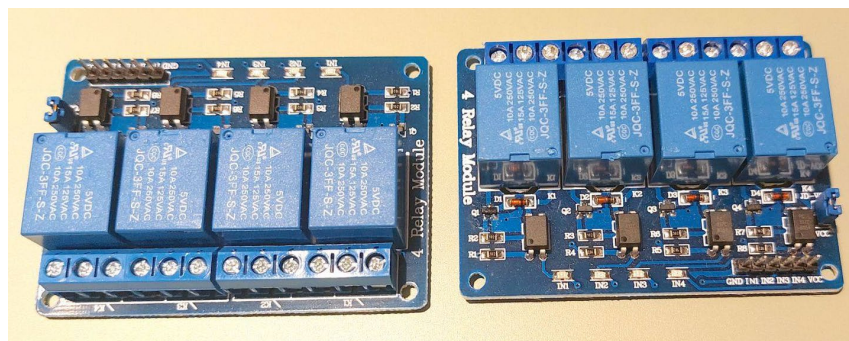


Figura 31 — Tipo de relés controlados por Arduino usados nas *Weather-World Harps*.

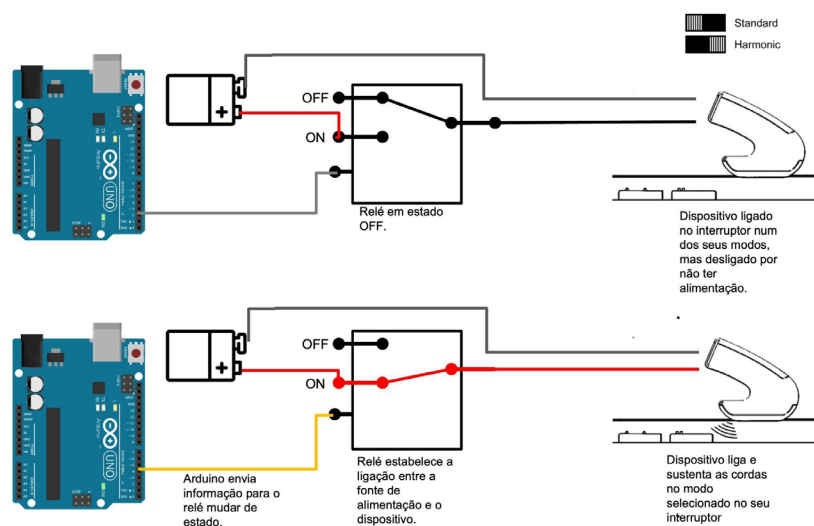


Figura 32 — Esquema de funcionamento dos relés e sustentadores nas *Weather-World Harps*.

Os relés funcionam como interruptores que são ligados e desligados por instruções do Arduino. Ao colocar o interruptor do sustentador sempre ligado num dos modos, o relé passa a exercer a função de ativar ou desligar a unidade. Assim, quando o relé estabelece a ligação, o sustentador inicia a vibração da corda. Quando o relé desfaz a ligação, o sustentador desliga-se e o tom silencia-se.

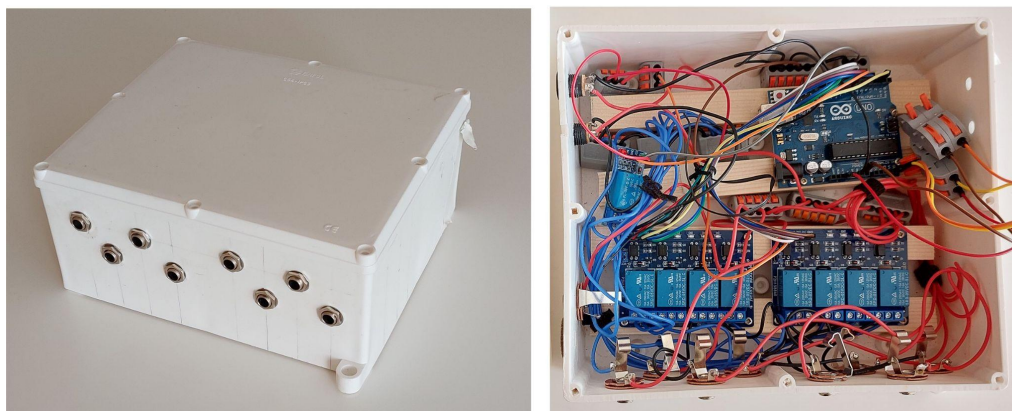


Figura 33 — Exterior e interior da caixa que alberga os relés e o Arduino nas *Weather-World Harps*.

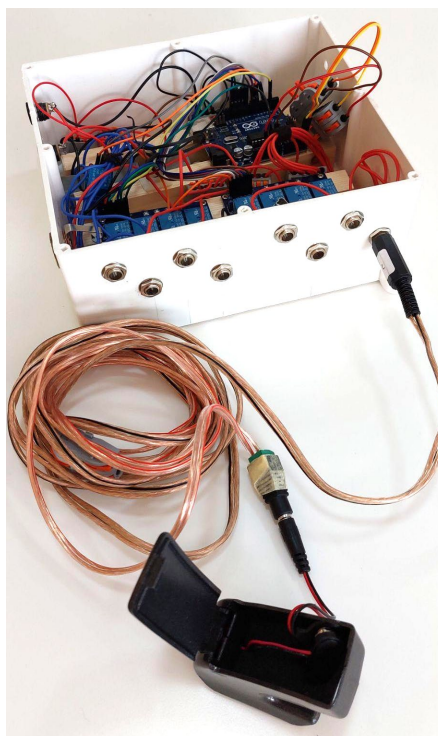


Figura 34 — Demonstração da ligação dos relés ao sustentador.

O sistema de controlo dos sustentadores encontra-se albergado dentro de uma caixa de derivação estanque, pois os relés produzem um clique ruidoso quando mudam de estado, interferindo com a escuta da instalação. A caixa estanque permite reduzir consideravelmente esse ruído e proteger os circuitos das intempéries.

O segundo desafio no desenvolvimento deste conjunto prendeu-se com o posicionamento e fixação dos sustentadores. Como já indiquei, trata-se de um aspeto que influencia o volume e ataque do som produzido. Quanto mais perto o sustentador estiver dos «pickups» da guitarra, mais rapidamente e mais alto vai sustentar a nota. A minha intenção era ter um ataque que fosse relativamente lento, na ordem de um ou dois segundos, de modo a suavizar a entrada da nota. Assim, fez mais sentido afastar o sustentador dos «pickups». Uma forma de o fazer seria colocá-los mais perto da ponte da guitarra, o que também facilitaria a fixação do dispositivo. Contudo, aqui surgiu um problema. Quando ligava e desligava o dispositivo, ouvia-se sempre um clique pouco musical e incómodo. Isso acontece porque o «pickup» capta o surgimento súbito do campo eletromagnético. Assim, a solução que encontrei para evitar este problema e, simultaneamente, suavizar o ataque da nota, foi colocar os sustentadores mais acima no braço da guitarra — Figura 35.

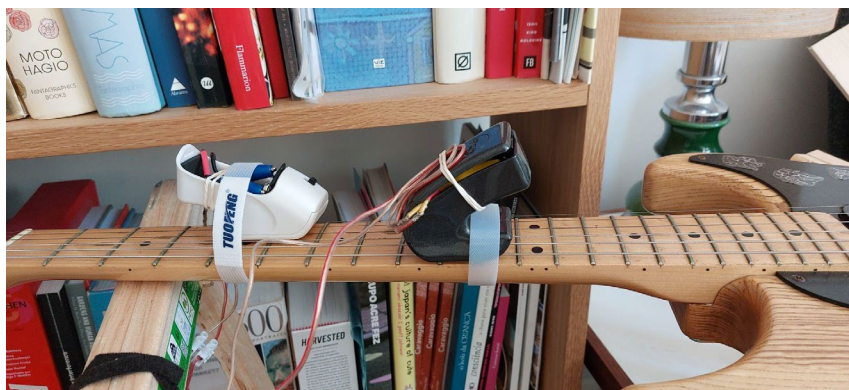


Figura 35 — Primeiros testes de automação e posicionamento dos sustentadores.

Esta decisão criou o problema de como fixar o sustentador numa zona onde há pouca superfície. Adicionalmente, por esta altura começaram também a surgir questões sobre como iria dispor a instalação. À semelhança do *Atmosmancer*, desejava continuar a trabalhar com a suspensão da escultura, pelo que sabia que queria as guitarras dispostas em altura e, preferencialmente, inclinadas de forma perpendicular ao chão. Assim, foi necessário desenvolver um sistema que fixasse os sustentadores no sítio e os impedisse de cair. Era também importante manter a sua posição relativamente estável, pois o mais pequeno ajuste pode retirar o dispositivo de alinhamento com a corda ou impedir que esse toque. A Figura 36 mostra a solução que desenvolvi para este problema. Para haver onde apoiar o mecanismo de suporte do sustentador, coloquei uma ripa de madeira paralela ao braço e agarrada ao corpo da guitarra. Para facilitar a regulação da altura do dispositivo em relação à corda, construí um mecanismo de “trilho guia de parafuso”. Com este é possível mover o dispositivo para baixo ou para cima apertando ou afrouxando um par de parafusos. Isso torna a montagem da instalação mais fácil, uma vez que consigo “afinar” facilmente a posição de cada sustentador de modo a extrair o tom que mais me agrada.

Nas componentes eletroacústicas, este conjunto inclui duas guitarras tipo «stratocaster», ligadas a dois mini-amplificadores a pilhas, e uma guitarra baixo do tipo «precision bass», ligada a um amplificador com ligação à tomada. A escolha destas guitarras específicas prendeu-se com serem, entre as que tinha disponível, as que melhor soavam com o sustentador. O uso deste baixo, por seu lado, foi fruto da circunstância, por ser o único ao qual tive acesso.

Nesta versão, também não usei um tamanho de corda específico, tendo trabalhado apenas com as cordas que já estavam nas guitarras e que eram relativamente convencionais: cordas de aço inoxidável com enrolamento e de calibre leve, com espessuras entre os 0,010 e os 0,046. O mesmo sucedeu com o baixo, em que usei cordas de um conjunto 0,045 a 0,100, com enrolamento de níquel.



Figura 36 — Suporte dos sustentadores nas harpas de COV.⁸¹

Esquerda em cima e direita em baixo: mecanismos de retenção do sustentador e de trilho guia de parafuso. O trilho guia de parafuso permite regular a altura e posicionamento do sustentador em relação às cordas da guitarra; Direita em cima: ripa de madeira agarrada à guitarra para apoiar o mecanismo de suporte dos sustentadores.

Um dos aspetos mais importantes foi decidir que modos do sustentador é que seriam utilizados e que notas. As minhas experiências levaram-me a escolher o modo standard para quatro cordas, três no baixo e uma na primeira guitarra deste conjunto. Nos restantes três sustentadores escolhi o modo harmónico, de forma a ter tons mais agudos. Em geral, queria que a toada que se formasse fosse sustentada por uma base grave, enquanto as notas agudas iriam surgir mais pontualmente para enaltecer o sentido de perigo associado a maiores concentrações de poluição.

Como indicado, os dois modelos utilizados são o EBow Plus e o Joyo Infinite Sustainer. O ideal seria que todos fossem EBows, porque têm um tom de melhor qualidade e maior potência para sustentar a corda, mas o Joyo custa a cerca de metade do preço do EBow Plus. Esta poupança financeira justifica-se, especialmente, quando nos limitamos ao modo harmónico, onde quase não existe diferença entre os dois modelos.

Para este conjunto, não tinha em mente uma escala de tons específica. Em vez disso, comecei por sustentar várias notas e afinar cada uma de modo a obter uma toada que me

⁸¹ Fotos por Ivo Louro — esquerda em cima — e Ricardo Geraldês — direita em cima e em baixo.

interessasse. Era também importante, tendo em conta os meus objetivos estéticos, não trabalhar com notas em afinações convencionais; como tal, deixei que o meu ouvido norteasse os tons que cada guitarra tocava. Apesar de ter ficado satisfeito com os resultados obtidos, tive de modificar a afinação para uma que fosse compartilhada com as outras guitarras, de forma a conseguir uma maior coerência tonal entre os vários conjuntos. A afinação final foi resultado do processo de experimentação que guiou a criação das harpas de NO₂, pelo que a sua discussão será aprofundada na secção dedicada a esse conjunto.

Ao nível da amplificação, os mini-amplificadores a pilhas revelaram-se suficientes para as guitarras elétricas, tendo a vantagem de serem mais portáteis e fáceis de montar do que amplificadores de tomada. No entanto, o baixo necessita de um amplificador com mais potência e maior altifalante, para que seja possível escutar as suas notas mais graves e subgraves. Assim, de todas as guitarras que utilizei, é o baixo que possui o maior amplificador. Nesta iteração, foi usado um amplificador de baixo Harley Benton HB-40B com altifalante de 10 polegadas.



Figura 37 — Amplificadores utilizados. Esquerda: mini-amplificadores a pilhas nas harpas de COV; Direita: baixo e amplificador

4.2.2 — Harpas de NO₂

As harpas de NO₂ realizam a sonificação das concentrações do poluente presente no local de instalação. O sistema de deteção e controlo consiste nas seguintes componentes: sensor MiCS-4514 de NO₂; visor LCD, para auxiliar na leitura de poluição; e um microcontrolador Arduino Mega 2560.

A atuação destas harpas consiste no uso de motores DC que seguram e rodam batentes, que, por sua vez, atingem o corpo da guitarra ou as suas cordas. Assim, as componentes de atuação consistem em cinco motores DC de 12 Volt, três «driver» de motor

L298N, e batentes de diferentes materiais para cada motor, e.g., fita de plástico, paus de bambu, bola de ténis de mesa ou palhinha de papel.

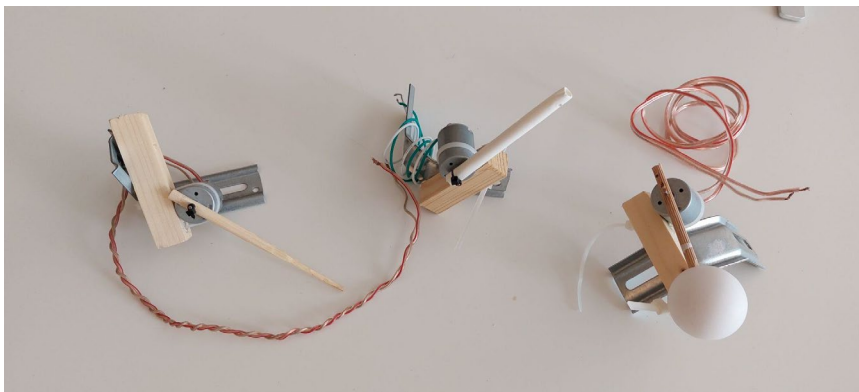


Figura 38 — Motores DC de 12 V e os três tipos de batentes utilizados nas harpas de NO₂.

Neste conjunto, tinha por intenção explorar as ressonâncias da guitarra ao bater em diferentes partes do seu corpo. Para que tal seja possível, é preciso bater com alguma força, o que exige batentes mais densos. Assim, escolhi motores DC de 12 volt, pois possuem um torque, i.e., a força de rotação, superior aos modelos de voltagem inferior. É vulgar encontrar motores em instalações sonoras, sendo que muitos artistas optam por motores servo — usados, com frequência em articulações robóticas — ou de passo, pois oferecem grande precisão na forma como se movem. Neste caso, a razão pela qual não utilizei motores servo foi por não estar disposto a aceitar o ruído associado ao seu funcionamento. Aqui, os motores DC são vantajosos, pois são bastante mais silenciosos. Por outro lado, o motor de passo é silencioso e possui maior exatidão e torque do que um motor DC. Contudo, é consideravelmente mais dispendioso do que o DC e a despesa adicional não se justificava, pois o tipo de expressão que queria usar não exigia um motor preciso na sua rotação.

A «driver» L298N é a componente que faz a interface entre o Arduino e o motor — Figura 39. Permite regular a velocidade e a direção de rotação de até dois motores independentes. Esta «driver» exige três pinos para cada motor, um para definir a velocidade e outros dois para a direção, o que aumenta significativamente as necessidades de saídas de controlo no microcontrolador. Por esta razão, escolhi utilizar o Arduino Mega 2560, pois encontra-se entre os que possuem mais pinos de saída, sendo muito superior, nesse sentido, às unidades mais pequenas como o clássico Arduino Uno.

As componentes eletroacústicas consistem em duas guitarras, com preparações ligadas a amplificadores pequenos de 10 Watt, e batentes de diferentes materiais. Especificamente, estava interessado em explorar técnicas não convencionais de tocar guitarra que produziriam sons ambíguos e difusos, assim como sons materiais e concretos. Na primeira guitarra das harpas de NO₂, procurei excitá-la sem tocar nas suas cordas. Aprendi

esta técnica a partir de guitarristas como Lee Renaldo e Thurston Moore dos Sonic Youth, que batem ou roçam o corpo e braço de guitarra com baquetas, paus ou os seus punhos e dedos. Esta técnica interessa-me, pois, a meu ver, confere uma delicadeza de toque que resulta num acorde difuso, um pouco ambíguo na sua tonalidade, possuindo uma reverberação intrínseca, ressonâncias e ténues batimentos de frequência — ou seja, possuindo qualidades atmosféricas.

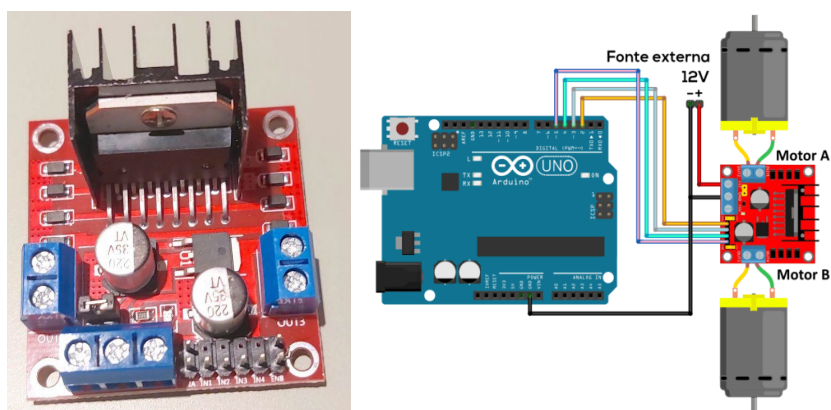


Figura 39 — «Driver» para motores L298N para Arduino e esquema de ligação típico.⁸²

Com esta decisão surgiram dois parâmetros importantes, que influenciam o som produzido, com os quais tive de trabalhar durante a experimentação com este conjunto, sendo estes a escolha e o posicionamento dos batentes.

Na primeira guitarra, comecei por explorar a sua sonoridade ao bater com as mãos, com pauzinhos *hashi* — i.e., os utensílios de madeira usados para comer em países como a China e o Japão — e palhinhas de papel no seu corpo, até encontrar os locais com sons mais ricos e diversos. Assentei na metade superior do braço por ser onde encontrei a zona mais sensível. Para os batentes, não segui um plano pré-determinado, mas antes utilizei materiais que tinha em casa ou na minha oficina que decidi testar. Adicionalmente, estes materiais eram leves o suficiente para serem movidos pelos motores.

Uma vez encontradas as posições e os materiais que melhor funcionavam, coloquei os motores na ripa de madeira agarrada à guitarra e fixei-lhes os batentes. Escrevi uma rotina de teste em Arduino que fazia mover os motores e batentes de um lado para o outro com um ritmo fixo e escutei os resultados. Este processo levou-me a trabalhar com a intensidade — ou velocidade — do movimento dos motores, a refazer a sua posição e a trocar materiais de batentes, até ter o conjunto que mais me satisfazia. No fim, escolhi uma bola de ténis de mesa, uma pequena vara e uma palhinha de papel como batentes. A escolha de três tipos diferentes

⁸² Fonte da imagem esquerda: ArduinoPortugal.pt (2017)

de material, associada à sua posição, foi guiada por tentar obter diferentes espectros do som com cada um. O batente com a palhinha é o mais suave e, como tal, tende a excitar os tons mais fundamentais da guitarra, sendo algo semelhante a tocar uma taça tibetana ou gongo com um batente com cabeça de feltro. Este foi o som que decidi associar a níveis de poluição baixos. Quanto mais duro o batente, mais rico em harmónicos será o timbre, pelo que os restantes objetos se tornam gradualmente mais densos. Assim, usando vários materiais para os batentes, posicionando-os em locais diferentes do braço da guitarra, e manipulando a sua intensidade e frequência de toque, obtive uma variedade de sons adequada a significar diferentes níveis de poluição de forma dinâmica.

É também neste processo que, por acidente, encontrei a afinação que iria usar em toda a instalação. Durante a experimentação de modos de atuação, coloquei um par de pauzinhos a atravessar as cordas nos terceiro e sétimo trastos da guitarra. Queria testar como soaria se, em vez de tocar no seu corpo, tocasse em objetos que lhe estavam acoplados — Figura 40. Gostei dos resultados e deixei a guitarra com essa preparação sem prestar muita atenção à afinação. Encontrava-me concentrado, nessa fase, em testar os modos de atuação, pelo que achei melhor deixar essa decisão para a última fase do processo. Contudo, ao testar o toque dos batentes na parte de trás do braço da guitarra, escutei um acorde que captou a minha atenção. Anotei, então, a afinação da guitarra com o auxílio de um afinador cromático e, posteriormente, repliquei-a em todas as outras. As notas registadas nesta afinação não seguem nenhuma convenção, sendo resultado da contingência intrínseca à experimentação que conduzi. O Quadro 7, abaixo, lista a afinação em questão.

Quadro 7 — Afinação das harpas de NO₂

Corda da guitarra	Nota*
1	D#4 + 50 cents
2	G#3 +30 cents
3	D#3 + 30 cents
4	B2 - 50 cents
5	F2 + 50 cents
6	C2 + 30 cents

* Com base no Lá4 a 440 Hz.

Na versão final da primeira guitarra das harpas de NO₂, apesar de não tocar nos pauzinhos atravessados entre as cordas, deixei-os no lugar, pois contribuem para a qualidade do acorde.

Este modo de expressão, em que toco nos pauzinhos em vez de diretamente no corpo do instrumento, foi usado na segunda guitarra do conjunto. Comecei por testar um batente feito apenas de um pauzinho semelhante, mas o som era demasiado agressivo quando atingia os paus presos nas cordas. Para o suavizar, preendi uma abraçadeira de plástico em cada pauzinho, criando uma extensão perpendicular desse, e verifiquei o que acontecia quando o batente a atingia — Figura 40. O som resultante era mais atenuado e próximo da minha intenção.

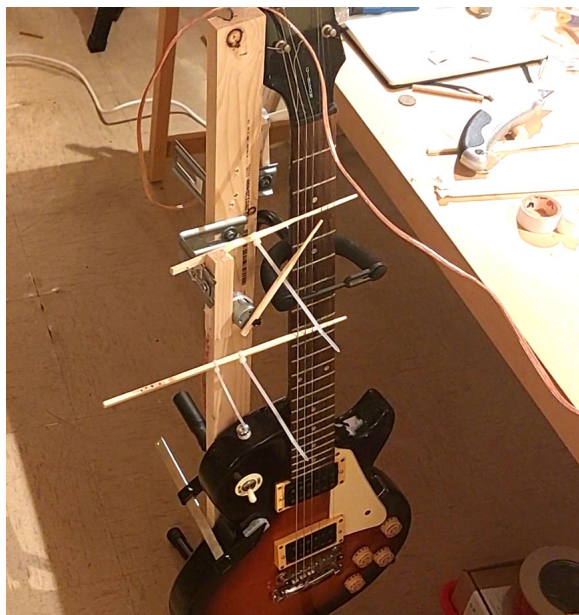


Figura 40 — Testes com atuação de paus de bambu presos entre as cordas da guitarra. Cada pauzinho tem uma abraçadeira de plástico presa. Essas projetam-se perpendicularmente ao pauzinho. A cada atuação o batente de bambu atingi-as erráticamente.

Nesta altura, também me apercebi que seria interessante definir secções para sinalizar os limites de segurança para a saúde. Queria que os limites superiores fossem representados por um som mais dramático, ou seja, súbito e alarmante. Atacar diretamente a corda pareceu-me uma boa forma de o fazer. Assim, coloquei um segundo motor nesta guitarra com uma abraçadeira de plástico posicionada para atacar as cordas junto ao trasto onze.

A posição dos motores no lado do braço também segue o princípio de atenuar a captação do seu campo eletromagnético por parte dos «pickups». O som resultante é equivalente a ouvir diretamente o motor a rodar, sendo, por isso, agudo e um pouco abrasivo. Trata-se de um elemento sonoro que pode ser musical, algo que percebi quando testei pedais de efeitos com a guitarra e obtive um assobio etéreo. Contudo, nesta versão, não encontrei

um espaço apropriado para este elemento e, como tal, optei por não o utilizar. Além disso, quanto mais testei as guitarras, melhor me soaram sem quaisquer efeitos.

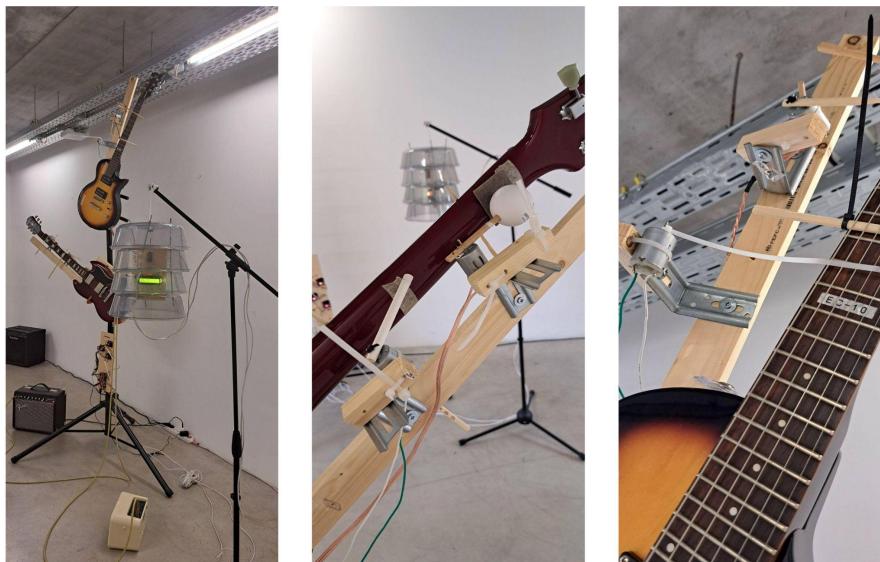


Figura 41 — Harpas de NO₂ e seus batentes

4.2.3 — Harpas de PM

No conjunto de guitarras que sonificam as partículas microscópicas suspensas no ar, as componentes de deteção e controlo são: o sensor de PM Gravity da DFRobot, um visor LCD e um Arduino Mega 2560.

As componentes de atuação são as mesmas das harpas de NO₂, excetuando os motores, que são de 5 Volt em vez de 12 Volt. Neste conjunto, escolhi expressar a sonificação ao tocar as cordas em *staccato*, ou seja, com um impacto rápido, de forma a individualizar claramente cada som. Cada motor segura uma pequena abraçadeira de plástico para bater em uma ou duas cordas de cada vez. Como a abraçadeira é muito leve, não foi necessário usar motores mais potentes.

A harpa de PM consiste apenas numa guitarra. O posicionamento dos motores é distribuído ao longo do braço, de forma a reduzir a captação das suas revoluções pelos «pickups». Nesta primeira versão, coloquei três motores, de modo que cada abraçadeira toque no mínimo duas cordas — Figura 42.

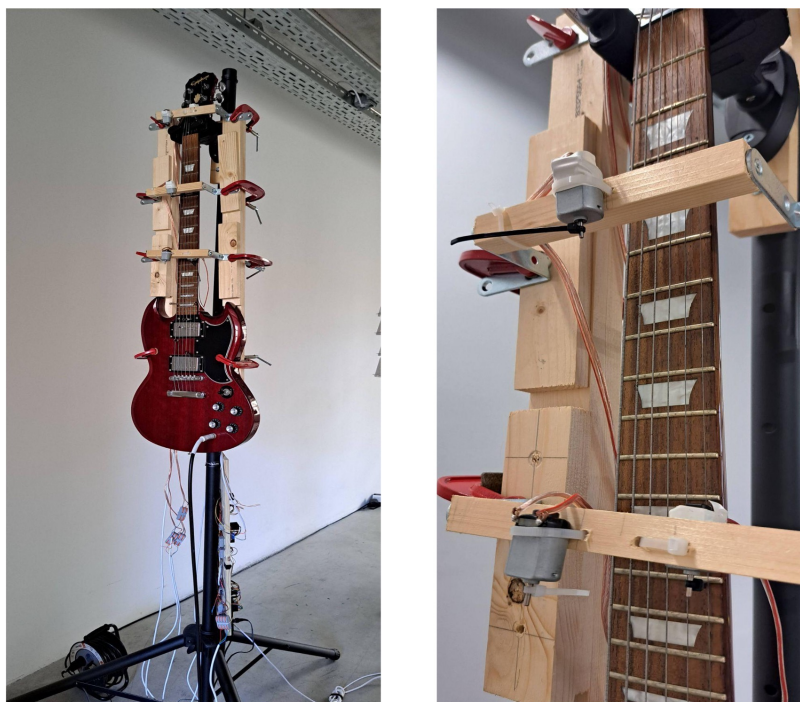


Figura 42 — Harpa de PM e disposição dos motores e batentes ao longo do braço

Esta foi a guitarra em que experimentei mais com as preparações. A minha intenção original era voltar a ter um som que fosse mais particulado. Para o conseguir, sabia que teria de tocar em *staccato*, pois produz um som curto e granular e, inicialmente, interessava-me também que, quando percutida, a corda não se sustentasse — semelhante à técnica «palm mute», em que a corda é abafada com a mão. Para tal, experimentei com vários materiais colocados por baixo ou entre as cordas, como restos de esponjas de empacotar, abraçadeiras de plástico, ou palhinhas de papel. Contudo, os resultados não foram satisfatórios.

A continuação da experimentação, sempre com base em combinar materiais que estavam à minha volta, levou-me a agarrar cliques de crocodilo às cordas — Figura 43. O resultado é um som evocativo de uma taça de metal ou gongo, em que a reverberação da corda aumenta e o seu tom torna-se mais inarmónico. A colocação das garras de crocodilo em diferentes pontos da corda modifica o seu conteúdo de harmónicos, uma vez que a corda deixa de ser uniforme em termos de distribuição do seu peso (Hopkin & Landman, 2014, p. 21) e os seus modos de vibração deixam de ser apenas rácios inteiros da fundamental. Por outro lado, agradou-me imenso este som remanescente de um gongo, pois não só se integrava bem com os outros conjuntos de guitarras, como me fascinou a possibilidade de modificar a guitarra de modo a produzir sons consideravelmente diferentes daquilo para o qual está convencionada. Levou-me, também, a refletir sobre a necessidade de usar sons com uma relação semiótica próxima ao fenómeno quantificado nos dados. Uma sonificação de partículas do ar é semioticamente mais eficaz quando o som que as representa nos remete

facilmente para um material a bater numa superfície. Não obstante, o som obtido com as preparações de garras de crocodilo, por ter uma libertação mais longa, parece-me evocar como a exposição a poluentes nunca se limita ao momento inicial de exposição, quando as partículas “atingem” os nossos corpos. Pelo contrário, o mais importante é o efeito crónico que resulta desse encontro e da sua repetição, ou seja, os efeitos na saúde que perduram e aumentam ao longo do tempo. Senti, pois, que poderia trabalhar com este som, assumindo que este teria um duplo significado, associado a diferentes momentos da sua evolução: por um lado, o ataque súbito e percutido, que nos refere para a substância material e granular e, por outro, a sua libertação relativamente longa, para os efeitos que podem perdurar desse encontro.

Finalmente, o amplificador usado nesta harpa pode ser um mini-amplificador a pilhas ou amplificador pequeno de tomada.



Figura 43 — Garras de crocodilo presas às cordas da guitarra de sonificação das PM.

4.3 — Composição de Sonificações

Uma vez estabelecidos os modos de tocar as guitarras, passei ao processo de definir como seriam tocadas em função da poluição.

Cada grupo possui especificidades na sua sonificação que decorrem dos modos particulares de atuação das guitarras. Contudo, têm em comum os dois parâmetros que é possível controlar pelo código: frequência e duração da atuação. Nas sonificações com recurso a motores é possível controlar, ainda, a velocidade de rotação e, consequentemente, a intensidade com que os batentes batem na guitarra. Ainda que estas especificidades possam parecer limitadas, é necessário reforçar que uma grande parte do desenho da sonificação assenta na forma como as guitarras foram preparadas, no posicionamento dos motores e sustentadores e nos tipos de batentes.

4.3.1 — Harpas de COV

No Quadro 9, apresento o mapeamento de parâmetros para a sonificação de COV. Os sustentadores são identificados com uma letra e um número correspondente à guitarra ou baixo no qual estão instalados. Assim, G1S1 deve ser lido como “Guitarra 1 - Sustentador 1”, sendo que o número do sustentador corresponde ao número do relé que está ligado ao Arduino. No caso do baixo, encontra-se identificado apenas com a letra “B”, sem incluir um número, pois apenas foi utilizado um destes instrumentos.

Como indiquei previamente, a estratégia de sonificação de COV nas *Weather-World Harps* é simples. Consiste em acompanhar o aumento de poluição com um aumento do número de notas sustentadas e da sua duração. Na prática, isso traduz-se em definir, para diferentes níveis de poluição, o número de sustentadores ativos e quanto tempo estarão ligados e desligados, ou seja, o seu ciclo ON-OFF. A escolha de diferentes ciclos para cada nota prendeu-se com querer aplicar um princípio de composição generativa, em que os elementos sonoros entram e saem de fase uns com os outros, como popularizado por compositores como Steve Reich ou Brian Eno (Tamm, 1995, pp. 20–21). Desta forma, a toada criada pelo conjunto é mais dinâmica.

Para níveis baixos de concentração de COV, são ativados três sustentadores: G1S1, G1S2 e BS5. Cada um faz soar uma nota apenas durante alguns segundos, passando o resto do seu ciclo em silêncio. À medida que a poluição aumenta, a duração de ativação também aumenta e o tempo em que as notas estão silenciadas diminui.

Quadro 8 — Mapeamento de parâmetros para a sonificação de COV nas *Weather-World Harps*

Concentração do Poluente (ppb)	Sustentador ativo	Ciclo ON-OFF (s)
[0 - 1200]	G1S1 Posição: 5ª corda Nota: C2 + 30 Cents Modo standard	Total: 21 s ON: [4,5 - 13,5] OFF: [16,5 - 7,5]
	G2S3 Posição: 5ª corda Nota: F2 + 50 cents Modo harmónico	Total: 27,5 s ON: [4,8 - 22,7] OFF: [22,7 - 4,8]
	BS5 Posição: 4ª corda Nota: C1 + 30 Cents Modo standard	Total: 38 s ON: [6 - 32] OFF: [32 - 6]
[5-1200]	G1S2 Posição: 2ª corda Nota: D#3 + 30 cents Modo harmónico	Total: 31s ON: [2,2-28,8] OFF: [28,8 - 2,2]
[20-1200]	G2S4 Posição: 2ª corda Nota: G#3 +30 cents Modo harmónico	Total: 28,1 s ON: [2,75 - 25,35] OFF: [25,35 - 2,75]
	BS6 Posição: 2ª corda Nota: G#2 +30 cents Modo standard	Total: 42 s ON: [6, 30] OFF: [36, 12]
[50-1200]	BS7 Posição: 2ª corda Nota: B1 - 50 cents Modo standard	35 s ON: [5, 30] OFF: [30, 5]

A cada ultrapassagem de um limiar de poluição adiciona-se uma nova nota, ou um novo ciclo de ativação de um sustentador. Assim, quando a poluição é mais elevada, o resultado é uma toada contínua, em que todas as notas se entrelaçam umas nas outras. Em suma, o aparecimento de novas notas sinaliza ultrapassagens a diferentes limites de poluição, enquanto o aumento progressivo das suas durações sinaliza a evolução contínua das concentrações do poluente.

4.3.2 — Harpas de NO₂

A sonificação de NO₂ segue os mesmos princípios da de COV, com a diferença de que a intensidade da atuação também depende do valor da poluição. O Quadro 9 esquematiza o mapeamento de parâmetros para esta sonificação. O código G#M#, identifica a guitarra e qual o motor que lhe está acoplado.

Quadro 9 — Mapeamento de parâmetros para a sonificação de NO₂ nas *Weather-World Harps*.

Concentração do Poluente (ppm)	Motor ativo	Intervalo entre ativações	Intervalo entre pancadas sucessivas	Número de pancadas	Velocidade (% da máxima)
[0.01 - 0.20]	G3M1	[18, 7]	Aleatório [0,2 - 0,3]	[2 + y , 24 - z]	[63% + x; 100% - x]
	G3M2	[38, 10]	Aleatório [0,075 - 0,175]		
[0.05 – 0.20]	G3M3	[15, 12]	Aleatório [0,2 - 0,3]	y = aleatório entre [0, 3]	x = aleatório entre [0%, 15%]
	G4M1	[24, 13]	Aleatório [0,5 - 100]	z = aleatório entre [0-7]	
[0.10 - 0.20]	G4M2	[18, 13]			

Como antes, a quantidade de poluição no ar é comunicada através do número de motores ativos e da sua cadência de atuação. Quanto maior a poluição, maior o número de motores que atuam os batentes e mais frequente é o batimento.

A sonificação começa com dois motores. O motor G3M1 corresponde ao batente mais suave, que é uma palhinha de papel. Para níveis baixos, a sua cadência consiste num conjunto de pancadas curtas a cada 18 segundos. Este é o motor cujo batente provoca um acorde atenuado nos harmónicos quando atinge a guitarra. Ouvimos principalmente as notas fundamentais e, entre estas, maioritariamente as das cordas mais graves. Desta forma, assinala-se a presença subtil do poluente.

A acompanhar o G3M1, está o motor G3M2, que corresponde ao batente com a bola de ténis de mesa. Para níveis baixos de poluição, a sua cadência é longa, na ordem dos 38 segundos entre conjuntos de pancadas. Este serve não só para criar variedade na composição, como a sua cadência reforça a noção dos valores de poluição presentes.

Quando a poluição ultrapassa os valores médios, juntam-se os motores G3M3 e G4M1. O primeiro ainda está localizado na terceira guitarra, e tem um batente que consiste apenas numa haste de madeira que percute o braço. Por ser o batente mais duro, excita um tom com mais harmónicos quando atinge a guitarra. Este começa a sinalizar níveis mais elevados de concentração de NO₂ através do seu som mais brilhante. O G4M1 está localizado na segunda guitarra deste conjunto. Quando ativado, o seu batente de bambu bate de forma errática em duas abraçadeiras de plástico. Estas encontram-se presas a outros dois pauzinhos que estão encaixados entre as cordas da guitarra nos trastos três e nove. Mais

uma vez, esta forma de expressão adiciona variedade à composição da sonificação e faz salientar os momentos em que se ultrapassa um limite de poluição seguro à saúde.

Por fim, quando as concentrações do poluente ultrapassam os limites de 0,01 ppm, o segundo motor da guitarra 4, G4M2, inicia a sua rotina. Aqui, o batente é uma abraçadeira de plástico longa que atinge diretamente as cordas, provocando um som estridente e dramático.

O intervalo mínimo de ativações dos motores é em geral longo, sendo o mais curto de sete segundos para o G1M1. Usar cadências longas permite um maior desencontro entre diferentes tipos de atuação, constituindo outra forma de aplicar o princípio de desfasamento usado nas harpas de COV.

Este último ponto também está relacionado com a tentativa de criar uma expressão que não fosse puramente mecânica, ou seja, de ritmo rigidamente fixo. Além de usar o desfasamento entre atuações, manipulei três outros parâmetros que contribuem para uma expressão mais orgânica. São eles a velocidade do motor — ou força de atuação —, o número de pancadas sucessivas em cada atuação e o intervalo de tempo entre elas. Ambos a velocidade do motor e o número de pancadas são influenciados pela quantidade de poluição. Contudo, isso não se traduz numa correspondência direta. A cada iteração do programa, a poluição é mapeada a um valor de velocidade dentro de um intervalo que se encontra entre 63% e 100% da velocidade máxima dos motores. Ao valor mapeado é adicionado ou subtraído um valor aleatório entre 0% e 15%. Se o valor mapeado estiver mais perto dos 63% do que dos 100%, o valor aleatório é adicionado. Se estiver mais perto dos 100%, o valor aleatório é subtraído. O mesmo sucede com o número de pancadas, mas com valores diferentes como disposto no Quadro 9. Desta forma, o valor da velocidade e das pancadas pode variar sempre um pouco entre cada atuação, mas sem deixar de acompanhar a tendência geral das concentrações do poluente. Com efeito, o aumento da poluição resulta em que os motores toquem, em geral, durante mais tempo e com maior intensidade em cada ciclo.

Por seu lado, o tempo entre pancadas sucessivas não depende da poluição. Não obstante, é um valor escolhido aleatoriamente dentro de um intervalo, cujos valores são muito baixos, na ordem dos centésimos de segundo. Isto faz com que, durante a sua ativação, o motor se mova de um lado para o outro com pequenas variações rítmicas.

4.3.3 — Harpas de PM

Quadro 10 — Mapeamento de parâmetros para a sonificação de PM nas *Weather-World Harps*.

Concentração de PM ₁₀ (ug/m ³)	Motor ativo	Intervalo entre ativações	Velocidade	Número de pancadas	Intervalo entre pancadas sucessivas
[0 - 200]	G5M1	[3; 0,25]	100%	Total possível: 4	Aleatório [0,01 - 0,025]
	G5M2	[7,5; 0,2]		Número mínimo: aleatório [0,1]	
	G5M3 (M5)	[4,1; 0,2]		Número máximo [3,4]	

A sonificação das PM₁₀ é a mais simples. Os motores são colocados ao longo do braço de forma a baterem com abraçadeiras de plástico em pelo menos duas cordas. Não necessitam de bater nas duas cordas de cada vez, sendo até ideal que não o façam, de forma a manterem alguma variedade na sonificação.

Os parâmetros sonificados são o intervalo entre ativações e o número de pancadas possíveis. Ou seja, como no caso do NO₂, quanto maior a frequência da atuação e o número de pancadas em cada, maior a poluição de partículas no local.

Aqui, a frequência de atuação pode ser muito baixa, na ordem de 0,20 segundos quando a poluição é muito elevada. Ao escolher uma frequência mais baixa, mantenho a alusão aos pequenos grânulos a embater numa superfície.

4.4 — *Weather-World Harps* em exposição nas conferências ICLI 2022 e AUDIRE 2022

As *Weather-World Harps* foram expostas em junho de 2022 em duas conferências: a “International Conference on Live Interfaces 2022” — ICLI —, que decorreu entre 20 e 23 na Universidade Lusófona no Campo Grande, em Lisboa; e a AUDIRE 2022, que decorreu no espaço GNRation em Braga, entre os dias 27 e 28.

Como indiquei anteriormente, no campo visual queria que a instalação continuasse a evocar a noção de suspensão já explorada no *Atmosmancer*. Para conseguir isso, preendi as guitarras em tripés de colunas de som ou de luzes de espetáculo. Algumas guitarras foram suspensas em posição de tocar, ou seja, com o corpo perpendicular ao chão e paralelo ao poste das colunas. Para isso, montei treliças com materiais que tinha disponível, como ripas de pinho ou perfis de alumínio, e preendi-as nos tripés. As guitarras foram presas às treliças

usando suportes translúcidos da marca *Woodies*. Outras guitarras foram suspensas verticalmente pela cabeça, usando suportes de parede convencionais.



Figura 44 — Montagem da instalação nas conferências ICLI 2022 (esquerda) e AUDIRE 2022 (direita)

No caso dos amplificadores pequenos, por serem menos pesados, era fácil prendê-los aos postes dos tripés, como acontece com as guitarras 1 e 2 do conjunto que sonificava COV — Figura 45. Nos outros casos, os amplificadores foram colocados no chão perto das guitarras às quais estavam ligados.

A instalação foi arranjada espacialmente de forma a criar um ambiente sonoro envolvente. Cada conjunto foi distribuído por zonas diferentes do espaço, permitindo aos visitantes misturar os sons da instalação em função do seu movimento através dela. Sempre que possível, coloquei os conjuntos de COV em pontos opostos e afastados dos de NO₂. Entre esses, coloquei a harpa de PM a fazer de ponte sonora. As harpas de COV e NO₂, por terem sons longos e difusos, podem misturar-se uma com a outra e criar alguma confusão. A harpa de PM₁₀, pela sua expressão mais momentânea, não se confunde tanto e o seu som campanulado encaixa bem com os outros conjuntos. Todavia, dadas as condições dos espaços, apenas consegui seguir este princípio na instalação em Lisboa.



Figura 45 — Disposição de amplificadores das *Weather-World Harps*⁸³



Figura 46 — Harpas de COV expostas da conferência ICLI⁸⁴

⁸³ Fotos por: Ana Matilde Sousa — esquerda — e Ricardo Geraldes — direita.

⁸⁴ Fotos por: Ivo Louro, esquerda; Ricardo Geraldes, centro e direita em baixo; e Ana Matilde Sousa, direita em cima.



Figura 47 — Albergando e expondo os sensores nas *Weather-World Harps*.

Cima esquerda e centro: Anteparo de Stevenson usado em estudos meteorológicos⁸⁵; Cima Direita: Cúpula para albergar sensores e visor das *Weather-World Harps* inspirada no anteparo de Stevenson. Baixo esquerda e centro: sensores e visores usados nas *Weather-World Harps* no interior da cúpula; Baixo direita: sistema de controlo de sensores e motores.

A complementar a cenarização da instalação, coloquei os sensores e os visores LCD pendurados num interior de cúpulas feitas de tigelas de plástico transparentes — Figura 47. A forma destas cúpulas é inspirada no anteparo de Stevenson, uma estrutura usada em estudos atmosféricos e climáticos para abrigar sensores e equipamento de recolha de dados. As cúpulas foram suspensas em tripés de microfone. Mais uma vez, fiz questão de usar materiais facilmente acessíveis, mas, neste caso, quis igualmente reforçar uma ligação entre os mundos da música e da meteorologia. Ao entrar na exposição, o “mundo do tempo” expressa-se como um concerto de captação de dados, onde os microfones são substituídos por sensores de poluição do ar e os intérpretes são guitarras que fazem soar a química da atmosfera.

⁸⁵ Fonte das imagem topo esquerda e centro: Bottomley (2015)

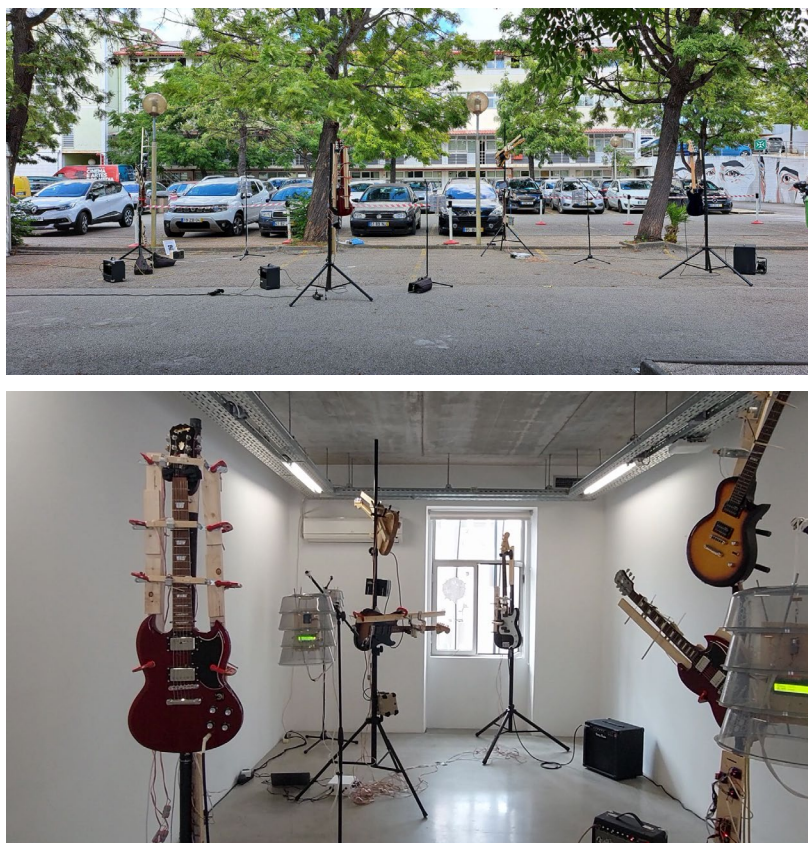


Figura 48 — Disposição espacial da instalação nas conferências ICLI 2022 (em cima) e AUDIRE 2022 (em baixo)

Houve diferenças significativas entre os dois momentos instalativos de *Weather-World Harps*, nomeadamente, devido aos desafios e resultados proporcionados pelas especificidades dos seus respetivos locais. Em Lisboa, a instalação esteve patente num espaço exterior ao ar livre, no parque de estacionamento da Universidade Lusófona, perto de uma das artérias mais movimentadas da cidade — o Campo Grande e a 2ª Circular. Em Braga, foi colocada no interior, numa pequena sala com uma janela para o exterior, numa zona da cidade com pouco tráfego automóvel.

No exterior, as guitarras ficaram expostas ao ambiente, ao vento e à chuva. Foi necessário levantar mais o volume dos amplificadores para que fosse possível escutar melhor os sons produzidos. Um resultado imediato desta exposição exterior foi a perda da afinação com que estava a trabalhar, devido às fortes variações de temperatura ao longo do dia. No entanto, a nível pessoal, levou-me também a um momento de reflexão. As guitarras foram retiradas dos seus sacos, onde se mantinham inutilizadas há alguns anos, para voltarem a ser expostas ao “mundo do tempo”. A minha intenção inicial era que fossem apenas instrumentos de comunicação dos níveis de poluição, sem serem afetados pela atmosfera para além dos parâmetros que eu tinha estabelecido. Ou seja, exprimiam a atmosfera, mas com um grau significativo de mediação: o sensor deteta o poluente; o microcontrolador

determina uma intensidade de expressão; os motores ativam os batentes ou sustentadores e esses excitam o som das guitarras. Contudo, ao serem expostas diretamente às mudanças circadianas da atmosfera, as guitarras sofreram uma transformação material, i.e., as cordas e o corpo dilataram-se e comprimiram-se ao longo do dia. Essa alteração física ficou inscrita no som que produziram. Por esta razão, e por estes sons produzidos ainda terem uma qualidade difusa e atmosférica, deixei de intervir sobre a afinação, permitindo-lhe uma maior autonomia enquanto “coisa atmosférica” (McCormack, 2018), ou seja, como evento que torna tangível as mudanças e o envolvimento do ar em nosso redor.

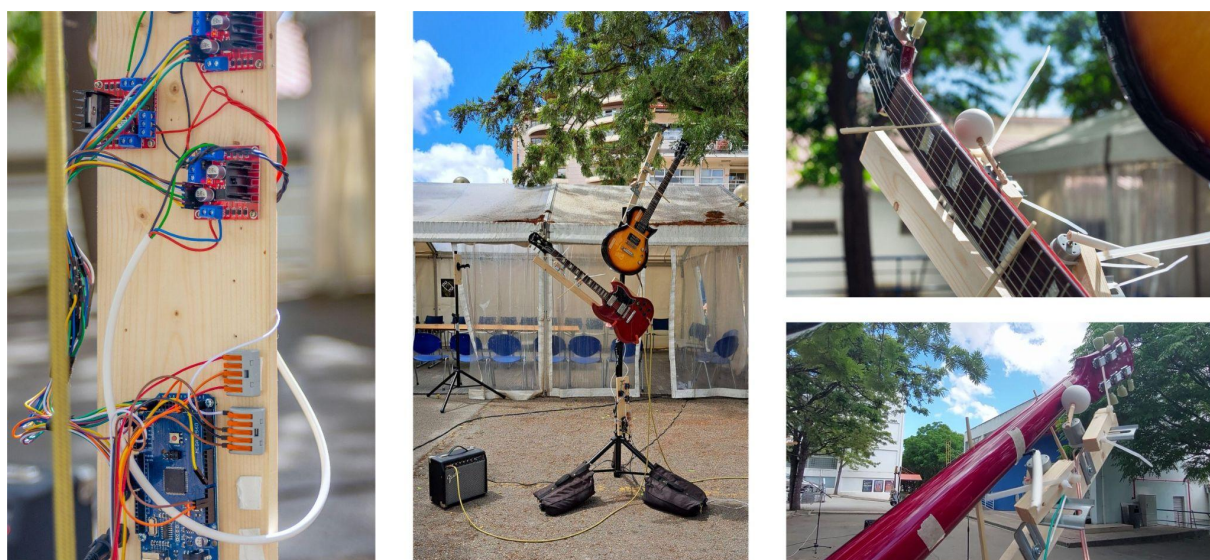


Figura 49 — Harpas de NO₂ em exposição na ICLI 2022. ⁸⁶

Em Braga, por ser um espaço interior, os desafios prenderam-se, principalmente, com a qualidade do som. Foi necessário atenuar frequências, reduzir o volume da instalação em geral e ter maior atenção ao posicionamento dos amplificadores.

Os resultados da sonificação foram, também, relativamente distintos em função das localizações e das suas qualidades específicas. Na rua, a poluição de PM₁₀ e de COV era momentânea, marcada por pequenos apontamentos metálicos provindos da harpa de PM ou «drones» esporádicos das de COV. Quando havia pessoas que fumavam perto dos sensores ou carros que ficavam a funcionar no parque, esses sons texturavam mais densamente a atmosfera. De resto, estes dois conjuntos passavam uma boa parte do tempo em silêncio. O NO₂, por seu lado, era constante e de valores elevados. Aqui, à semelhança do que já discuti ao propósito do *Atmosmancer*, o final do dia era marcado por um crescimento das atuações.

⁸⁶ Fotos por: Ricardo Geraldès, esquerda e direita em cima; e Ana Matilde Sousa, centro e direita em baixo.

Mais uma vez, o que estava a ser captado e expresso por este conjunto de *Weather-World Harps* era o aumento da poluição do NO₂ como resultado dos movimentos pendulares da cidade. A frequência constante era testemunho de como este poluente se difunde ampla e facilmente pela cidade.

Em Braga o NO₂ manifestava-se com cadências mais longas. Os valores mantiveram-se pelos 0,05 ppm durante grande parte do tempo. Apenas quando a janela era aberta é que as harpas deste conjunto registavam uma maior atividade. Mesmo nessa altura, a guitarra que mais se prenunciava era a que marca os valores mais baixos. Só ocasionalmente e, novamente, ao final do dia, é que soava a guitarra que sinalizava os valores mais altos. Por um lado, podíamos testemunhar o ambiente a ficar carregado pelas atuações mais dramáticas e, por isso, sentirmos os ritmos da cidade. Por outro, a sua cadência inferior a Lisboa era um testemunho da localização da instalação num espaço interior e numa cidade com menos tráfego do que a capital.

Em relação às atuações da harpa de PM₁₀, estas eram muito esporádicas, o que é natural em espaços fechados onde não há fumo. Contudo, as de COV eram mais intensas. A toada fazia-se sentir em alturas mais quentes do dia e quando a janela era fechada, refletindo uma maior libertação de COV dos materiais de construção, bem como a falta de arejamento na sala.

Nesta instalação, decidi não forçar a atuação com uma encenação do ambiente, como fiz no *Atmosmancer* durante o festival Lisboa Soa. Pretendia que as harpas operassem apenas em função da atmosfera providenciada pelo local. Se a sua atuação fosse pouco intensa ou não se expressassem plenamente todas as situações para as quais estavam programadas, não considerarei que fosse um problema a necessitar de correção. Pelo contrário, se soassem menos, isso indicaria uma menor quantidade de poluição no local, o que seria uma informação importante a reter e parte integrante da natureza contingente do instrumento. Porém, o público acabou por levar a cabo as suas próprias encenações, ao interagir com a instalação. Novamente, os fumadores divertiram-se a ativar as expressões mais intensas das harpas, soprando o fumo do tabaco para o interior das cúpulas onde estavam os sensores. Graças à concentração elevada de partículas e COV presente neste fumo, era então que as harpas soavam com a maior intensidade, captando a atenção de transeuntes surpreendidos pelo acontecimento. Os batentes começavam a bater com mais intensidade e frequência nas cordas, resultando numa massa de pequenos gongos tocados erraticamente, assinalando a urgência do momento.

Mais uma vez, a instalação providenciou uma oportunidade para discutir o problema da poluição do ar com um público diversificado e alargado. Especialmente em Lisboa, a presença da instalação na rua e num local de passagem de alunos, funcionários e visitantes

da faculdade suscitou a curiosidade e a discussão. Neste caso, aquilo que despertava um maior fascínio da parte destes públicos era o tocar automático das guitarras. Esta prática não é nova, existindo uma longa tradição de artistas e inventores que criam obras em que recorrem a motores para automação de guitarras. Todavia, para os transeuntes, era esse aspeto que os compelia a aproximarem-se da instalação. Impulsionados por esta primeira interpelação, os visitantes depois colocavam mais questões sobre aquilo em que consistia a instalação. Nesse momento, explicava-lhes que as guitarras estavam a ser tocadas por motores e que esses respondiam à quantidade de poluição presente no local, seguindo com uma descrição dos poluentes, dos seus efeitos e dos princípios de sonificação. Constatei que era algo difícil, para o visitante comum, perceber como é que a concentração de um poluente podia ser expressa pelo tocar de uma guitarra. Contudo, tal como com a harpa eólica, que outrora fascinou pelo mistério do seu funcionamento, o encontro com a atmosfera sonora das *Weather-World Harps* também se faz na intersecção entre o mistério e a cognição expandida de uma dimensão ambiental que, de outra forma, permaneceria ténue ou impercetível.



Figura 50 — Harpas de COV em exposição no espaço GNRation em Braga, durante a conferência AUDIRE 2022.

Capítulo 5 — Discussão e Conclusão

5.1 — Geral

O objetivo do meu projeto de Mestrado em Produção e Tecnologias do Som foi o de criar instrumentos musicais que sonifiquem os dados da poluição atmosférica e reflitam sobre as implicações estéticas, políticas e sociais da sonificação.

Para este efeito, utilizei a metodologia da «practice-based research» — “investigação assente na prática”—, que envolve uma integração e relação de reciprocidade mútua entre teoria e prática. Em particular, através da contextualização teórica da prática artística e da criação documentada de artefactos por esta informados.

A questão principal que orientou este trabalho foi a de como é que a poluição atmosférica pode influenciar a criação de diferentes, ou mesmo novos, instrumentos sonoros concebidos para exprimi-la. Trata-se de uma temática bastante ampla e complexa, dentro da qual procurei dar ênfase, mais especificamente, a três sub-questões. Primeiro, como é que os sensores de qualidade do ar podem inspirar múltiplas articulações instrumentais e desdobramentos das mesmas? Segundo, quais são as implicações da técnica de sonificação para a relação entre instrumento e atmosfera? Terceiro, que tipo de questões de ordem estética, científica e política é que surgem da utilização de um fenómeno ambiental como fonte de composição sonora e de controlo de instrumentos?

Com base nestas questões e na metodologia aplicada criei os instrumentos *Atmosmancer* e *Weather-World Harps*. No decurso desta dissertação, discuti os aspetos conceptuais, técnicos e compositivos destes artefactos e contextualizei os seus resultados em função das exposições onde foram apresentados.

O *Atmosmancer* consiste numa pequena estação de monitorização de qualidade do ar, composta por sensores capazes de detetar concentrações de três dos principais poluentes em ambiente urbano: Dióxido de Azoto — NO₂; compostos orgânicos voláteis — COV; e matéria particulada microscópica — PM. Os sensores são controlados por Arduino e os seus valores são comunicados para um computador onde, através do programa de informática musical SuperCollider 3, operam como variáveis de controlo para a geração e manipulação de sons, que são emitidos por colunas ou auscultadores.

Neste projeto de mestrado apresentei o *Atmosmancer* em versão móvel e instalação. A versão móvel permite realizar passeios sonoros tecnologicamente mediados e, assim, escutar diferentes níveis de poluição em função do local onde nos encontramos. A instalação

incide sobre a criação de uma atmosfera musical envolvente, consistindo numa estrutura translúcida de albergue dos sensores, em redor da qual são dispostas quatro colunas que emitem os sons da sonificação.

Por seu lado, as *Weather-World Harps* fazem uso dos mesmos sensores e microcontroladores do *Atmosmancer*, mas desta feita, para controlar atuações físicas de guitarras com recurso a motores e sustentadores eletrónicos. O seu nome referencia o uso de harpas eólicas como objeto estético e instrumento para escrutinar um fator ambiental — o vento — e o conceito de “mundo do tempo” do Antropólogo Tim Ingold (2015). Este autor encara a meteorologia de forma alargada de modo a incluir todas as condições físicas e emotivas da atmosfera, como a poluição ou um belo por do sol, que moldam o nosso sentido de lugar, a nossa imersão e constante troca material e afetiva com esse meio turbulento.

A criação dos instrumentos envolveu por isso pesquisa sobre: quais os sensores a utilizar; como configurá-los; quais as exigências em termos de hardware computacional; como transformar essa informação em som; que tipos de som seriam mais adequados a representar cada poluente ou condição atmosférica; como produzir esses sons; como automatizar a atuação de instrumentos eletroacústicos; e como exibir as criações.

A razão do meu interesse pela poluição atmosférica como fonte de controlo de instrumentos e composições sonoras é tripartida. Devido à minha formação em Engenharia do Ambiente, preocupa-me a poluição atmosférica enquanto problema ambiental. Esta tem graves impactos na saúde humana e nos ecossistemas, mesmo quando os níveis são baixos, como acontece em muitos países ocidentais. Por outro lado, interessa-me criar situações de confronto com esta poluição, que, no nosso quotidiano, tende a ser impercetível ao olho nu. Apesar de tratar-se de um problema sobejamente conhecido, o seu carácter relativamente invisível tem levado quer os cidadãos comuns, quer os decisores a negligenciá-lo. Finalmente, é bastante fácil encontrar sensores e outros recursos para adquirir dados sobre a poluição atmosférica e, como tal, estabelecer uma base técnica para utilizar essa informação nas sonificações.

Gostaria de salientar o segundo ponto do parágrafo anterior, ou seja, de que as sonificações nos permitem experienciar sonoramente fenómenos que, sem mediação tecnológica, são pouco ou nada percetíveis. Campos magnéticos, eventos físicos no topo da atmosfera, impulsos elétricos enviados entre plantas, ou mesmo poluição atmosférica, são alguns exemplos de agregados de informação física que, através de tecnologias de deteção e sonificação, podem ser experienciados pela audição.

Trata-se, portanto de uma técnica de sensorialidade aumentada, com potencial para abrir a imaginação e proporcionar cruzamentos mais ou menos inusitados do cognitivo e do racional com o afetivo e o poético. Esta abordagem é diferente da das sonificações com

critérios científicos, onde impera a clareza e a objetividade na análise dos dados. Contudo, como expliquei em pormenor no Capítulo 2, o potencial criativo e experiencial a que me refiro está já presente em instrumentos tradicionais de sonificação de condições atmosféricas, como as harpas eólicas e os búzios dos moinhos de vento portugueses. Embora a sua funcionalidade de previsão meteorológica careça de verificação empírica, estes instrumentos, com os seus sons difusos e atmosféricos, transformam fatores ambientais em alteridades “quási-divinatórias” que moldam as condições de habitação de um espaço e da experiência estético-cognitiva.

Como é evidente, estes instrumentos inspiraram-me fortemente na criação do *Atmosmancer* e das *Weather-World Harps*, em que procurei um esbatimento das fronteiras entre a percepção expandida, o ato de conhecer e o prazer estético de ouvir.

De facto, a minha investigação leva-me a concluir que o soar de intensidades e magnitudes ambientais produz uma espécie de “senso comum”. Este manifesta-se como uma intuição, ou um conhecimento de valores que poderá não ser preciso, mas que, para citar Sajay Samuel parafraseando Platão, nos transmite se algo é “demasiado, demasiado pouco ou simplesmente suficiente” (CBC Radio, 2010).

Nesta perspetiva, integram-se dois tipos de relações fenomenológicas com a tecnologia segundo Don Ihde (1990). Uma em que se incorpora o instrumento enquanto órgão sensor; e outra em que se interpretam as suas emanações sonoras. Esta última é uma hermenêutica que consiste tanto em fazer sentido das intensidades escutadas, como na suscitação de imagens mentais e de estados internos. Dito por outra forma, o instrumento de sonificação de condições atmosféricas, enquanto “órgão sensor”, faz “coisas atmosféricas” (McKormack, 2018), i.e., torna a materialidade e afetividade que pairam no ar “palpáveis”.

Expandir a percepção de um fenómeno através do som e/ou utilizando dados como fonte de imprevisibilidade na geração de eventos sonoros são formas de manifestar uma alteridade com a qual se colabora na criação de uma experiência afetiva. No caso da sonificação de dados ambientais, estes aspetos misturam-se com o objetivo de sensibilizar o público para os problemas ecológicos. Porque estamos perante uma crise ecológica global sem precedentes, não é de estranhar que as sonificações de problemas ambientais estejam a tornar-se cada vez mais populares. Os artistas preocupam-se hoje em usar informação de sensores ambientais para exprimir problemas como alterações climáticas, taxas de extinção de espécies ou poluição e, dessa forma, imbuí-las com uma força anímica esperam ser mobilizadora de ações preventivas e restauradoras.

De particular relevância para o desenvolvimento da componente prática deste projeto de mestrado foram as noções de instrumento enquanto sistema aberto (Tanaka, 2011) e de ergodinâmica (Magnusson, 2019). Considerar um instrumento como um sistema aberto é

encará-lo, não como um objeto estanque, mas como um evento que se desenrola. Esse fica sujeito a reconfigurações e recontextualizações, podendo ser modificado através de ajustes mais ou menos drásticos nas suas componentes, nos modos de interação, nos sons produzidos ou nos contextos de exposição e performance. Por sua vez, a ergodinâmica (Magnusson, 2019) consiste no potencial expressivo de um instrumento que depende das características e integração das suas componentes, dos modos de tocar e da sua história técnica e social. Ambas as noções foram especialmente produtivas para articular a minha pergunta de investigação e orientar processo de exploração e experimentação dos trabalhos práticos. Em vez de pensar apenas em como posso sonificar dados, a questão tornou-se como é que o fenómeno ambiental, pela sua materialidade e simbolismo, e a tecnologia de deteção, possibilitam o desdobrar de diferentes articulações instrumentais.

A noção de instrumento como sistema aberto contempla, ainda, todo o trajeto subjacente à sua criação como um ato de composição musical. No decurso da minha investigação e processo criativo escolhi alargar esta noção para contemplar todo o caminho que vai da escolha das componentes ao contexto de performance / exposição como, também, “tocar” o instrumento. Ou seja, todas essas decisões são “gestos” com impacto nos resultados sonoros. É por esta razão que prefiro chamar os artefactos que desenvolvi neste projeto de mestrado de instrumentos em vez de instalações ou trabalhos sonoros. Uma vez que a instalação é apenas um dos modos de performance do instrumento, a meu ver, classificá-los apenas desta forma seria ignorar todo o processo conducente a esse ponto. Processo esse que é feito de descoberta a cada instante e, como tal, de atos de exploração da ergodinâmica que diferentes conjunções de sensores, linguagens e objetos de programação, mapeamentos digitais, interfaces de controlo, modos de produção e emissão de som podem ter.

Neste sentido, a ramificação de um instrumento em diversas iterações é sinal de abertura e potencialidades de expressão que foram concretizadas ao explorar questões específicas: um instrumento móvel de sonificação da poluição do ar — *Atmosmancer* móvel; um em que o som gira à nossa volta — *Atmosmancer* instalação; outro em que a relação entre dados de poluição e som é mediada por atuações de guitarras — *Weather-World Harps*.

Diferentes articulações de componentes de deteção e atuação dos instrumentos exigem novas ações de composição, novos sons ou efeitos que terão de ser escolhidos e regras para definir a sua atuação e evolução. Por exemplo, a versão instalativa do *Atmosmancer* inclui um sensor de humidade que não é sonificado na versão móvel. Na instalação, os valores medidos por este sensor determinam a intensidade de um efeito de reverberação aplicado às sonificações dos poluentes, assinalando, desta forma, a quantidade de humidade. Para tal, foi necessário modificar o código da composição, afetando, por isso, a expressão, a experiência e aquilo que se podia apreender com os sons emitidos.

O exemplo acima atesta, também, a como a variante a ser sonificada influencia significativamente a escolha do som ao nível simbólico. Os fenómenos atmosféricos e de poluição levam-me a querer usar sons que reforcem a imagem mental de qualidades ambientais, gases e partículas transportadas pelo ar. Assim, e a título de exemplo, fiz os valores de humidade corresponderem a intensidade de reverberação, pois existe uma relação semiótica estabelecida na indústria da produção de som que atribui o termo “wet” à intensidade de reverberação. No caso das partículas microscópicas, tentei sempre associá-las a sons granulares. E nos gases poluentes, como COV e NO₂, atribuí os seus dados à geração e controlo de sons difusos com ataques lentos e libertações longas.

Associado a este tema, de forma a simbolizar os movimentos turbulentos e imprevisíveis dos poluentes e para que as composições não se tornassem cansativas, usei técnicas como a aleatoriedade controlada e o desfasamento entre sons.

* * *

Continuando no campo das dependências que surgem com configurações específicas de componentes do instrumento, a escolha do tipo de sistema sonoro do *Atmosmancer* — estéreo na versão móvel e quadrifónico na instalação — também implicou mudanças no código da sonificação. A quadrifonia permite espacializar o som 360 graus em redor de um ponto central de escuta. Como tal, isso implica adaptar o código das saídas dos sintetizadores digitais utilizados, de forma que esses possam ser distribuídos dinamicamente na panorâmica circular.

Recorrendo apenas à programação é logo possível diferenciar iterações distintas do instrumento. Por exemplo, na composição da versão instalativa do *Atmosmancer*, modifiquei secções prévias da versão móvel de forma a destacar poluentes que sabia estarem mais presentes no local da exposição. Concretamente, apliquei à sonificação de NO₂ uma secção que na versão móvel dava expressão aos valores mais altos de COV. Por um lado, senti que eram redundantes nos COV. Por outro, sabia que no local da instalação — a Estufa Fria — o NO₂ seria um poluente com maior impacto e, por isso, seria mais interessante usar essa secção para enfatizar os seus ciclos ao longo do dia. O resultado expressivo é que, enquanto no *Atmosmancer* móvel essa secção surgia, principalmente, em locais fechados e pouco arejados, na instalação aparecia repetidamente ao final da tarde em resposta ao aumento de tráfego na zona circundante.

Outra vertente a considerar em termos de controlo de expressão é a possibilidade de programar alterações estruturais na sonificação, que apenas ocorrem em resposta a condições ambientais específicas. Por exemplo, as escalas musicais diferem em função da

amplitude térmica. Estas escalas foram escolhidas segundo a minha interpretação subjetiva de como correspondem a diferentes gradações de temperatura. Valores de poluentes elevados, por seu lado, podem levar a uma transformação da textura da composição, ao despoletarem sons mais ruidosos ou desafinados. O uso de sinais de contexto, que sinalizam a referência a um dado valor, servem para informar que certos limites de segurança para a saúde foram ultrapassados, enquanto infundem a composição com uma nova energia. Por exemplo, no *Atmosmancer*, o ultrapassar de limites seguros de PM para a saúde humana é sinalizado por sons de tambores. Cada limite que se ultrapassa adiciona um novo tambor, com um ritmo diferente. Quando os limites superiores são excedidos, tocam três tambores ao mesmo tempo, mas com desfasamentos que geram polirritmias e uma sensação de maior urgência. Nas *Weather-World Harps*, os limites de NO₂ são sinalizados com o surgimento de batentes que excitavam sons mais dramáticos vindos das guitarras.

Nesta perspetiva, não é o gesto corporal que ativa as mudanças expressivas do instrumento, mas a própria manifestação do devir atmosférico. Não obstante, o movimento corporal pode, mesmo assim, ter impacto nas sonificações ou na sua perceção. Tal abordagem está presente em vários tipos de arte sonora que exploram ativamente a especificidade do espaço e envolvem o movimento do ouvinte como método de cocriação. Nos meus trabalhos, isso é especialmente evidente no *Atmosmancer* móvel e nas *Weather-World Harps*.

Na versão instalativa do *Atmosmancer*, o movimento da pessoa não é tão importante. Para poder escutar a composição devidamente, o ouvinte deve posicionar-se no centro da instalação, ficando rodeado pelos altifalantes. Assim, pode experienciar a composição sonora e a informação sobre a poluição do ar através de sons que se movimentam à sua volta. Novamente, ao nível simbólico, esse movimento constitui uma metáfora para as agitações turbulentas das moléculas poluentes no ar.

A colaboração do público com os instrumentos pode-se fazer, ainda, quando este suscita a reação dos sensores de gases, como se verificou nas exposições onde instalei o *Atmosmancer* e as *Weather-World Harps*. Aí, os visitantes usavam o fumo de cigarro, o seu próprio sopro ou paus de incenso que eu disponibilizada para ativarem as respostas mais intensas da sonificação.

No *Atmosmancer* móvel, a interface de construída na app TouchOSC para dispositivos móveis, possibilita o controlo da sonificação ao se remover, individualizar ou regular os volumes de cada poluente. Deste modo, o utilizador do instrumento torna-se, também, embora de forma limitada, num intérprete-compositor, que intervém ativamente sobre o arranjo da composição sonora. Trata-se de uma forma de atribuir ao utilizador um maior sentimento de empoderamento e gratificação lúdica. Adicionalmente, este elemento da

obra procura reforçar a sua eficácia e o seu carácter informativo. Ou seja, ao permitir isolar ou remover sons, possibilita ao utilizador ter uma noção mais clara da relação entre as variáveis de poluição e a evolução dos sons que lhes estão associados.

* * *

Thor Magnusson chama atenção para a história cultural do instrumento como parte da sua ergodinâmica. Práticas passadas são por isso também condicionantes da expressão no novo instrumento. As *Weather-World Harps* manifestam esse aspeto em dois graus: i) na inspiração retirada de instrumentos tradicionais de sonificação de vento, como é o caso das Harpas eólicas; ii) no uso de técnicas de atuação e modificações simples da guitarra desenvolvidas no seio da música experimental.

No primeiro caso, vários dos modos de atuação das *Weather-World Harps* — e.g. sustentadores eletrónicos, técnicas de bater no corpo da guitarra — procuram criar toadas cuja complexidade e intensidade é função direta da quantidade de poluição, tal como acontece nas harpas eólicas relativamente à força do vento. No segundo, usei técnicas pouco convencionais, ou seja, que não se limitam ao dedilhar ou palhetar das cordas da guitarra. Aqui, explorei modos de emanar som ao bater no seu corpo ou usando preparações que modificam substancialmente o som original.

Neste último ponto, para criar o som que associei à sonificação de PM₁₀, preendi clipes de garras de crocodilo às cordas, o que conferiu um som metálico de sino ou gongo quando essas eram percutidas pelos batentes automatizados. Esta preparação levou-me a repensar o design sonoro do poluente. Nos trabalhos anteriores tentei sempre sonificar as PM com sons que fossem evocativos do granulado ou particulado, ou seja, muito rápidos e curtos. Neste novo instrumento, ao explorar diferentes preparações, as garras de crocodilo agradaram-me mais do que os restantes e encontrei nelas uma simbologia bipartida. O ataque repentino e percussivo remete para a exposição inicial à substância granular, enquanto a libertação mais longa e inarmónica remete para os efeitos crónicos que podem resultar dessa exposição.

O exemplo anterior demonstra como a criação das *Weather-World Harps* foi rica em acidentes que geraram novas possibilidades para a concretização do instrumento. Além das preparações, isso aconteceu com a escolha e posicionamento de batentes e da afinação.

Esta última, especialmente, demonstrou-se um elemento altamente contingente. A afinação que selecionei inicialmente foi encontrada por acaso, quando experimentava uma das guitarras. Escolhi-a, pois, quando percutia o braço da guitarra, o acorde que ressoava suscitava-me as qualidades afetivas do atmosférico: vago, difuso e etéreo. Contudo, ao expor a instalação, a atmosfera material transformou esta componente da composição e, com isso,

os termos de encontro com o instrumento. Na rua, face às variações da temperatura ao longo do dia, a afinação perdeu-se rapidamente em todas as guitarras. Isto levou-me a uma nova reflexão. Em vez de voltar a afinar as guitarras, deixei que a afinação se tornasse uma “coisa atmosférica”, ou seja, uma concretização que afirma o dinamismo das condições ambientais que nos envolvem.

* * *

No meu entender, a ergodinâmica não é apenas o mar de potencialidades expressivas do instrumento, mas também como estas são moldadas pelas restrições que temos pela frente. Neste sentido, as limitações mais relevantes com que me deparei foi ficar restringido apenas a três sensores de poluição do ar — PM, COV e NO₂ — e aos seus tempos de medição.

Apesar da profusa disponibilidade de sensores de poluição do ar a preços acessíveis, só pude utilizar aqueles para os quais é possível medir concentrações do ambiente. Tive de excluir sensores capazes de detetar poluentes importantes, como o ozono e o monóxido de carbono, pois os existentes no mercado DIY só detetam concentrações de magnitudes muito superiores às existentes no ambiente. O tempo de leitura dos sensores que utilizei foi o fator que mais influenciou a composição. Em geral, estes sensores levam cerca de 2 segundos a obter um valor, ou seja, ao contrário dos sensores gestuais, a produção ou manipulação de som não ocorre imediatamente. Nas sonificações de COV e NO₂ do *Atmosmancer*, este fator levou-me a usar ataques, sustentações e libertações dentro de intervalos aleatórios de alguns segundos, de forma suavizar e tornar esta cadência mais ambígua. Desse modo, também permitiu que as diferentes instâncias de um sintetizador se misturassem, o que ajudou a evocar o atmosférico como uma qualidade difusa.

Nas *Weather-World Harps*, a sonificação de COV consistia em criar tons a partir de sustentadores eletrónicos. Para isso, desenvolvi um sistema que automatizava o seu ligar e desligar através de relés controlados por Arduino. A duração das ativações era uma função da quantidade do poluente no ar. Neste caso, não podia desfrutar das expressões dos sustentadores que estão disponíveis quando manuseados, ficando limitado apenas a um controlo binário de ligar-desligar. Isso levou-me a explorar os diferentes tipos de som que obtinha em função do modo de sustentação selecionado — standard ou harmónico — da localização do dispositivo ao longo do braço da guitarra e em altura em relação à corda sustentada.

* * *

Ao desenvolver os artefactos apresentados neste projeto de mestrado, partilho da ideia expressa por Jennifer Gabrys (2016) de que a exploração das potencialidades criativas de equipamentos, como sensores de qualidade do ar, é uma forma de articular possibilidades de encontro e relação com os instrumentos e, através desses, com o atmosférico.

Como tenho vindo a descrever, cada instrumento suscita um encontro sónico particular com condições ambientais, como poluição do ar, temperatura e humidade. Tal depende de relações simbólicas entre som e poluição, modos de atuação e contextos de apresentação que eu próprio decidi.

No *Atmosmancer* móvel, o uso de auscultadores cria um casulo sónico que nos separa da paisagem sonora e amplifica a nossa noção de imersão nos níveis de poluição. O *Atmosmancer* versão instalativa consiste numa estrutura subtil, dando-se maior ênfase aos sons em si, que se movem à nossa volta e se misturam com a paisagem sonora circundante. Nas *Weather-World Harps*, cada conjunto de guitarras, disperso pelo espaço, produz um tipo de atuação associada aos valores de um poluente específico. O corpo move-se, podendo misturar os sons das diferentes guitarras à sua vontade. Adicionalmente, a perceção da relação entre níveis de poluição e sons é reforçada pelo imediatismo visual das atuações das guitarras.

Em todas estas situações, textura-se um ambiente e, com esse, as condições de habitação do lugar. Estas texturas são dinâmicas, turbulentas, em que os sons gerados são *movidos pelo* e *movem o* ar. Ou seja, geram-se em função da química atmosférica presente a cada momento e agitam a sua mecânica vibracional. No meu processo criativo, ajuda-me encarar a ambiência musical criada por estes instrumentos como uma membrana de experiência, que resulta do “dobrar” da atmosfera sobre si própria. Como o balão de Dereck McCormack (2018), essa diferencia-se do ambiente circundante, mas aqui através do sónico, dando-nos a conhecer aspetos escondidos ou pouco perceptíveis do ar.

A texturização do espaço através de uma obra sonora, como sejam instalações imersivas, harpas eólicas, espanta-espíritos ou sonificação de poluição, está sempre presente. O que me interessa realçar aqui é que nesse processo podem ser geradas relações de fundo (Ihde, 1990) em que a tecnologia que sonifica se remete para um plano anterior à consciência, mas continuando a afetar-nos. Nos meus trabalhos, isso acontece quando os instrumentos contribuem para uma ambiência subtil indicativa de níveis de poluição reduzidos. Por exemplo, o *Atmosmancer* e as *Weather-World Harps*, aquando das suas instalações, geraram sons que, em condições estáveis, tendiam a repetir-se e a retirar-se para o fundo da paisagem sonora. As sonificações mantinham-se relativamente inalteradas, com ocasionais

eventos sonoros revelando a passagem de massas de ar mais poluídas através dos sensores. Quando a poluição era mínima, cada evento sonoro era esporádico e misturava-se com o seu ambiente – dependendo da localização de cada um, os sons de folhas, pessoas a falar, galinhas cacarejando, zumbidos de ares condicionados e o tráfego circundante. Em Lisboa, era comum os sons serem completamente abafados graças ao frequente rugir dos aviões.

Quando as concentrações de poluentes aumentavam os instrumentos salientavam a sua presença no local. Nesses momentos, era comum aos transeuntes levantarem a cabeça e questionar-se sobre a sua origem. No meu caso, dado a minha experiência diária com estes instrumentos, esses momentos eram alturas em que a minha atenção se desviava de uma qualquer atividade em que estivesse envolvido para a nova paisagem sonora que quebrava com a anterior monotonia. Aí, procurava explicações e causalidades: a hora do dia e os movimentos da cidade; falta de arejamento da casa; um vizinho que fazia um churrasco no seu pátio.

Assim, através da mudança das paisagens sonoras emanadas por estes instrumentos, tornava-se vívida a sua operação e a noção da minha imersão num meio físico-químico com o qual estou em constante troca material e afetiva. Encaro isto com uma experiência atmosférica em que instrumentos e ouvintes se sintonizam com os lugares que habitam e com os seus ritmos, experienciando assim instâncias particulares do “mundo do tempo”.

Todas as minhas escolhas criativas na instalação dos instrumentos procuraram, por isso, trabalhar o ar meteórico e mensurável das sonificações com o atmosférico enquanto “intensidade palpável” (McCormack, 2018). Neste sentido, a disposição no espaço dos instrumentos e dos seus elementos periféricos foi feita de modo a que os seus “êxtases” (Böhme, 2016b) irradiassem em torno do envolvimento, difusão, e turbulência da atmosfera. Não só na expressão das sonificações em si, como, por exemplo, através da suspensão em altura dos geradores de som e dos albergues dos sensores, ou pela disposição dos cabos de ligação, que no caso das *Weather-World Harps* foram espalhados pelo chão, assumindo e tirando partido das suas qualidades buliçosas, quase como os movimentos arabescos de incesso no ar.

No âmbito deste projeto de Mestrado, importa reter que explorações instrumentais que ligam a experiência musico-estético ou meteorológica-afetiva com qualidades informativas sobre a composição material do ar são modos de envolvimento com causas ambientais. A objetividade ou a validade destes dados e da sua apresentação pode ser contestada à luz de modelos científicos tradicionais, que os encaram como “padrões rudimentares produzidos por tecnologias instáveis ou práticas de monitorização esporádicas” (Gabrys, 2016, p. 160). Não obstante, a sua “criaturação” — i.e., a sua especificidade inusitada

de encontro instrumental com o atmosférico — acaba por atrair curiosidades e potenciar eventos mobilizadores, a nível pessoal ou coletivo, que, por sua vez, poderão ganhar relevância, urgência e, quiçá, força política.

Acredito que artistas, cidadãos-cientistas e educadores podem utilizar instrumentos de sonificação semelhantes para promover consciência ambiental da poluição atmosférica e de outros problemas ecológicos. De facto, ao expor os meus instrumentos em exposições públicas tive a oportunidade confrontar e ser confrontado pelo público. A sua curiosidade e fascínio com os instrumentos abriam sempre a porta a ricos debates sobre o problema da poluição do ar e o papel artístico e sensibilizador das sonificações ecológicas, e tal deve ser considerado como um resultado do ato de militância ecológica que é o encontro atmosférico particularmente providenciado por estes instrumentos.

Claro que, em muitos casos, poderá suceder que a curiosidade das pessoas se limite a um interesse momentâneo pela novidade da obra e pelo mistério do seu funcionamento, sem perder tempo a tomar em consideração o seu significado mais profundo. No entanto, como afirma Suzi Gablik⁸⁷ (Gilmurray, 2018, p. 33) sobre obras de arte ecológica patentes no catálogo da exposição “The Ecological Imperative”, a arte pode nunca salvar o mundo. Todavia, quando a sua mensagem é devidamente interiorizada, poderá contribuir para reorientar as nossas atitudes intelectuais e emocionais e “reconectar-nos com o mundo enquanto algo precioso e digno de proteção”.

5.2 — Limitações e Desenvolvimentos futuros

Como tenho vindo a frisar nesta discussão, na minha abordagem o instrumento é um evento. As limitações encontradas ao longo do seu desenvolvimento focam a concretização duma iteração específica, mas surgem como desafios a ultrapassar ou suscitam novas avenidas de exploração no futuro.

Relativamente ao *Atmosmancer*, a vertente móvel apresenta algumas complicações que dificultam a sua utilização. Primeiro, devido à complexidade da composição utilizada, é necessário transportar comigo um computador portátil com capacidade de processamento e memória RAM capaz processar o programa de sonificação — geralmente não menos do que 8GB. O problema pode ser mitigado se reduzir as necessidades computacionais do sistema, usando um microcomputador, como um Raspberry Pi. No entanto, para isso, seria necessário simplificar a sonificação — e.g. menos eventos sonoros ou recurso a modos de síntese menos exigentes no processamento, como síntese FM. Porventura, até, retirar alguns sensores ou

⁸⁷ Gablik, Suzi, 1990, *The Ecological Imperative*, in Mazeaud, D.G.W. and Gaylor, R.B. (eds.) *Revered Earth*. Santa Fe, NM: Center for Contemporary Arts of Santa Fe, pp. 6-7.

seccioná-los em diferentes composições, poupando espaço de RAM e processamento. Cada composição poderia ser selecionada através da interface de controlo por OSC.

Segundo, alguns sensores são muito sensíveis ao movimento e ao vento. Trata-se de um problema que também encontrei nas sonificações das *Environmental Bikes* de Kaffe Matthews, quando tive a oportunidade de as experimentar no festival Lisboa Soa 2020. O uso de sensores de gases — como NO₂ — expostos diretamente ao ar acarreta problemas de fiabilidade das medidas e, como tal, das sonificações. São sensores, cuja componente de óxido de metal é muito sensível ao movimento e à temperatura. Circular com eles na rua sujeita-os, por isso, a trepidação e a uma corrente de ar contínua que baixa a sua temperatura e, consequentemente, a sua capacidade para medir eficazmente a poluição. Para compensar este último problema, posso criar uma caixa que proteja os sensores. Contudo, a trepidação continuará a afetá-los. Não obstante, isto não significa que o *Atmosmancer* móvel não possa continuar a ser utilizado para aferir e experienciar sonoramente a qualidade do ar em diferentes zonas. Basta mantê-lo estável durante alguns minutos, para que seja capaz de produzir uma sonificação que indique adequadamente o estado do ar no local.

Como vemos acima, associado à sensibilidade dos sensores, vem também uma discussão relativa à sua fiabilidade. Dada a qualidade destes sensores e o seu uso DIY, são dispositivos que não têm a precisão dos instrumentos profissionais. Assim, é importante que se tenha em conta que as leituras destes sensores são indicativas e devem ser analisadas com cuidado e se possível face a leituras oficiais. Como discutido por Gabrys, estes são muitas vezes utilizados em práticas de ciência cidadã, quando não existe capacidade para recorrer a sensores profissionais. Contudo, as suas leituras são valorizadas como exploratórias e indicativas, o que justifica a necessidade de seguimento por especialistas e tecnologias mais precisas. Não obstante, é do meu interesse em futuros projetos vir a trabalhar com sensores profissionais em diálogo com especialistas da área de forma a aferir como esses dispositivos, juntamente com tecnologias de sonificação, podem ser utilizados investigação científica e ações de sensibilização ambiental.

No caso da instalação *Atmosmancer*, durante as minhas demonstrações no Lisboa Soa 2019, detetei um problema na disposição dos sensores que afetava a diversidade e imprevisibilidade da composição. A configuração da estrutura, que trabalhei com o artista André Pereira, coloca os sensores todos muito próximos uns dos outros. O que acontece nesta situação é que, quando surge uma massa de ar mais poluída, todos os sensores reagem ao mesmo tempo e, em alguns casos, existe interferência. Por exemplo, quando se sopra fumo para cima dos *Atmosmancer*, os sensores de PM e COV reagem intensamente, mas o sensor de NO₂ tende a baixar as suas leituras até que o fumo se dissipe. Uma solução para

este problema é reconfigurar a estrutura de albergue de modo que os sensores fiquem mais espaçados, possivelmente, a alguns metros uns dos outros.

Relacionado com este último aspeto está uma certa falta de integração entre a estrutura dos sensores e o sistema de sonorização. Por um lado, torna o instrumento muito versátil — uma vez que, para ser instalado, basta transportar a estrutura de albergue dos sensores e requisitar junto da organização o equipamento de som. Por outro, limita a compreensão da associação entre poluição detetada pelos sensores e sons emanados. Assim, penso vir a explorar, numa próxima versão, o uso de pequenas colunas dispostas ao lado de cada sensor. Este efeito criaria uma nova espacialidade, em que a cada coluna corresponderia apenas uma sonificação. Neste caso, iria perder a capacidade para fazer os sons que evocam os poluentes circular em volta dos participantes. Contudo, isso podia ser compensado ao usar pares de sensores iguais em diferentes localizações da estrutura, o que também teria a vantagem de demonstrar como as massas de ar num espaço nem sempre são totalmente homogéneas.

O desenvolvimento das *Weather-World Harps* consistiu já numa resposta a estes problemas. Cada conjunto de guitarras está separado no espaço, sonifica apenas um poluente e é possível ter uma noção mais imediata da relação entre poluição e som através dos mostradores digitais que indicam a quantidade de poluição e das atuações físicas das guitarras. Não obstante, estas também serão sujeitas a novos desenvolvimentos e melhorias. Para além das considerações sobre sensores que já discuti acima, interessa-me melhorar os sistemas de suporte das guitarras, dos motores e dos sustentadores, uma vez que durante a instalação e operação tiveram alguns problemas de estabilidade. Outras opções a explorar serão mais tipos de preparação e modos de atuação.

No respeitante a interfaces de controlo e performance, no desenvolvimento do *Atmosmancer* móvel integrei controlos para mudar as samples das sonificações de NO₂ e PM. Trata-se de uma característica que usei inicialmente para explorar o uso de diferentes sons de forma rápida, sem ter de recorrer ao teclado, e, por isso, manter a minha atenção na escuta e no processo de composição. Contudo, acabei por usá-lo em duas performances ao vivo. Nessas, distribui os sensores em cima de uma mesa, a que chamo provisoriamente a *Bancada de Atmosmância*. Seguidamente queimei e libertei substâncias que para ativar as sonificações. Contudo, o controlo sobre esta performance, para além do proporcionado pela interface Touch OSC é limitado, pois uma vez alterada quimicamente, uma atmosfera tende a manter-se assim durante algum tempo, se for interior, ou a regressar quase de imediato ao seu estado anterior, se estivermos no exterior. Uma avenida de exploração aqui será desenvolver um circuito fechado de circulação de ar que possa ser controlado externamente

de forma a misturar diferentes qualidades de ar e controlar a evolução da sonificação dessa forma.

Em todos estes casos pretendo continuar a desenvolver a composições de sonificação. A minha intenção continua a ser criar composições e não apenas simples indicadores auditivos. Interessa-me que envolvam uma forte componente estética e conceptual, i.e., que pensem e realizem o som simbólico do parâmetro sonificado — tanto na sua natureza como no seu contexto de saúde humana e ambiental — e que evoluam com as transformações da atmosfera.

Fundamentalmente, o que está em causa nestes vários desafios é a questão que me trouxe aqui: como os expressar sonora, visual e conceptualmente valores sobre fenómenos atmosféricos detetados por sensores.

Bibliografia

Agência Portuguesa do Ambiente. (sem data). *Qualidade do AR — Índice QUALAR*. Qualar - Informação sobre qualidade do ar. Obtido 8 de julho de 2021, de <https://qualar.apambiente.pt/node/metodo-calculo-indices>

Akiyama, M. (2015). Unsettling the World Soundscape Project: Soundscapes of Canada and the Politics of Self-Recognition. *Sounding Out!* <https://soundstudiesblog.com/2015/08/20/unsettling-the-world-soundscape-project-soundscapes-of-canada-and-the-politics-of-self-recognition/>

Alan Bottomley. (2015). *Homemade Stevenson Screen*. Alan Bottomley's Website. <https://aaybee.com.au/StevensonScreen.html>

Anderson, B. (2009). Affective atmospheres. *Emotion, Space and Society*, 2(2), 77–81. <https://doi.org/10.1016/j.emospa.2009.08.005>

Anderson, B. (2014a). Affective Atmospheres. Em *Encountering Affect* (pp. 137–161). Routledge.

Anderson, B. (2014b). *Encountering Affect: Capacities, Apparatuses, Conditions*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315579443>

ArduinoPortugal.pt. (2017). Módulo Ponte H L298N – O primeiro passo para montar seu robot com Arduino. *Arduino Portugal*. <https://www.arduinoportugal.pt/modulo-ponte-h-l298n-primeiro-passo-montar-robo-arduino/>

Asseiceiro, J. (Diretor). (1986). O Moleiro [Documentary]. Em *As Profissões*. RTP; RTP Arquivos. <https://arquivos.rtp.pt/conteudos/o-moleiro/>

Auré. (2011). Karlox: Un instrument de musique dédié aux arts numériques. *Journal du Geek*. <https://www.journaldugeek.com/2011/09/06/karlax-instrument-musique-arts-numeriques/>

Barrass, S., & Vickers, P. (2011). Sonification Design and Aesthetics. Em T. Hermann, A. Hunt, & J. G. Neuhoff (Eds.), *The Sonification Handbook* (pp. 146–171). Logos Verlag Berlin GmbH.

Bicrophonic Research Institute (BRI). (sem data). *Sonic Kayaks – Bicrophonic Research Institute*. Obtido 4 de fevereiro de 2020, de <https://sonicbikes.net/sonic-kayak/>

Bijsterveld, K. (2019). *Sonic Skills — Listening for Knowledge in Science, Medicine and Engineering (1920s-Present)*. Palgrave Macmillan. <https://www.palgrave.com/gp/book/9781137598318>

Bille, M., Bjerregaard, P., & Sørensen, T. F. (2015). Staging atmospheres: Materiality, 161

culture, and the texture of the in-between. *Emotion, Space and Society*, 15, 31–38.
<https://doi.org/10.1016/j.emospa.2014.11.002>

Böhme, G. (2016a). Atmosphere as a fundamental concept of a new aesthetics. Em J.-P. Thibaud (Ed.), *The Aesthetics of Atmospheres* (1ª edição, pp. 11–24). Routledge.

Böhme, G. (2016b). *The Aesthetics of Atmospheres* (J.-P. Thibaud, Ed.; 1ª edição). Routledge.

Bongers, B., & Harris, Y. (2002). A Structured Instrument Design Approach: The Video-Organ. *Proceedings of the NIME Conference on New Instruments for Musical Expression*. NIME Conference on New Instruments for Musical Expression, Dublin Ireland.

Boogaard, H., Walker, K., & Cohen, A. J. (2019). Air pollution: The emergence of a major global health risk factor. *International Health*, 11(6), 417–421.
<https://doi.org/10.1093/inthealth/ihz078>

Borromeo, L., Round, K., & Perera, J. (2015). *Climate Symphony* [Sound].
<https://www.disobedientfilms.com/climate-symphony/>

Bregman, A. S. (1990). *Auditory Scene Analysis: The Perceptual Organization of Sound*. A Bradford Book.

Brimblecombe, P. (Ed.). (2003). *The Effects of Air Pollution on the Built Environment* (Vol. 2). Imperial College Press. World Scientific Publishing Co. <https://doi.org/10.1142/p243>

Burnett, R., Chen, H., Szyszkowicz, M., Fann, N., Hubbell, B., Pope, C. A., Apte, J. S., Brauer, M., Cohen, A., Weichenthal, S., Coggins, J., Di, Q., Brunekreef, B., Frostad, J., Lim, S. S., Kan, H., Walker, K. D., Thurston, G. D., Hayes, R. B., ... Spadaro, J. V. (2018). Global estimates of mortality associated with long-term exposure to outdoor fine particulate matter. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(38), 9592–9597.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1803222115>

Calderón-Garcidueñas, L., González-Maciel, A., Reynoso-Robles, R., Hammond, J., Kulesza, R., Lachmann, I., Torres-Jardón, R., Mukherjee, P. S., & Maher, B. A. (2020). Quadruple abnormal protein aggregates in brainstem pathology and exogenous metal-rich magnetic nanoparticles (and engineered Ti-rich nanorods). The substantia nigrae is a very early target in young urbanites and the gastrointestinal tract a key brainstem portal. *Environmental Research*, 191, 110139. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110139>

Câmara Municipal de São Brás de Alportel. (sem data). *Moinho do Bengado*. Município de São Brás de Alportel. Obtido 14 de março de 2020, de <https://www.cm-sbras.pt/pt/menu/453/moinho-do-bengado.aspx>

Candy, L., & Edmonds, E. (2018). Practice-Based Research in the Creative Arts: Foundations and Futures from the Front Line. *Leonardo*, 51(1), 63–69.
https://doi.org/10.1162/LEON_a_01471

Carey, I. M., Anderson, H. R., Atkinson, R. W., Beevers, S. D., Cook, D. G., Strachan, D. P., Dajnak, D., Gulliver, J., & Kelly, F. J. (2018). Are noise and air pollution related to the incidence of dementia? A cohort study in London, England. *BMJ Open*, 8(9), e022404. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2018-022404>

Carré, J., Gatimel, N., Moreau, J., Parinaud, J., & Léandri, R. (2017). Does air pollution play a role in infertility?: A systematic review. *Environmental Health*, 16(1), 82. <https://doi.org/10.1186/s12940-017-0291-8>

CBC Radio. (2010). *How To Think About Science—Part 11*. CBC. <https://www.cbc.ca/player/play/1479793272>

Cox, C. (2007). Sound art. *Artforum*, 46(3). <https://www.artforum.com/print/200709/sound-art-18807>

Daston, L., & Galison, P. (2010). *Objectivity*. Zone Books.

Davis, H., & Turpin, E. (2015). *Art in the Anthropocene: Encounters Among Aesthetics, Politics, Environments and Epistemologies*. anexact.

DFRobot. (sem data). *PM2.5_laser_dust_sensor_SKU_SEN0177-DFRobot*. Wiki DFRobot. Obtido 14 de fevereiro de 2021, de https://wiki.dfrobot.com/PM2.5_laser_dust_sensor_SKU_SEN0177#Result

Dorneles, P., & Ribeiro, J. (2016). *Curso de Arduino para Professores*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.32867.48161>

Droumeva, M., & Jordan, R. (2019). Sound, Media, Ecology: Introduction In Three Acts. Em M. Droumeva & R. Jordan (Eds.), *Sound, Media, Ecology* (pp. 1–18). Palgrave Macmillan. <https://www.palgrave.com/gp/book/9783030165680>

Droumeva, M., & St. Pierre, M. (2018). Sonifying for Public Engagement: A Context-Based Model for Socially Relevant Data. *Journal of Sonic Studies*, 17. <https://www.researchcatalogue.net/view/511242/511243>

Edensor, T., & Sumartojo, S. (2015). Designing Atmospheres: Introduction to Special Issue. *Visual Communication*, 14(3), 251–265. <https://doi.org/10.1177/1470357215582305>

Engelmann, S. (2020). *Sensing Art in the Atmosphere: Elemental Lures and Aerosolar Practices* (1ª edição). Routledge.

Eno, B. (1996). *Generative Music*. In Motion Magazine. <https://inmotionmagazine.com/eno1.html>

European Environmental Agency. (2020). *Air quality in Europe—2020 report* (p. 164). European Environmental Agency. <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report>

Fieldsteel, E. (Diretor). (2017). *SuperCollider Tutorial: 19. Arduino*. https://www.youtube.com/watch?v=_NpivsEva5o

- Foo, B. (2014). *Air Play Smog Music Created With Beijing Air Quality Data* [Sound]. <https://datadrivendj.com/tracks/smog/>
- Gabrys, J. (2016). *Program Earth: Environmental Sensing Technology and the Making of a Computational Planet* (1st edition). Univ Of Minnesota Press.
- Gabrys, J. (2019). *How to Do Things with Sensors*. Univ Of Minnesota Press.
- Gattoni, G. C. (1785). Lettera Del Sig. Don Giulio Cesare Gattoni Al Ch. Sig. Don Pietro Moscati. *Opusculi Scelti Sulle Scienze e Sulle Arti, Vol. 8*, 298–309.
- Gilmurray, J. (2018). *Ecology and Environmentalism in Contemporary Sound Art* [Phd, University of the Arts London]. <http://ualresearchonline.arts.ac.uk/13705/>
- Gresham-Lancaster, S. (2012). Relationships of sonification to music and sound art. *AI & SOCIETY*, 27(2), 207–212. <https://doi.org/10.1007/s00146-011-0337-3>
- Griffiths, A. G. F., Kemp, K. M., Matthews, K., Garrett, J. K., & Griffiths, D. J. (2017). Sonic Kayaks: Environmental monitoring and experimental music by citizens. *PLOS Biology*, 15(11), e2004044. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.2004044>
- Grond, F., & Berger, J. (2011). Parameter Mapping Sonification. Em T. Hermann, A. Hunt, & J. G. Neuhoff (Eds.), *The Sonification Handbook* (pp. 363–397). Logos Verlag Berlin GmbH.
- Hankins, T. L., & Silverman, R. J. (1995). The Aeolian Harp and the Romantic Quest of Nature. Em *Instruments and the Imagination* (pp. 86–112). Princeton University Press.
- Heet, G. S. (1978). *String instrument vibration initiator and sustainer* (United States Patent N.º US4075921A). <https://patents.google.com/patent/US4075921A/en>
- Heet Sound Products. (sem data). *EBow: Player's Guide*. Obtido 5 de setembro de 2022, de <https://ebow.com/translate/>
- Helmreich, S. (2010). Listening Against Soundscapes. *Anthropology News*, 51(9), 10–10. <https://doi.org/10.1111/j.1556-3502.2010.51910.x>
- Hermann, T. (2008). *Taxonomy and definitions for sonification and auditory display* (B. Katz, Ed.). ICAD. <http://www.icad.org/Proceedings/2008/Hermann2008.pdf>
- Hermann, T., Hunt, A., & Neuhoff, J. G. (2011). Introduction. Em T. Hermann, A. Hunt, & J. G. Neuhoff (Eds.), *The Sonification Handbook* (pp. 3–6). Logos Verlag Berlin GmbH.
- Hooper, S. E. (1945). Whitehead's Philosophy: Propositions and Consciousness1. *Philosophy*, 20(75), 59–75. <https://doi.org/10.1017/S0031819100004964>
- Hopkin, B., & Landman, Y. (2014). *Nice Noise—Modifications and Preparations for Guitar*. Experimental Musical Instruments.
- Husserl, E. (1970). *The Crisis of European Sciences and Transcendental Phenomenology: An Introduction to Phenomenological Philosophy* (D. Carr, Trad.). Northwestern University Press.

Ihde, D. (1990). *Technology and the Lifeworld: From Garden to Earth*. Indiana University Press.

Ingold, T. (2007). Against soundscape. *Autumn Leaves: Sound and the Environment in Artistic Practice*, 10–13.

Ingold, T. (2015). *The Life of Lines* (1ª edição). Routledge.

Isaacman, G., & Reuben, A. (2012, setembro 10). Soundscapes of Smog: Researchers Let You Hear the Pollution of Cities (Literally). *The Atlantic*. <https://www.theatlantic.com/technology/archive/2012/09/soundscapes-of-smog-researchers-let-you-hear-the-pollution-of-cities-literally/262152/>

JIMBLOM & BBOYHO. (sem data). *Flex Sensor Hookup Guide*. Sparkfun. Obtido 8 de março de 2022, de <https://learn.sparkfun.com/tutorials/flex-sensor-hookup-guide/all>

jo-seph. (2020). *Mobile sensor* [C++]. <https://github.com/jo-seph/Mobisens> (Original work published 2018)

Kahn, D. (2013). *Earth Sound Earth Signal: Energies and Earth Magnitude in the Arts* (First edition). University of California Press.

Kelman, A. Y. (2010). Rethinking the Soundscape. *The Senses and Society*, 5(2), 212–234. <https://doi.org/10.2752/174589210X12668381452845>

Klank | *SuperCollider 3.12.2 Help*. (sem data). Obtido 5 de setembro de 2022, de <https://doc.sccode.org/Classes/Klank.html>

Kramer, G. (1994). *Auditory Display: Sonification, Audification, And Auditory Interfaces*. CRC Press.

Kramer, G., Walker, B. N., Bonebright, T., Cook, P., Flowers, J., & Miner, N. (1999). *The Sonification Report: Status of the Field and Research Agenda—Report prepared for the National Science Foundation by members of the International Community for Auditory Display*. International Community for Auditory Display (ICAD).

Kubisch, C. (sem data). *ELECTRICAL WALKS Electromagnetic Investigations in the City*. Obtido 9 de março de 2018, de http://www.christinakubisch.de/en/works/electrical_walks

Kumar, E. S. (2022). Arduino Working Principle and It's Use in Education. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 10. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.41784>

LaBelle, B. (2015). *Background Noise, Second Edition: Perspectives on Sound Art*. Bloomsbury Publishing USA.

lady ada & Tony Dicola. (sem data). *Photocells*. Adafruit Learning System. Obtido 14 de fevereiro de 2022, de <https://learn.adafruit.com/photocells/using-a-photocell>

Landy, L. (2007). *Understanding the Art of Sound Organization*. MIT Press.

Lelieveld, J., Klingmüller, K., Pozzer, A., Pöschl, U., Fnais, M., Daiber, A., & Münzel,

T. (2019). Cardiovascular disease burden from ambient air pollution in Europe reassessed using novel hazard ratio functions. *European Heart Journal*, 40(20), 1590–1596. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz135>

Li, Q., Zheng, D., Wang, Y., Li, R., Wu, H., Xu, S., Kang, Y., Cao, Y., Chen, X., Zhu, Y., Xu, S., Chen, Z.-J., Liu, P., & Qiao, J. (2021). Association between exposure to airborne particulate matter less than 2.5 μm and human fecundity in China. *Environment International*, 146, 106231. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106231>

Licht, A. (2009). Sound Art: Origins, development and ambiguities. *Organised Sound*, 14(1), 3–10. <https://doi.org/10.1017/S1355771809000028>

Licht, A. (2019). *Sound Art Revisited* (Reprint edition). Bloomsbury Academic.

Lutters, B., & Koehler, P. J. (2016). Brainwaves in concert: The 20th century sonification of the electroencephalogram. *Brain*, 139(10), 2809–2814. <https://doi.org/10.1093/brain/aww207>

MacCartney, A. (2014). Soundwalking: Creating Moving environmental Sound narratives. Em S. Gopinath & J. Stanyek (Eds.), *The Oxford Handbook of Mobile Music Studies, Volume 2* (Vol. 2, pp. 212–237). Oxford University Press.

Magnusson, T. (2019). *Sonic Writing: Technologies of Material, Symbolic, and Signal Inscriptions*. Bloomsbury Academic.

Maher, B. A., Ahmed, I. A. M., Karloukovski, V., MacLaren, D. A., Foulds, P. G., Allsop, D., Mann, D. M. A., Torres-Jardón, R., & Calderon-Garciduenas, L. (2016). Magnetite pollution nanoparticles in the human brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(39), 10797–10801. <https://doi.org/10.1073/pnas.1605941113>

Malloch, J., Birnbaum, D., Sinyor, E., & W, M. M. (2006). Towards a new conceptual framework for digital musical instruments. In *Proc. DAFx*, 49–52.

Matthews, K. (2020). *Environmental Bike 2020*. Kaffe Matthews. <http://www.kaffematthews.net/project/environmental-bike-2020>

McCormack, D. P. (2008). Engineering affective atmospheres on the moving geographies of the 1897 Andrée expedition. *Cultural Geographies*, 15(4), 413–430. <https://doi.org/10.1177/1474474008094314>

McCormack, D. P. (2018). *Atmospheric Things: On the Allure of Elemental Envelopment*. Duke University Press Books.

Meng, Q., & Ashby, S. (2014). Distance: A critical aspect for environmental impact assessment of hydraulic fracking. *The Extractive Industries and Society*, 1(2), 124–126. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2014.07.004>

Miranda, J. A., & Nascimento, J. C. (2008). *Portugal: Terra de moinhos*. Chronos Editora.

Miranda, J. A., & Viegas, J. C. (2003). *Moinhos de vento no concelho de Oeiras* (2a ed). Câmara Municipal.

Morton, T. (2013). *Hyperobjects*. University Of Minnesota Press.

NASA. (sem data). *A Universe of Sound*. Obtido 5 de setembro de 2022, de <https://chandra.si.edu/sound/>

NASA. (2018). *Spooky Sounds from Across the Solar System*. NASA SoundCloud. <https://soundcloud.com/nasa/sets/spookyspacesounds>

Neuhaus, M. (2000). *Sound Art? In introduction to the exhibition «Volume: Bed of Sound»*. , P.S. 1 Contemporary Art Center, New York,.

Neuhoff, J. G. (2019). *Is Sonification doomed to fail?* The 25th International Conference on Auditory Display (ICAD 2019), Newcastle-upon-Tyne, UK. https://icad2019.icad.org/wp-content/uploads/2019/06/ICAD_2019_paper_69.pdf

Nixon, R. (2011). *Slow Violence and the Environmentalism of the Poor*. Harvard University Press.

Oliveira, E. V. de, Galhano, F., & Pereira, B. (1983). *Tecnologia Tradicional Portuguesa: Sistemas de Moagem*. INIC - Instituto Nacional de Investigação Científica, Centro de Estudos de Etnologia.

Organização Mundial de Saúde. (2022). *Billions of people still breathe unhealthy air: New WHO data*. World Health Organization. <https://www.who.int/news/item/04-04-2022-billions-of-people-still-breathe-unhealthy-air-new-who-data>

Paiva, D., & Sánchez-Fuarros, I. (2021). The territoriality of atmosphere: Rethinking affective urbanism through the collateral atmospheres of Lisbon's tourism. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 46(2), 392–405. <https://doi.org/10.1111/tran.12425>

Polli, A. (2006). Heat and the Heartbeat of the City: Sonifying Data Describing Climate Change. *Leonardo Music Journal*, 16, 44–45. <https://doi.org/10.1162/lmj.2006.16.44>

Polli, A. (2012). Soundscape, sonification, and sound activism. *AI & SOCIETY*, 27(2), 257–268. <https://doi.org/10.1007/s00146-011-0345-3>

Rao, X., Patel, P., Puett, R., & Rajagopalan, S. (2015). Air Pollution as a Risk Factor for Type 2 Diabetes. *Toxicological Sciences*, 143(2), 231–241. <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfu250>

Roads, C. (2015). *Composing Electronic Music*. Oxford University Press.

Robinson, D. (2020). *Hungry Listening: Resonant Theory for Indigenous Sound Studies*. U of Minnesota Press.

Russ, M. (2008). *Sound Synthesis and Sampling, Third Edition* (3rd edition). Focal Press.

S. O. S. electronic. (2018). *Technological Breakthrough in Optical PM Sensors*. SOS

Electronic. <https://www.soselectronic.com/articles/sensirion/technological-breakthrough-in-optical-pm-sensors-2217>

Sá, A. (2017). Designing Musical Expression. Em L. Ribas, A. Rangel, M. Verdicchio, & M. Carvalhais (Eds.), *Proceedings of the Fifth Conference on Computation, Communication, Aesthetics & X*. (pp. 226–240). Universidade do Porto.

Schafer, R. M. (1969). *Ear cleaning: Notes for an experimental music course*. Berandol Associated Music Publishers.

Schafer, R. M. (1994). *Soundscape: Our Sonic Environment and the Tuning of the World* (Original ed. edition). Destiny Books.

Schraufnagel, D. E., Balmes, J. R., Cowl, C. T., Matteis, S. D., Jung, S.-H., Mortimer, K., Perez-Padilla, R., Rice, M. B., Riojas-Rodriguez, H., Sood, A., Thurston, G. D., To, T., Vanker, A., & Wuebbles, D. J. (2019). Air Pollution and Noncommunicable Diseases: A Review by the Forum of International Respiratory Societies' Environmental Committee, Part 2: Air Pollution and Organ Systems. *CHEST*, 155(2), 417–426. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2018.10.041>

Simpson, P. (2019). Elemental mobilities: Atmospheres, matter and cycling amid the weather-world. *Social & Cultural Geography*, 20(8), 1050–1069. <https://doi.org/10.1080/14649365.2018.1428821>

Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., Biggs, R., Carpenter, S. R., Vries, W. de, Wit, C. A. de, Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G. M., Persson, L. M., Ramanathan, V., Reyers, B., & Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 1259855. <https://doi.org/10.1126/science.1259855>

Sterne, J. (2003). *The Audible Past: Cultural Origins of Sound Reproduction*. Duke University Press Books.

Sterne, J., & Akiyama, M. (2012). The Recording that Never Wanted to Be Heard and Other Stories of Sonification. Em T. Pinch & K. Bijsterveld (Eds.), *The Oxford Handbook of Sound Studies* (pp. 544–560). Oxford University Press, USA.

Stieb, D. M., Chen, L., Eshoul, M., & Judek, S. (2012). Ambient air pollution, birth weight and preterm birth: A systematic review and meta-analysis. *Environmental Research*, 117, 100–111. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2012.05.007>

Straebel, V. (2010). The Sonification Metaphor in Instrumental Music and Sonification's Romantic Implications. *The 16th International Conference on Auditory Display (ICAD-2010)*, 287–294. <https://core.ac.uk/display/19315183>

Sumartojo, S., & Pink, S. (2018). *Atmospheres and the Experiential World: Theory and Methods* (1ª edição). Routledge.

SuperCollider. (sem data). [Git]. Supercollider. Obtido 4 de março de 2022, de <https://supercollider.github.io/>

Supper, A. (2012). *Lobbying for the ear: The public fascination with and academic legitimacy of the sonification of scientific data* [Datawyse / Universitaire Pers Maastricht]. [https://cris.maastrichtuniversity.nl/portal/en/publications/lobbying-for-the-ear--the-public-fascination-with-and-academic-legitimacy-of-the-sonification-of-scientific-data\(5fa32549-6725-4087-b242-26e69b3755cd\).html](https://cris.maastrichtuniversity.nl/portal/en/publications/lobbying-for-the-ear--the-public-fascination-with-and-academic-legitimacy-of-the-sonification-of-scientific-data(5fa32549-6725-4087-b242-26e69b3755cd).html)

Supper, A. (2014). Sublime frequencies: The construction of sublime listening experiences in the sonification of scientific data. *Social Studies of Science*, 44(1), 34–58.

Tahiroğlu, K., Magnusson, T., Parkinson, A., Garrelfs, I., & Tanaka, A. (2020). Digital Musical Instruments as Probes: How Computation Changes the Mode-of-Being of Musical Instruments. *Organised Sound*, 25(1), Art. 1.

Tamm, E. (1995). *Brian Eno: His Music And The Vertical Color Of Sound* (Updtd Da Capo PR ed. edition). Da Capo Press.

Tanaka, A. (2011). Sensor-based musical instruments and interactive music. Em R. T. Dean (Ed.), *The Oxford Handbook of Computer Music* (1st edition, pp. 233–257). Oxford University Press.

Taylor, M. (sem data). *CCS811 Air Quality Breakout Hookup Guide—Learn.sparkfun.com*. Sparkfun. Obtido 14 de fevereiro de 2021, de <https://learn.sparkfun.com/tutorials/ccs811-air-quality-breakout-hookup-guide>

Thibaud, J.-P. (2018). A Sonic Paradigm of Urban Ambiances. *Journal of Sonic Studies*, 01. <https://www.researchcatalogue.net/view/220589/220590>

Toop, D. (2006). *Haunted Weather: Music, Silence and Memory* (1st edition). Five Star.

Truax, B. (2020). Soundscape Composition. Em *Tutorial for the Handbook for Acoustic Ecology*. Cambridge Street Publishing.

Úlfarsson, H. (sem data). *Halldorophone · electro acoustic string instrument*. halldorophone. Obtido 8 de março de 2022, de <https://www.halldorophone.info/>

Umweltbundesamt. (2007). Beurteilung von Innenraumluftkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten. *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz*, 50(7), 990–1005. <https://doi.org/10.1007/s00103-007-0290-y>

Voegelin, S. (2010). *Listening to Noise and Silence: Towards a Philosophy of Sound Art* (1st edition). Continuum.

Vohra, K., Vodonos, A., Schwartz, J., Marais, E. A., Sulprizio, M. P., & Mickley, L. J. (2021). Global mortality from outdoor fine particle pollution generated by fossil fuel combustion: Results from GEOS-Chem. *Environmental Research*, 195, 110754.

<https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110754>

Walker, B. N. (2002). Magnitude estimation of conceptual data dimensions for use in sonification. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 8(4), 211–221. <https://doi.org/10.1037/1076-898X.8.4.211>

Walker, B. N., & Cothran, J. T. (2003). *Sonification sandbox: A graphical toolkit for auditory graphs*. <https://smartech.gatech.edu/handle/1853/50490>

Walker, B. N., & Nees, M. E. (2011). Theory of Sonification. Em T. Hermann, A. Hunt, & J. G. Neuhoff (Eds.), *The Sonification Handbook* (pp. 9–39). Logos Verlag Berlin GmbH.

Weibel, P. (Ed.). (2019). *Sound Art: Sound as a Medium of Art*. The MIT Press.

Westerkamp, H. (1974). *Soundwalking*. <https://www.sfu.ca/~westerka/writings%20page/articles%20pages/soundwalking.html>

Whitehead, A. N. (2010). *Process and Reality*. Simon and Schuster.

Winberg, M. (2019). Can You Hear It? Sonic Devices Play High-Pitched Noises To Repel Teens. *NPR*. <https://www.npr.org/2019/07/10/739908153/can-you-hear-it-sonic-devices-play-high-pitched-noises-to-repel-teens>

Withy, K. (2021). Mood (Stimmung). Em M. A. Wrathall (Ed.), *The Cambridge Heidegger Lexicon* (pp. 500–503). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9780511843778.137>

Wrightson, K. (2000). An Introduction to Acoustic Ecology. *Soundscape*, 1(1), 10–13.

ÍNDICE REMISSIVO

- Ambientes sonoros, 24, 26
Anteparo de Stevenson, 142
Antropocénico, 27, 29, 33
Arduino, 54, 74, 75, 77, 80, 84, 87, 92, 120, 122, 123, 127, 128, 129, 132, 135, 147, 154
Arte sonora, 19, 22, 23, 24, 27, 33, 38, 41, 47, 115, 152
ecológica, 27
Atmosferas (teoria de), 27, 35-37, 45, 56, 59, 60, 61-67, 88, 92, 96, 98-99, 100-101, 106, 108, 109, 110, 111, 114-115, 118, 120, 142-148, 153, 155-156, 159-160
Atmosmancer, 19, 76, 80, 81, 84, 85, 86, 88, 89, 90, 91, 92, 94, 95, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 113, 114, 118, 119, 120, 125, 139, 144, 145, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 154, 155, 157, 158, 159, iii, xv
Atmosmancy, 85, 86, 87, 106
Audificação, 30, 31, 44
Buzinas (búzios), 43, 50, 114, 149
Ciência cidadã, 35, 47, 49, 57, 158
Coisas atmosféricas, 65-66, 144, 149, 154
Composição de paisagens sonoras, 26
COV, 6, 89, 92, 93, 95, 96, 97, 99, 100, 101, 102, 106, 109, 114, 117, 119, 120, 126, 127, 135, 136, 138, 140, 141, 144, 145, 146, 147, 151, 154, 158, ii, vi
Criatura e "criaturação" de dados, 58-59
Digital Music Instruments (DMI), 6, 34, 51, 53, 54, 55, 56, 81
DIY, 6, 27, 34, 48, 57, 84, 85, 88, 154, 158
Ecologia acústica, 25, 46
Envolvimento, 27, 33, 37, 45, 48, 59, 64, 65, 66, 144, 156
Ergodinâmica, 50, 51, 52, 119, 149, 150, 153, 154
Exibição auditiva, 30, 38
Harpa eólica, 41, 42, 43, 56, 88, 117, 121, 146
Instrumentalismo de campo aberto, 85
Instrumento, 19, 31, 34, 35, 37, 41, 42, 45, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 70, 79, 84, 85, 86, 88, 89, 90, 98, 106, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 131, 145, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 157, 159
Instrumento como sistema aberto, 50, 53, 150
Interface, 34, 35, 50, 55, 56, 88, 89, 90, 128, 152, 158, 159
Mapeamento de parâmetros, 30, 31, 51, 68, 135, 136
Mundo do tempo, 36, 62, 64, 96, 118, 142, 143, 148, 156
Muzak, 64
NO₂, 6, 82, 89, 90, 92, 93, 98, 99, 100, 101, 105, 106, 109, 114, 117, 119, 127, 128, 130, 132, 135, 136, 137, 139, 140, 144, 145, 147, 151, 152, 154, 158, 159, xiii, xiv, xxiv, xxv, xxvi
Oráculo, 40
Paisagem sonora, 23, 25, 26, 45, 64, 109, 112, 155, 156
Passeios sonoros, 26, 46, 100, 147
PM, 97, 99, 100, 103, 104, 114, 132, 133, 134, 139, 140, 144, 147, 152, 153, 154, 158, 159
Partículas poluentes (PM₁₀ e PM_{2.5}), 6, 28, 48, 80-81, 89, 90, 92, 93, 97, 99, 103, 104, 105, 117, 119, 139, 140, 144, 145, 153, ii, xii, xxi, xxii
Poluição do ar, 27, 28, 29, 30, 37, 48, 49, 57, 58, 62, 80, 85, 90, 108, 114, 115, 116, 142, 145, 150, 152, 154, 155, 157
Practice-based research, 19
Practice-led research, 20
Preparações, 51, 118, 120, 128, 133, 134, 153
Relações de alteridade, 45, 55, 56
Relações de fundo, 55, 56, 155
Relações hermenêuticas, 55
Relações incorporadas, 55
Relés, 120, 122, 123, 124, 154
Sedução, 63, 65, 66
Sensores, 19, 30, 31, 33, 34, 35, 37, 38, 39, 47, 48, 49, 51, 52, 53, 54, 56, 57, 58, 74, 75, 77, 80, 81, 82, 84, 85, 87, 88, 89, 91, 93, 100, 106, 107, 108, 109, 111, 114, 115, 117, 119, 120, 142, 144, 145, 147, 171

148, 149, 150, 152, 154, 155, 156, 157,
158, 159, 160
Sensores de poluição, 33, 58, 80, 89, 93,
142, 154
Síntese de modelação física, 79, 104
Síntese granular, 79, 91
Síntese subtrativa, 77, 79, 91
Site-specificity, 22
Sonificação, 30, 31, 32, 33, 37, 38, 39, 40,
44, 45, 46, 47, 48, 49, 55, 68, 69, 70, 71,
72, 73, 82, 84, 86, 88, 89, 90, 91, 92, 93,
94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 103,
104, 105, 106, 110, 112, 114, 115, 117,
120, 127, 132, 133, 134, 135, 136, 137,
138, 139, 144, 146, 147, 148, 149, 150,
151, 152, 153, 154, 155, 157, 158, 159,
160, iii, vi, viii, x, xv, xvii, xix, xxv
Sustentador (electrónico), 38, 117,
120-126, 135-136, 144, 148, 153-154,
159
Trabalho sonoro, 23
Turbulência, 60, 64, 156
Weather-World Harps, 117, 123

APÊNDICES

Apêndice I — Principais Poluentes do Ar e seus impactos ambientais

Quadro 11 — Fontes, principais efeitos na saúde humana e nos ecossistemas dos principais poluentes do ar⁸⁸

Poluente	Fontes	Efeitos na Saúde Humana e dos Ecossistemas
Benzeno (C6H6)	Combustão incompleta de diferentes tipos de combustíveis. Manuseio e armazenamento de gasolina. Transporte rodoviário é a principal fonte. Tintas e vernizes. Fumo de tabaco	Saúde Humana Dores de cabeça, tonturas, confusão, sonolência. O benzeno é considerado um carcinogénico. Saúde dos Ecossistemas Sem efeitos significativos
Óxidos de Azoto (NOx)	Queima de combustíveis fósseis em veículos de estrada e centrais de produção termoelétrica.	Saúde Humana Doenças Cardiorrespiratórias. Pode afetar diferentes órgãos do corpo. Aumenta risco de asma e outras doenças respiratórias e afeta o desenvolvimento psicomotor. Saúde dos Ecossistemas: Contribui para a acidificação dos solos e das águas e como tal leva à perda de biodiversidade e libertação de metais pesados dos sedimentos nos aquíferos e massas de água. Contribui para a eutrofização das massas de água
Ozono troposférico (O3)	Trata-se de um poluente secundário formado pela reação fotoquímica na atmosfera de outros poluentes como os Óxidos de Azoto e Compostos Orgânicos Voláteis não-metânicos. Os poluentes precursores têm, principalmente, origem antropogénica.	Saúde Humana Apesar da sua presença na Estratosfera ser essencial à vida, pois filtra radiações ultravioletas que são letais, ao nível do solo (na Troposfera) têm efeitos altamente nocivos como sejam: Doenças cardiorrespiratórias, dores de cabeça, tonturas. É um gás de efeito de estufa. Degrada significativamente o património construído ao reagir com os materiais de construção. Saúde dos Ecossistemas Efeitos semelhantes aos humanos nos animais. Limita o crescimento e reprodução das plantas e culturas agrícolas.
Monóxido de Carbono (CO)	Combustão incompleta de biomassa e combustíveis fósseis.	Saúde Humana Dores de cabeça, fraqueza, náuseas, confusão, dores de peito. Altas

⁸⁸ Fontes: (European Commission, 2016; European Environmental Agency, 2014)

Quadro 11 — Fontes, principais efeitos na saúde humana e nos ecossistemas dos principais poluentes do ar⁸⁸

Poluente	Fontes	Efeitos na Saúde Humana e dos Ecossistemas
		concentrações podem levar a asfixia, arritmias, convulsões e morte. Saúde dos Ecossistemas Efeitos semelhantes aos humanos nos animais
Partículas (PM₁₀ e PM_{2,5})	Antropogénicas Combustão de combustíveis fósseis, queima de biomassa, incineração de resíduos, desgaste de pneus, travões e pavimento de estrada. Naturais Poeiras naturais, pólenes, sal marinho, entre outros.	Saúde Humana Mortes prematuras, doenças cardiorrespiratórias, cancro do pulmão, alergias, doenças neurodegenerativas. Têm impactos na fertilidade, morbilidade e mortalidade infantil. Saúde dos Ecossistemas Efeitos semelhantes aos humanos nos animais.
Dióxido de Enxofre (SO₂)	Antropogénicas Combustão de combustíveis com alto teor de Enxofre. Aquecimento doméstico com recurso a biomassa, produção termoelétrica e transportes. Naturais Vulcões	Saúde Humana Doenças cardiorrespiratórias. Agravamento da asma. Dores de cabeça, desconforto e ansiedade. Danifica o património construído. Saúde dos Ecossistemas Efeitos semelhantes aos humanos nos animais. Acidificação dos solos e massas de água com perda de biodiversidade.
Compostos Orgânicos Voláteis (COV)	Os COV são uma classe de compostos que sobre condições normais de temperatura e pressão são gasosos ou vaporizam-se facilmente. Antropogénicas Principalmente COV não-metânicos. Extração petrolífera e «fracking». Solventes utilizados na indústria, tintas e vernizes, veículos rodoviários, aquecimento doméstico e geração termoelétrica.	Saúde Humana Alguns COV podem provocar dores de cabeça, problemas de visão e de memória. Alguns COV são carcinogénicos. Saúde dos Ecossistemas Tendem a degradar-se facilmente, mas quando persistem têm efeitos nos animais semelhantes aos dos humanos.
Benzo[a]pireno (BaP)	O BaP encontra-se principalmente nas partículas finas (especialmente PM _{2,5}). As fontes de BaP são principalmente antropogénicas graças à queima doméstica de carvão ou lenha, ou devido a queimadas agrícolas.	Saúde Humana Carcinogénico potente

Apêndice II — Funções de transferência e composição

Atmosmancer móvel

Quadro 12 — Sonificação de COV para valores entre de concentração entre 0 ppb - 220 ppb (entre boa e moderada concentração)

Tipo de Síntese / Som	Característica dos Dados	Tipo de transformação dos dados ⁸⁹	Parâmetro de Síntese de Som
Sintetizador baseado em filtros de passa bandas aplicados a diferentes ondas. A frequência central de cada banda varia entre uma frequência mínima e máxima definida pelos parâmetros de sonificação. A taxa de variação também pode oscilar dentro de um intervalo de tempo especificado. Frequência central do filtro, taxa de variação da frequência central e qualidade recíproca são todos parâmetros dependentes do valor da concentração dos COV	Concentração COV [0 ppb, 65 ppb]		Onda do oscilador do sintetizador i) Prédefinida: Sinusoidal
			ii) Se a diferença absoluta de uma leitura para a seguinte é maior que 2, a onda do oscilador é triangular
			iii) Se a diferença absoluta de uma leitura para a seguinte é maior que 4, a onda do oscilador é dente de serra
			Número de notas, ou graus da escala, que podem ser tocadas [0, 7]
			Ponderação dada a cada grau da escala, i.e., qual a nota mais provável de ser tocada a cada instância: 1 grau: [1] 2 graus: [0.6, 0.4] 3 graus: [0.4, 0.25, 0.35] 4: [0.35, 0.1, 0.25, 0.3] 5: [0.3, 0.05, 0.15, 0.225, 0.275] 6: [0.275, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.225] 7: [0.25, 0.05, 0.075, 0.1, 0.125, 0.175, 0.225]
			Oitava varia aleatoriamente entre a nota escolhida e a sua sub-oitava

⁸⁹ Os tipos de transformação podem ser: linear para linear, “lin-lin”, ou linear para exponencial “lin-exp”. Na transformação “lin-lin”, os dados são considerados como tendo uma progressão linear e o parâmetro de som segue uma progressão linear. Na transformação “lin-exp” os dados são lineares, mas o parâmetro de som segue uma progressão exponencial.

Quadro 12 — Sonificação de COV para valores entre de concentração entre 0 ppb - 220 ppb (entre boa e moderada concentração)

Tipo de Síntese / Som	Característica dos Dados	Tipo de transformação dos dados ⁸⁹	Parâmetro de Síntese de Som
	Concentração COV [0 ppb, 220 ppb]	lin-exp →	Número de instâncias do sintetizador [2-6]
		lin-exp →	Freq. Central min [50hz , 100hz]*grau da escala
			Oitava varia aleatoriamente entre a nota escolhida e a sua sub-oitava
		lin-exp →	Freq. Central Max [50, 100) x grau da escala + 10 semitons
			Oitava varia aleatoriamente entre a nota escolhida e a sua sub-oitava
		lin-exp →	Variação da Freq. do filtro min [0.5 hz,5 hz),
		lin-exp →	Variação da Freq. do filtro Máx. [5 hz,10 hz],
		lin-exp →	Factor Q Min. [0.9,0.01]
		lin-exp →	Factor Q Máx. [0.9,0.05]
		lin-exp →	Amplitude [0.1, 0.2] x amplitude global x amplitude de controlo dos COV
		lin-exp →	Detune [0.01cents ,0.2 cents]
			Envelope Ataque aleatório [1,5 s, 2,5s]
			Sustentação aleatório [0,5 s, 1s]
	Concentração COV [0 ppb , 65 ppb]	lin-exp →	

Quadro 12 — Sonificação de COV para valores entre de concentração entre 0 ppb - 220 ppb (entre boa e moderada concentração)

Tipo de Síntese / Som	Característica dos Dados	Tipo de transformação dos dados ⁸⁹	Parâmetro de Síntese de Som
			Libertação aleatório [3s, 4s]

Quadro 13 — Sonificação de COV para valores entre de concentração entre 220 ppm - 660 ppm
 (entre moderada e má concentração)

Tipo de Síntese / Som	Característica dos Dados	Tipo de transformação dos dados	Parâmetro de Síntese de Som
Sintetizador baseado em filtros de passa bandas aplicados a diferentes ondas. A frequência central de cada banda varia entre uma frequência mínima e máxima definida pelos parâmetros de sonificação. A taxa de variação também pode oscilar dentro de um intervalo de tempo especificado. Frequência central do filtro, taxa de variação da frequência central e fator Q são todos parâmetros dependentes do valor da concentração dos COV.	Concentração COV [220 ppm, 660 ppb]	lin-exp →	Onda do oscilador do sintetizador Triangular Frequência da nota tocada Escala Partch 01 a contar da nota midi 37
	[0 ppm ,1200 ppb]	lin-exp →	Número de instâncias do sintetizador [2-6]
	[0 ppm ,1200 ppb]	lin-exp →	Freq. Central do Filtro Mínima [100hz , 200hz]
	[0 ppm ,1200 ppb]	lin-exp →	Freq. Central do Filtro Máx. [2500, 5000]
	[0 ppm, 1500 ppb]	lin-exp →	Variação da Freq. do filtro Min. [0.5 hz,5 hz),
	[0 ppm, 1500 ppb]	lin-exp →	Variação da Freq. do filtro Máx [5 hz,10 hz],
	[0 ppm ,1000 ppb]	lin-exp →	Fator Q min [0.9,0.01]
	[0 ppm ,1000 ppb]	lin-exp →	Fator Q Max [0.9,0.05]
	[0 ppm ,1000 ppb]	lin-exp →	Amplitude [0.1, 0.5] x amplitude global x amplitude de controlo dos COV
	Concentração COV [0 ppm , 1200 ppb]	lin-exp →	Detune [0.01cents , 1 cents]

Quadro 13 — Sonificação de COV para valores entre de concentração entre 220 ppm - 660 ppm
(entre moderada e má concentração)

Tipo de Síntese / Som	Característica dos Dados	Tipo de transformação dos dados	Parâmetro de Síntese de Som
			Envelope
			Ataque
			aleatório [2]
			Sustentação
			aleatório [1]
			Libertação
			aleatório [1]

Quadro 14 — Sonificação de COV para valores entre de concentração entre acima de 660 ppm (entre média e má concentração)

Tipo de Síntese / Som	Característica dos dados	Tipo de transformação dos dados	Parâmetro de Síntese de Som
Sintetizador baseado em filtros de passa bandas aplicados a diferentes ondas. A frequência central de cada banda varia entre uma frequência mínima e máxima definida pelos parâmetros de sonificação. A taxa de variação também pode oscilar dentro de um intervalo de tempo especificado. Frequência central do filtro, taxa de variação da frequência central e fator Q são todos parâmetros dependentes do valor da concentração dos COV.	Concentração COV [0 ppb, 1200 ppb]	lin-exp →	Onda do oscilador do sintetizador i) Pré-definida: Sinusoidal ii) Se a diferença absoluta de uma leitura para a seguinte é maior que 2, a onda do oscilador é triangular iii) Se a diferença absoluta de uma leitura para a seguinte é maior que 4, a onda do oscilador é dente de serra
			Número de notas, ou graus da escala, que podem ser tocadas
			7
			Ponderação dada a cada grau da escala, i.e., qual a nota mais provável de ser tocada a cada instância:
			7: [0.25, 0.05, 0.075, 0.1, 0.125, 0.175, 0.225]
			Oitava varia aleatoriamente entre 7 e a 8 oitava da nota selecionada
	[0 ppb ,1000 ppb]	lin-exp →	Número de instâncias do sintetizador
			[2-6]
	[0 ppb ,1200 ppb]	lin-exp →	Frequência Central do Filtro Mínima
			[50 Hz, 100 Hz] x grau da escala - 2 a 3 semitons
	[0 ppb ,1500 ppb]	lin-exp →	Oitava varia aleatoriamente entre a nota escolhida e a sua sub oitava
			Freq. Central do Filtro Máx.
	[0 ppb ,1500 ppb]	lin-exp →	[50 Hz, 100 Hz] x grau da escala - 2 a 3 semitons
			Oitava varia aleatoriamente entre a nota escolhida e a sua sub oitava
	[0 ppb ,1500 ppb]	lin-exp →	Variação da Freq do filtro min
			[0.5 hz,5 hz),
	[0 ppb ,1500 ppb]	lin-exp	Variação da Freq do filtro max
			[5 hz,10 hz],

Quadro 14 — Sonificação de COV para valores entre de concentração entre acima de 660 ppm
(entre média e má concentração)

Tipo de Síntese / Som	Característica dos dados	Tipo de transformação dos dados	Parâmetro de Síntese de Som
		→	
	[0 ppb , 1000 ppb]	lin-exp →	Factor Q min [0.9,0.01]
	[0 ppb , 1000 ppb]	lin-exp →	Factor Q Max [0.9,0.05]
	[0 ppb , 1500 ppb]	lin-exp →	Amplitude [0.1, 0.5] x amplitude global x amplitude de controlo dos COV
		lin-exp →	Detune 0.2
			Envelope Ataque aleatório [1,5s, 2,5s]
			Sustentação aleatório [0,5s , 1s]
			Libertação aleatório [3s, 4s]

Quadro 15 — Sonificação de COV para valores entre de concentração entre acima de 1100 ppm (má concentração)

Tipo de Síntese / Som	Característica dos Dados	Tipo de transformação dos dados	Parâmetro de Síntese de Som
Sintetizador baseado em filtros de passa bandas aplicados a diferentes ondas. A frequência central de cada banda varia entre uma frequência mínima e máxima definida pelos parâmetros de sonificação. A taxa de variação também pode oscilar dentro de um intervalo de tempo especificado. Frequência central do filtro, taxa de variação da frequência central e fator Q são todos parâmetros dependentes do valor da concentração dos COV.			Onda do oscilador do sintetizador i) Pré-definida: Sinusoidal ii) Se a diferença absoluta de uma leitura para a seguinte é maior que 2, a onda do oscilador é triangular iii) Se a diferença absoluta de uma leitura para a seguinte é maior que 4, a onda do oscilador é dente de serra
			Número de notas, ou graus da escala, que podem ser tocadas 7 Ponderação dada a cada grau da escala, i.e., qual a nota mais provável de ser tocada a cada instância: 7: [0.25, 0.05, 0.075, 0.1, 0.125, 0.175, 0.225] Oitava varia aleatoriamente entre 7 e a 8 oitava da nota selecionada
	Concentração COV [0, 1200 ppb]	lin-exp →	Número de instâncias do sintetizador [2-6]
	[0 ppb ,1000 ppb]	lin-exp →	Freq. Central do Filtro Mínima 1 sub-oitavas abaixo da nota da fundamental
	[0 ppb ,1200 ppb]	lin-exp →	Freq. Central do Filtro Máx. 25 oitavas acima da nota fundamental
		lin-exp →	Variação da Freq. do filtro Min. [40 Hz, 60 Hz]
		lin-exp →	Variação da Freq. do filtro Máx. [50 Hz,80 Hz],
			Fator Q min [0.699]

Quadro 15 — Sonificação de COV para valores entre de concentração entre acima de 1100 ppm (má concentração)

Tipo de Síntese / Som	Característica dos Dados	Tipo de transformação dos dados	Parâmetro de Síntese de Som
			Fator Q Max [0.77]
	[0 ppb ,1500 ppb]	lin-exp →	Amplitude [0.05, 0.1] x amplitude global x amplitude de controlo dos COV.
		lin-exp →	Detune 0.2 cents
			Envelope Ataque aleatório [3s, 4,5s] Sustentação aleatório [0,5s, 1s] Libertação aleatório [3s, 4s]

Quadro 16 — Sonificação de PM₁₀ para valores entre de concentração entre 0 ppm -1200 ppm

Tipo de Síntese / Som	Característica dos Dados	Tipo de transformação dos dados	Parâmetro de Síntese de Som
Sampler que toca vários sons de espanta espíritos de bambu, reproduzidos a diferentes velocidades em função da concentração do poluente.	Concentração PM ₁₀ [2 µg/m ³ , 1200 µg/m ³]	lin-exp →	Número de instâncias do sintetizador [1, 5]
	Concentração PM ₁₀ [2 µg/m ³ , 1200 µg/m ³]	lin-exp →	Ataque [Aleatório [0.5s, 1.5s], Aleatório [1s, 4s]]
			Sustentação 1,8 s
			Libertação Aleatório [2, 3]
	Concentração PM ₁₀ [2 µg/m ³ , 1200 µg/m ³]	lin-lin →	Velocidade da Sample [0.5, 2]
		lin-exp →	Amp [0.25, 0.75] x amp global x amp PM ₁₀
			Panorâmica Aleatório [¾ Esquerda, ¾ Direita]
			Posição da Sample Aleatório (0 samples, 500000 samples)

Quadro 17 — Sonificação de NO₂ para valores entre de concentração entre 0.01 ppm e 0.05 ppm
(baixa a média)

Tipo de Síntese / Som	Característica dos Dados	Tipo de transformação dos dados	Parâmetro de Síntese de Som
Sampler que toca vários sons de tubos, reproduzidos a diferentes velocidades em função da concentração do poluente.	[0,01 ppm, 0,05 ppm]	lin-exp →	Número de instâncias do sintetizador 2, 40
		lin-exp →	Velocidade da sample 0.5, 1,5
	[0.01 ppm, 0.05 ppm]	lin-exp →	Amplitude [0.4, 1.5] x Amp global x Amp NO ₂
			Ataque Aleatório [0,5 s , 2s]
			Sus 2s
			Repouso 3s
			Posição inicial da sample Aleatório(0 samples ,400000 samples)
			Panorâmica Aleatório [0.25,1] Oscila de um lado para o outro 2 vezes por segundo

Quadro 18 — Sonificação de NO₂ para valores de concentração superiores a 0.05 ppm

Tipo de Síntese / Som	Característica dos Dados	Tipo de transformação dos dados	Parâmetro de Síntese de Som
Sampler que toca vários sons de zumbidos de máquinas reproduzidos a diferentes velocidades em função da concentração do poluente.	>= 0,05 ppm	lin-exp →	Número de instâncias do sintetizador 10, 40
	[0,05 ppm, 0,2 ppm]	lin-exp →	Velocidade da sample 0.5, 3
	[0,05 ppm, 0,2 ppm]	lin-exp →	Amplitude [0.1, 0.75] x Amp. Master x Amp. de controlo NO ₂
			Ataque Aleatório (1, 1.5)
			Sustentação Aleatório 1,2
			Repouso Aleatório [2, 4]
			Posição inicial da sample: Aleatório [0 samples ,400000 samples]
			Panorâmica Aleatório [-1,1]
			Oscila de um lado para o outro 2 vezes por segundo

Apêndice III — Funções de transferência e composição

Atmosmancer: Instalação

Quadro 19 — Sonificação de COV para valores entre de concentração entre 0 ppb - 220 ppb (boa a média concentração)

Tipo de Síntese / Som	Característica dos Dados	Tipo de transformação dos dados	Parâmetro de Síntese de Som
Sintetizador baseado em filtros de passa bandas aplicados a diferentes ondas. A frequência central de cada banda varia entre uma frequência mínima e máxima definida pelos parâmetros de sonificação. A taxa de variação também pode oscilar dentro de um intervalo de tempo especificado. Frequência central do filtro, taxa de variação da frequência central e qualidade recíproca são todos parâmetros dependentes do valor da concentração dos COV.	Concentração COV [0 ppb, 65 ppb]	→	Onda do oscilador do sintetizador i) Pré-definida: Triangular
			Número de notas, ou graus da escala, que podem ser tocadas [0, 7] Ponderação dada a cada grau da escala, i.e., qual a nota mais provável de ser tocada a cada instância*: 1 grau: [1] 2 graus: [0.4, 0.6] 3 graus: [0.25, 0.4, 0.35] 4: [0.1, 0.35, 0.5, 0.3] 5: [0.15, 0.1, 0.2, 0.25, 0.3] 6: [0.15, 0.1, 0.15, 0.2, 0.2, 0.2] 7: [0.15, 0.075, 0.1, 0.125, 0.175, 0.225, 0.25] Oitava varia aleatoriamente entre a nota escolhida e as sua sub-oitava e e sub-sub-oitava.
			*algumas somas podem ser superiores a 1. Isso não afeta a sua distribuição, pois o programa toma a soma das ponderações como relativa a 100%.
		lin-exp →	Número de instâncias do sintetizador [2-4]
	Concentração COV [0 ppb, 220 ppb]	lin-exp →	Frequência Central do Filtro mínima [50 Hz, 100 Hz] x grau da escala - 2 a 3 semitons Oitava varia aleatoriamente entre a nota escolhida e a sua sub-oitava

Quadro 19 — Sonificação de COV para valores entre de concentração entre 0 ppb - 220 ppb
(boa a média concentração)

Tipo de Síntese / Som	Característica dos Dados	Tipo de transformação dos dados	Parâmetro de Síntese de Som
		lin-exp →	Freq. Central do Filtro Máx. [50 Hz, 100 Hz] x grau da escala - 2 a 3 semitons Oitava varia aleatoriamente entre a nota escolhida e a sua sub oitava
		lin-exp →	Variação da Freq do filtro min. [0.1 hz,5 hz],
		lin-exp →	Variação da Freq do filtro máx. [5 hz,10 hz],
		lin-exp →	Fator Q min [0.9, 0.01]
		lin-exp →	Fator Q Max [0.9, 0.05]
		lin-exp →	Detune [0.0 cents, 0.5 cents]
			Envelope Ataque aleatório [1,5 s, 2,5s] Sustentação aleatório [0,5 s, 1s] Libertação aleatório [3s, 4s] Amplitude amplitude global x amplitude de controlo dos COV

Quadro 20 — Sonificação de COV para valores entre de concentração entre 220 ppb - 660 ppb (entre média e má concentração)

Tipo de Síntese / Som	Característica dos Dados	Tipo de transformação dos dados	Parâmetro de Síntese de Som
Sintetizador baseado em filtros de passa bandas aplicados a diferentes ondas. A frequência central de cada banda varia entre uma frequência mínima e máxima definida pelos parâmetros de sonificação. A taxa de variação também pode oscilar dentro de um intervalo de tempo especificado. Frequência central do filtro, taxa de variação da frequência central e fator Q são todos parâmetros dependentes do valor da concentração dos COV.	Concentração COV [220 ppm, 660 ppb]		Onda do oscilador: Se as concentrações são inferiores a 600 ppb as ondas a tocar pode ser as seguintes com as respetivas ponderações a) Triangular: 98% das vezes b) Dente de serra: 1% das vezes c) Quadrada: 1% das vezes Se as concentrações são superiores a 600 ppb as ondas a tocar seguem a seguinte regra: a) Triangular: 65% das vezes b) Dente de serra: 20% das vezes c) Quadrada: 15% das vezes
		→	Frequência da nota tocada Escala Partch 01 a contar da nota MIDI 37 Oitava varia aleatoriamente entre a nota escolhida e a sua sub-oitava
		lin-exp →	Número de instâncias do sintetizador [3-5]
		lin-exp →	Freq. Central do Filtro Mínima [100hz , 200hz]
		lin-exp →	Freq. Central do Filtro Máx. [2500, 5000]
		lin-exp →	Variação da Freq. do filtro min. [2 hz, 5 hz),
		lin-exp →	Variação da Freq. do filtro máx. [5 hz, 10 hz],
		lin-exp →	Fator Q min [0.9,0.01]

Quadro 20 — Sonificação de COV para valores entre de concentração entre 220 ppb - 660 ppb
(entre média e má concentração)

Tipo de Síntese / Som	Característica dos Dados	Tipo de transformação dos dados	Parâmetro de Síntese de Som
		lin-exp	Fator Q Max
		→	[0.5,0.4]
		lin-exp	Detune
		→	[0.01 cents, 5 cents]
			Envelope
			Ataque
			aleatório [0,5s, 2s]
			Sustentação
			aleatório [1s, 2s]
			Libertação
			aleatório [2s, 3s]
			Amplitude
			amplitude global x amplitude de controlo dos COV

Quadro 21 — Sonificação de COV para valores entre de concentração acima de 660 ppb (má concentração)			
Tipo de Síntese / Som	Característica dos Dados	Tipo de transformação dos dados	Parâmetro de Síntese de Som
Sintetizador baseado em filtros de passa bandas aplicados a diferentes ondas. A frequência central de cada banda varia entre uma frequência mínima e máxima definida pelos parâmetros de sonificação. A taxa de variação também pode oscilar dentro de um intervalo de tempo especificado. Frequência central do filtro, taxa de variação da frequência central e fator Q são todos parâmetros dependentes do valor da concentração dos COV.	660 ppb – 1200 ppb		Tipo de onda do oscilador Dente de serra 97% das vezes Quadrada 3% das vezes
			Frequência do oscilador: Sub-sub-oitava da fundamental da escala
			Número de instâncias do sintetizador [4, 8]
			Freq. Central do Filtro Mínima 1 sub-oitavas abaixo da nota da fundamental
			Freq. Central do Filtro Máx. 25 oitavas acima da nota fundamental
		lin-exp →	Variação da Freq. do filtro Min. [40 Hz, 60 Hz]
		lin-exp →	Variação da Freq. do filtro Máx. [50 Hz,80 Hz],
			Fator Q min [0.06, 0,04]
			Fator Q Max [0.05, 0.01]
			Detune [2 cents, 10 cents]
			Envelope Ataque aleatório [0.25s, 2s] Sustentação aleatório [0.4s, 1s] Libertação aleatório [0,5s, 2s]

Quadro 21 — Sonificação de COV para valores entre de concentração acima de 660 ppb (má concentração)

Tipo de Síntese / Som	Característica dos Dados	Tipo de transformação dos dados	Parâmetro de Síntese de Som
			Amplitude amplitude global x amplitude de controlo dos COV

Quadro 22 — Sonificação de PM ₁₀ para valores entre de concentração entre 0 ppm -1200 ppm			
Tipo de Síntese / Som	Característica dos Dados	Tipo de transformação dos dados	Parâmetro de Síntese de Som
Sampler granular que toca curtos samples de sons de espanta-espíritos de bambu.	Concentração PM ₁₀ [0 µg/m ³ , 1200 µg/m ³]	lin-lin →	Número de instâncias do sintetizador 1
			Densidade de grãos [2 grãos /s, 60 grãos/s]
			Velocidade da sample [Aleatório entre 0.05 -0.1, Aleatório entre 1.50 - 1.60]
			Amplitude [1, 0.1]
			Duração dos grãos 1 s
	Humidade [0%, 100%]	lin-exp →	Quantidade de ganho do som para o efeito de reverberação [-18dB, 0 dB]
			Panorâmica Aleatório entre os 4 canais, as samples circulam à volta.
			Envelope Ataque aleatório [0.01s, 0.05s]
			Sustentação aleatório [1.1s, 1.5s]
			Libertação aleatório [1s, 2s]

Quadro 23 — Sonificação de PM₁₀ para ultrapassagem de valores limite para a saúde humana.

Tipo de Síntese / Som	Característica dos Dados	Parâmetro de Síntese de Som
Síntese de modelação física por banco de filtros que emula som de tambores tipo “taiko”.	$\geq 36 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Tambor 1 tipo taiko afinado na fundamental da escala, que toca 1 vez a cada 2 segundos. Lançado no canal 1.
	$\geq 51 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Tambor 1 + Tambor 2 Tambor 2: tipo taiko afinado quatro oitavas acima da nota fundamental, que toca 1 vezes a cada 1 segundos Lançado no canal 3
	$\geq 101 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Tambor 1 + Tambor 2 + Tambor 3 Tambor 3: tipo taiko afinado 6 oitavas acima da fundamental, Que toca 2 vezes a cada 1 segundo. Lançado no canal 4.

Quadro 24 — Sonificação de PM_{2,5} para ultrapassagem de valores limite para a saúde humana.

Tipo de Síntese / Som	Característica dos Dados	Parâmetro de Síntese de Som
Sampler granular que toca curtos samples de sons de molas longas a baterem em superfícies e espanta-espíritos de bambu.	$\geq 21 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Granulador 1 Velocidade de reprodução da sample 0,5 da normal. Sentido da reprodução aleatório entre normal ou reverso
	$\geq 26 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Granulador 1 + Granulador 2 Granulador 2: Velocidade de reprodução da sample aleatória entre 4 a 6 vezes a normal. Sentido da reprodução aleatório entre normal ou reverso.
	$\geq 51 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Granulador 1 + Granulador 2 + Granulador 3 Granulador 3: Velocidade de reprodução da sample aleatória entre 6 a 8 vezes a normal. Sentido da reprodução aleatório entre normal ou reverso.

Quadro 25 — Sonificação de N02 para valores entre de concentração entre 0,01 ppm e 0,05 ppm (baixa a média)			
Tipo de Síntese / Som	Característica dos Dados	Tipo de transformação dos dados	Parâmetro de Síntese de Som
Sampler que toca vários zumbidos de máquina a diferentes velocidades em função da concentração do poluente.	[0,01 ppm, 0,05 ppm]	lin-exp →	Número de instâncias do sintetizador [2, 3]
	[0.01 ppm, 0.05 ppm]	lin-exp →	Velocidade da sample [1x, 4x]
			Amplitude Amplitude Master x Amplitude de controlo NO ₂
			Ataque Aleatório entre 1 s e 1.5 s Sustentação Aleatório entre 1 s e 1.5 s Libertação Aleatório entre 1.5 s e 4 s
			Panorâmica Aleatória entre os canais 3 e 4
	Humidade relativa [0%, 100%]	lin-exp →	Quantidade de ganho do som para o efeito de reverberação [-24 dB, -12 dB]

Quadro 26 — Sonificação de NO2 para valores de concentração superiores a 0.05 ppm			
Tipo de Síntese / Som	Característica dos Dados	Tipo de transformação dos dados	Parâmetro de Síntese de Som
Sintetizador baseado em filtros de passa bandas aplicados a diferentes ondas. A frequência central de cada banda varia entre uma frequência mínima e máxima definida pelos parâmetros de sonificação. A taxa de variação também pode oscilar dentro de um intervalo de tempo especificado. Frequência central do filtro, taxa de variação da frequência central e fator Q são todos parâmetros dependentes do valor da concentração dos COV.	Concentração NO ₂ [0 ppm ,0.25 ppm]		Onda do oscilador do sintetizador Aleatória entre triangular, dente de serra ou quadrada.
			Número de notas, ou graus da escala, que podem ser tocadas 7 Ponderação dada a cada grau da escala, i.e., qual a nota mais provável de ser tocada a cada instância: 7: [0.25, 0.05, 0.075, 0.1, 0.125, 0.175, 0.225] Oitava varia aleatoriamente entre a 2ª e a 7ª oitava da nota selecionada
		lin-exp →	Número de instâncias do sintetizador [2-4]
		lin-exp →	Freq. Central do Filtro Mínima [50 Hz, 100 Hz] x grau da escala - 2 a 3 semitons Oitava varia aleatoriamente entre a nota escolhida e a sua sub-oitava
		lin-exp →	Freq. Central do Filtro Máx. [50 Hz, 100 Hz] x grau da escala - 2 a 3 semitons Oitava varia aleatoriamente entre a nota escolhida e a sua sub-oitava
		lin-exp →	Variação da Freq. do filtro min. [0.54 hz, 50 hz),
		lin-exp →	Variação da Freq. do filtro máx. [5.12 hz, 100 hz],
		lin-exp →	Detune [0,25 cents, 1 cent]
		Fator Q min	

Quadro 26 — Sonificação de N02 para valores de concentração superiores a 0.05 ppm			
Tipo de Síntese / Som	Característica dos Dados	Tipo de transformação dos dados	Parâmetro de Síntese de Som
			0.699
			Fator Q Max
			0.77
			Envelope
			Ataque
			aleatório [1,5s, 2,5s]
			Sustentação
			aleatório [0,5s, 1s]
			Libertação
			aleatório [3s, 4s]
			Amplitude
			Amplitude Master x amplitude de controlo do NO ₂

FIM