

RICARDO DE OLIVEIRA THOMASI

Estudos Ecos e vislumbres de uma performance musical ecossistêmica: uma investigação sobre estratégias de controle de estruturas emergentes em ecossistemas audíveis.

São Paulo

2022

RICARDO DE OLIVEIRA THOMASI

Estudos Ecos e vislumbres de uma performance musical ecossistêmica: uma investigação sobre estratégias de controle de estruturas emergentes em ecossistemas audíveis

Tese apresentada à Escola de Comunicações e Artes da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Doutor em Música. Área de concentração: Processos de Criação Musical (versão corrigida)

Orientador: Prof. Dr. Regis Rossi Alves Faria

São Paulo

2022

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na Publicação
Serviço de Biblioteca e Documentação
Escola de Comunicações e Artes da Universidade de São Paulo
Dados inseridos pelo(a) autor(a)

Thomasi, Ricardo de Oliveira

Estudos Ecos e vislumbres de uma performance musical ecossistêmica: uma investigação sobre estratégias de controle de estruturas emergentes em ecossistemas audíveis / Ricardo de Oliveira Thomasi; orientador, Regis Rossi Alves Faria. - São Paulo, 2022.

170 p.: il.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Música / Escola de Comunicações e Artes / Universidade de São Paulo.

Bibliografia

Versão corrigida

1. Ecossistemas audíveis. 2. Teorias da emergência. 3. Controle de retroalimentação. 4. Processos de criação musical. 5. Performance ecossistêmica. I. Faria, Regis Rossi Alves. II. Título.

CDD 21.ed. - 780

Elaborado por Alessandra Vieira Canholi Maldonado - CRB-8/6194

THOMASI, Ricardo. *Estudos Ecos e vislumbres de uma performance musical ecossistêmica: uma investigação sobre estratégias de controle de estruturas emergentes em ecossistemas audíveis*. Tese (Doutorado em música) – Escola de Comunicações e Artes, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

AGRADECIMENTOS

Aos meus familiares, especialmente aos meus pais, minhas filhas Luísa e Júlia e à Camila Fazin, pelo apoio incondicional sem o qual este trabalho não seria possível.

À Escola de Comunicações e Artes da Universidade de São Paulo.

Ao meu orientador, o professor Dr. Regis Rossi Alves Faria, por acolher a mim e meu projeto de pesquisa.

Aos professores Silvio Ferraz, Rodolfo Coelho de Souza, Fernando Iazzetta e Fernando Fagundes Ferreira, pelas oportunidades de aprendizado tão caras para mim e para esta pesquisa.

Ao professor Felipe de Almeida Ribeiro e a todos do Núcleo Música Nova, da Universidade Estadual do Paraná, que desde o meu mestrado têm sido parceiros em projetos e debates inspiradores.

Ao professor Fábio Furlanete, a todos do CLIC e à Universidade Estadual de Londrina, por me permitirem enxergar as coisas por outros ângulos.

Aos meus parceiros de criação, Fernando Kozu (Guitarras Ecosistêmicas); Luzilei Aliel e Rafael Fajiolli de Oliveira (Tecnofagia); Fátima Carneiro dos Santos e Lawrence Mayer Malanski (Soundscapes Londrina), pelas oportunidades de experiências únicas e desenvolvimento de projetos tão bonitos e que contribuíram imensamente para esta pesquisa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

RESUMO

THOMASI, Ricardo. *Estudos Ecos e vislumbres de uma performance musical ecossistêmica: uma investigação sobre estratégias de controle de estruturas emergentes em ecossistemas audíveis*. Tese (Doutorado em música) – Escola de Comunicação e Artes, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

Este trabalho investiga possibilidades de estruturação musical com base em teorias de emergências, encontrando no modelo dos ecossistemas audíveis um território fértil para pesquisa experimental e artística. A inclusão do ambiente acústico como um componente ativo do sistema musical convida a uma reconsideração no uso de técnicas clássicas para criação e modelagem sonora, bem como no uso de modelos tradicionais de performance eletroacústica, através de uma crítica sobre o papel das interações sob uma perspectiva qualitativa. Nesse sentido, parte-se da noção de composição de interações em direção à composição de relações, onde processos reativos, interativos e interdependentes beneficiam uma abordagem criativa amparada pela ideia de estruturas emergentes modeladas. Tomamos como hipótese inicial a possibilidade de elaboração de estratégias de controle de estruturas emergentes através da instrumentalização do laço de retroalimentação como elemento formador do ecossistema audível. Para tanto, foi desenvolvido um modelo de controle de retroalimentação acústica-digital que possibilitou a observação, estudo e modelagem de ecossistema audível. As estratégias de controle decorrentes compõem o Instrumento Espacial, utilizado para performance com ecossistemas audíveis. Como causa e consequência deste desenvolvimento, elaborou-se uma metodologia de modelagem e análise multinível com um quadro teórico específico para elucidar a estrutura e comportamento organizacional do ecossistema audível criado. A natureza comportamental do ecossistema audível aparece como objeto de análise e confronto com as práticas contemporâneas, provocando um debate crítico distinguindo aplicações genéricas e fetichistas dos conceitos de estruturas emergentes e interatividade. Os resultados obtidos e o debate crítico associado contribuem para que se lance novos olhares sobre a performance musical contemporânea e sobre o papel da pesquisa em artes em um cenário científico multidisciplinar.

Palavras-chave: Ecossistemas audíveis. Teorias da Emergência. Controle de Retroalimentação. Processos de criação musical. Performance ecossistêmica.

ABSTRACT

This work investigates possibilities of musical structuring based on emergence theories, finding in the audible ecosystems a fertile territory for experimental and artistic research. The inclusion of the acoustic environment as an active component of the musical system invites us to reconsider the use of classical techniques for sound creation and modeling, as well as the use of traditional electroacoustic performance models, by critiquing the role of interactions from a qualitative perspective. In this sense, one starts from the notion of composing interactions towards the composing relations, where reactive, interactive and interdependent processes benefit from a creative approach supported by the idea of modeled emergent structures. We take as an initial hypothesis the possibility of elaborating strategies to control emergent structures through the instrumentalization of the feedback loop as a forming element of the audible ecosystem. To this end, an acoustic-digital feedback control model was developed that enabled the observation, study, and modeling of audible ecosystem. The resulting control strategies make up the Spatial Instrument, used for performance with audible ecosystems. As a cause and consequence of this development, a multi-level modeling and analysis methodology was developed with a specific theoretical framework to elucidate the organizational structure and behavior of the audible ecosystem created. The behavioral nature of the audible ecosystem appears as an object of analysis and confrontation with contemporary practices, provoking a critical debate distinguishing generic and fetishistic applications of the concepts of emergent structures and interactivity. The results obtained and the associated critical debate contribute to a new way of looking at contemporary music performance and the role of arts research in a multidisciplinary scientific scenario.

Keywords: Audible ecosystems. Emergence Theories. Feedback control. Processes of musical creation. Ecosystemic performance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Esboço de sistema apresentado no projeto inicial desta pesquisa.	16
Figura 1.2 – Correlações entre capítulos.	23
Figura 2.1 – Excerto da partitura de <i>Introduzione All’Oscuro</i> , de Salvatore Sciarrino.	30
Figura 2.2 – Partitura de <i>Having never written a note for percussion</i> , de James Tenney.	32
Figura 2.3 – <i>String Quartet n.2, mov. II</i> , de György Ligeti, compassos 24-26.	34
Figura 2.4 – Decorrelação espacial induzida por meio de edição temporal de Áudio.	36
Figura 2.5 – Esquemas de retroalimentação e malha aberta.	38
Figura 2.6 – Sistema de retroalimentação sonora gerador do efeito Larsen (microfonia).	39
Figura 2.7 – Inversor de fases e esquema do <i>Pea Soup Project</i> , de Nicolas Collins.	40
Figura 2.8 – Esquema genérico para sistemas de retroalimentação para fins musicais de Sanfilippo e Valle.	43
Figura 3.1 – Diagrama representando bifurcações sucessivas, evidenciando o mapeamento histórico das evoluções do sistema.	55
Figura 3.2 – Células de Bénard.	57
Figura 3.3 – Laços de retroalimentação acústica-digital.	64
Figura 3.4 – Exemplo de um estado de equilíbrio metaestável.	66
Figura 3.5 – Ruídos gerados por fluxo de dados paralelo.	68
Figura 3.6 – Comparativo entre espectros sonoros de diferentes microfones.	69
Figura 3.7 – Expansão espectral por aumento de energia no laço de retroalimentação.	70
Figura 3.8 – Configurações espectrais formadas por diferentes topologias de retroalimentação.	71
Figura 4.1 – Laços de retroalimentação acoplados em <i>Modes of Interference</i> , de Agostino Di Scipio.	81
Figura 4.2 – Sonograma comparativo entre registro externo e interno.	84
Figura 4.3 – Representação em forma de onda do sinal retroalimentado.	86
Figura 4.4 – Sinal retroalimentado livre de saturação ou compressão.	86
Figura 4.5 – Esquema do mecanismo de controle de retroalimentação.	88
Figura 4.6 – <i>Patch</i> de controle de retroalimentação acústica.	88
Figura 4.7 – Interior do <i>patch</i> de controle de retroalimentação acústica.	89

Figura 4.8 – Controle de ganho multibanda em diferentes momentos.	90
Figura 4.9 – Instrumento Espacial, perspectiva do meio acústico.	91
Figura 4.10 – Esquema da estrutura de ganhos elaborada.	92
Figura 5.1 – Sistema experimental que envolve o Estudo Ecos.	94
Figura 5.2 – Fluxograma dos padrões de emergência como aparecem no modelo teórico do Estudo Ecos.	101
Figura 5.3 – Processo iterativo de duas fases da Microanálise Sintética, de Auyang (1998), adaptado ao Estudo Ecos.	103
Figura 5.4 – Exemplos de topologias.	105
Figura 5.5 – Exemplo de instabilidades dinâmicas.	108
Figura 5.6 – Perfil e tipologia de instabilidades.	109
Figura 5.7 – Bifurcações ao nível do espectro sonoro.	110
Figura 5.8 – Tipos de instabilidades e movimentos sonoros.	111
Figura 5.9 – Esboço-síntese das correlações entre as tipologias que dão suporte ao Estudo Ecos.	112
Figura 6.1 – Variações nas formações espectrais indicando a presença de nichos acústicos.	116
Figura 6.2 – Influência dos nichos acústicos na formação da topologia de retroalimentação.	118
Figura 6.3 – Relação entre laços de retroalimentação e expansão do espectro sonoro.	118
Figura 6.4 – Estrutura de ganhos em camadas.	119
Figura 6.5 – Estruturas emergentes por interpolação de <i>frames</i> via Transformada de Fourier de curta duração.	124
Figura 6.6 – Estruturas emergentes por variação de tempo de linha de atraso.	126
Figura 6.7 – Diferentes configurações espectrais emergentes por variação do tempo de linhas de atraso.	127
Figura 6.8 – Comparativo entre formação de laços de retroalimentação Independentes	129
Figura 6.9 – Emergência de harmônicos por sobreposição de linhas de atraso.	131
Figura 6.10 – Laços de retroalimentação em planos.	131
Figura 6.11 – Uso de filtros ressonantes como atratores fortes.	133
Figura 6.12 – Excitação de diferentes bandas de frequência com filtros Ressonantes	134
Figura 6.13 – Exemplo de interface de controle de duas dimensões	134
Figura 6.14 – Interface para controle de ganhos entre vários planos de retroalimentação.	136

Figura 6.15 – Modelo de autorregulação.	137
Figura 6.16 – Uso de filtros ressonantes como atratores fortes em sistema auto-regulável.	139
Figura 6.17 – Efeitos da ativação-inibição e controle automático de ganho dos sinais nas saídas do <i>patch</i> .	139
Figura A.1 – Fotografia e sonograma dos possíveis laços de retroalimentação entre microfone A e alto-falantes 1-4.	157
Figura A.2 – Fotografia e sonograma dos possíveis laços de retroalimentação entre microfone B e alto-falantes 1-4.	158
Figura A.3 – Fotografia e sonograma dos possíveis laços de retroalimentação entre microfone C e alto-falantes 1-4.	159
Figura A.4 – Fotografia e sonograma dos possíveis laços de retroalimentação entre microfone D e alto-falantes 1-4.	160
Figura B.1 – Espectro sonoro emergente antes e após a variação do tempo da linha de atraso.	162
Figura B.2 – Sonogramas de pico de frequências para comparação de Invariância por linha de atraso para quatro defasagens distintas, em milissegundos (ms).	163
Figura B.3 – Quatro sonogramas de pico de frequência para comparação de invariância aos diferentes tamanhos de <i>Buffer</i> de entrada e saída, utilizando microfone n.1.	164
Figura B.4 – Quatro sonogramas de pico de frequência para comparação de invariância aos diferentes tamanhos de <i>Buffer</i> de entrada e saída, utilizando o microfone n.2.	164
Figura C.1 – Legenda para os Fluxogramas	168
Figura C.2 – Fluxograma do patch BP Filters	168
Figura C.3 – Fluxograma do patch S.Split	169
Figura C.4 – Fluxograma do patch FiltroZ	169
Figura C.5 – Fluxograma do patch Delay 8Vozes	170
Figura C.6 – Fluxograma do patch Delay 4D	170
Figura C.7 – Fluxograma das linhas de atraso do patch Controle de sinal de entrada	170

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Resumo da taxonomia de emergências de Fromm (2005)	76
Tabela A.1 – Lista de frequências do sonograma da Figura A.1	158
Tabela A.2 – Lista de frequências do sonograma da Figura A.2	158
Tabela A.3 – Lista de frequências do sonograma da Figura A.3	159
Tabela A.4 – Lista de frequências do sonograma da Figura A.4	160
Tabela B.1 – Relação aproximada das frequências exibidas no sonograma da Figura B.1 e respectivas equivalências com o sistema de notas musicais.	162
Tabela B.2 – Relação aproximada das frequências exibidas no sonograma da Figura B.2 e respectivas equivalências com o sistema de notas musicais para as quatro defasagens.	163
Tabela B.3 – Relação aproximada das frequências exibidas no sonograma da Figura B.3 e respectivas equivalências com o sistema de notas musicais.	164
Tabela B.4 - Relação aproximada das frequências exibidas no sonograma da Figura B.4 e respectivas equivalências com o sistema de notas musicais.	165
Tabela C.1 – Principais objetos utilizados para implementação dos <i>patches</i> .	167
Tabela C.2 – Lista de patches implementados e utilizados nos experimentos.	167

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 DAS MOTIVAÇÕES E DESAFIOS DE PESQUISA	13
1.2 ENSAIO SOBRE MÚSICA, COMPLEXIDADE E EMERGÊNCIAS	17
1.3 DO SUPORTE TEÓRICO E METODOLOGIA	20
1.4 ESTRUTURA DA TESE	22
2 POR UMA LÓGICA DAS EMERGÊNCIAS	25
2.1 A MÚSICA COMO UM SISTEMA ABERTO	25
2.2 UMA NOÇÃO DE ESTRUTURA MULTINÍVEL	27
2.3 EMERGÊNCIA ESSENCIAL, POR SEMELHANÇA E MODELADA	29
2.4 MICROPOLIFONIA, MICROMONTAGEM E EMERGÊNCIAS	33
2.5 RETROALIMENTAÇÃO ENQUANTO CONTROLE	37
2.6 RETROALIMENTAÇÃO ENQUANTO ESPAÇO NARRATIVO	39
2.7 TEORIA DA EMERGÊNCIA SONOLÓGICA	44
3 DO CONCEITO DE EMERGÊNCIAS À RETROALIMENTAÇÃO ACÚSTICA-DIGITAL	47
3.1 DILEMAS ACERCA DO CONCEITO DE EMERGÊNCIAS	47
3.2 UMA PERSPECTIVA SOBRE ESTRUTURAS E SISTEMAS	48
3.3 EMERGÊNCIAS	50
3.4 OLHAR AS EMERGÊNCIAS A PARTIR DE SUAS DINÂMICAS	53
3.5 DA CONDIÇÃO DE METAESTABILIDADE	56
3.6 NOÇÕES SOBRE RESSONÂNCIAS	60
3.7 A RETROALIMENTAÇÃO COMO GERADORA DE CONDIÇÃO METAESTÁVEL	63
4 A ESTRUTURA DO ECOSSISTEMA AUDÍVEL NO ESTUDO ECOS	72
4.1 ECOSSISTEMAS E ECOSSISTÊMICOS	72
4.2 INTERAÇÕES E INTERDEPENDÊNCIAS	74
4.3 O PROBLEMA DO ESCOPO AO LIDAR COM EMERGÊNCIAS	75
4.4 A TAXONOMIA DE EMERGÊNCIAS DE FROMM	77
4.5 DA IMPLEMENTAÇÃO DO CONTROLE DE RETROALIMENTAÇÃO	

ACÚSTICA-DIGITAL	82
4.6 DA IMPLEMENTAÇÃO DO INSTRUMENTO ESPACIAL	90
5 METODOLOGIA MICRO-MACRO	94
5.1 DO MÉTODO E DA ESCUTA	94
5.2 UMA PERSPECTIVA MULTINÍVEL	99
5.3 TOPOLOGIAS DE RETROALIMENTAÇÃO E CORRELAÇÕES CAUSAIS: SÍNTESE E SIMULAÇÃO	103
5.4 INSTABILIDADES E BIFURCAÇÕES: ANÁLISE E DELINEAMENTO	106
5.5 SÍNTESE DAS CORRELAÇÕES ENTRE AS TIPOLOGIAS	111
6 ELABORAÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE CONTROLE	114
6.1 NICHOS, TOPOLOGIAS E FORMAÇÕES INICIAIS	114
6.2 CONTINUIDADE, TEXTURAS E MORFOLOGIAS	120
6.3 MODULAÇÃO DA ESTRUTURA DO SINAL DIGITAL	123
6.4 PLANOS DE RETROALIMENTAÇÃO E O MEIO ACÚSTICO COMO <i>HUB</i>	128
6.4.1 Linhas de atraso	130
6.4.2 Filtros Ressonantes	132
6.4.3 Uma nova camada de estrutura de ganhos	135
6.5 OUTROS PLANOS DE RETROALIMENTAÇÃO	136
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	140
REFERÊNCIAS	144
APÊNDICE A – TOPOLOGIAS DE RETROALIMENTAÇÃO	157
APÊNDICE B – INVARIÂNCIAS	161
APÊNDICE C – DETALHAMENTO DO <i>SET-UP</i> E <i>PATCHES</i>	166

1 INTRODUÇÃO

1.1 DAS MOTIVAÇÕES E DESAFIOS DE PESQUISA

As ressonâncias acústicas me fascinam desde menino. No início da minha adolescência eu deixava a guitarra em alto volume próxima ao amplificador e tateava o corpo do instrumento e as cordas como se fosse um instrumento de percussão super ressonante. Em 2010, quando comecei meus primeiros trabalhos com música eletrônica, me apaixonei pelos filtros digitais. A matemática era uma pedra no sapato. Mas, com o tempo descobri que a música tem seus próprios meios. Foi nessa época também que conheci os trabalhos de Horacio Vaggione e Pierre Schaeffer. E aí veio o encontro fortuito: como seria uma micromontagem ao nível dos filtros ressonantes? Eu poderia criar famílias de objetos sonoros a partir de uma implementação mais básica que fosse *animada* por outras coisas acusticamente soantes? Essas ideias me intrigam até hoje. Quando conheci o trabalho de Agostino Di Scipio, embora não tenha entendido muito bem no início, fiquei entusiasmado com a possibilidade de *tocar com a sala*; um super instrumento para performance de música eletrônica ao vivo que me permitisse criar com as ressonâncias acústicas. Assisti a performance da peça *Modes of Interference n.2 (2006)*, com o Pedro Bittencourt, no YouTube¹ – era a única referência que eu tinha na época. O mecanismo arquitetado por Di Scipio era fascinante – ou, pelo menos, curioso. Comecei a explorar nesse sentido. Em *Ressons (2016)*, eu usei um violão como corpo ressonante ativado pela voz. Depois de gravado, modeliei as frequências digitalmente, pois as ressonâncias eram bem singelas na versão acústica. E, assim como em *Incensos (2017)*, eu usei um sistema de retroalimentação digital para criar as texturas sonoras. A partir das peças *Cinco e meia (2018)* e *Descontinuidades (2018)*, eu já estava utilizando um sistema híbrido acústico-digital e conseguia captar a ressonância da sala, instrumentos e corpos presentes que, de certa maneira, estavam inseridos no laço de retroalimentação. Mas, ainda estava descontrolado. Era preciso fazer sessões de captação e os artefatos de digitalização eram enormes. Alguns alto-falantes reclamam dessas experiências até hoje. Finalmente, em *Ecos n.1 (2018)*, consegui um modelo relativamente controlável a ponto de levar para performance ao vivo, no sentido de uma improvisação electroacústica. A primeira versão conectava dois ambientes acústicos, um como fonte de energia – ruído, som ambiente – e o outro como o espaço de performance. Logo consegui aprimorar para uma segunda versão capaz de lidar com o laço de retroalimentação no mesmo

¹ Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=fHbV9fSxYoA>. Detalhes em Bittencourt (2014).

local, que foi estreada no VIII Ubimus, em setembro de 2018, na cidade de São João del Rei/MG. O sistema de controle ainda era instável. Usava inversão de fase, espacialização multicanal e controles de amplitude acoplados com rastreamento de frequências para conter as microfônias; uma mistura do *Pea Soup Project*, do Nicolas Collins (2011), com o *Audible Ecosystemics*, de Di Scipio (2003). O problema é que se ouvia mais os movimentos dos controles que as ressonâncias acústicas.

No início de 2019 consegui chegar na primeira versão do modelo atual. Chamo de Instrumento Espacial, motivado pela pesquisa do professor Regis R. A. Faria (2011). A ideia central que permeava a implementação do *patch* era a de que o sistema precisava ser responsivo analogamente ao sinal de entrada. Seria incoerente mapear frequências ou funções arbitrariamente. Foi a época que conheci, com o professor Fernando Fagundes Ferreira, alguns procedimentos de Modelagem Baseada em Agentes e como esses modelos ajudavam o estudo sobre estruturas emergentes. Começava a se formar, de maneira mais consistente, um esboço do Estudo Ecos. Com um controle mais estável, foi possível observar e estudar o sistema não mais como um simples *patch* de controle, mas como um ecossistema audível. Logo a noção de *escuta*, tão cara à música, veio à tona. E junto, as noções de criação, invenção... e o Simondon, que já me rondava desde as aulas do professor Silvio Ferraz, em 2018, encontrou um lugar nesse ecossistema. Neste momento as coisas começaram a se conectar: a modelagem de um sistema de performance musical era, em si, um processo criativo. Recentemente encontrei uma fala do Agostino Di Scipio neste sentido, de que a ideia de “moldar uma rede de descritores em tempo real e sinais de controle é uma tarefa criativa, composicional, não uma recuperação de dados sem valor presumivelmente pertencentes a um mundo externo e objetivo” (DI SCIPIO, 2022, *n.p*)². O artesanato da elaboração das ferramentas de performance e construção de instrumentos é parte substancial do processo criativo e característica genuína da música eletroacústica de hoje – é a função multidisciplinar do compositor eletroacústico³ (THOMASI, 2016b).

Nesse momento, o Estudo Ecos surgia enquanto arcabouço experimental desta pesquisa. E quando estava prestes a se emancipar do laboratório, se deparou com o *lockdown* em 2020, devido à pandemia de covid-19. O que seria de um ecossistema audível sem a presença física das pessoas, da sala, do *lugar*? Voltamos ao laboratório – de onde não saímos até agora.

² Enfatizamos, exclusivamente, o processo criativo que envolve a luteria digital na área da música.

³ Referimo-nos aos termos *compositor* e *música eletroacústica* sem fazer juízo de valor político ou histórico, muito menos como estereótipos de uma visão hegemônica, senão como emblemas da criação sonora e musical com intermédio de tecnologias contemporâneas, em amplo senso.

Tínhamos um plano baseado em quatro vertentes de experimentos. O *Ecos n.1*, que se orientava à investigação de possibilidades criativas relacionadas à organização espacial de fontes sonoras e ambientes acústicos acoplados. Esta experiência foi essencial para definirmos quais espaços pareciam ser mais significativos para a performance no ambiente acústico, aqui chamados de nichos acústicos⁴, assim como para investigar meios de interação com eles. O *Ecos n.2*, que focalizava a investigação de processos idiossincráticos no domínio digital, com objetivo de entender a relação entre processos arbitrariamente implementados e respostas naturais⁵ do ecossistema. E os dois últimos, *Ecos n.3* e *Ecos n.4*, que estariam relacionados à exploração de modelos de performance além do modelo de eletrônica ao vivo solo, por exemplo, incluindo instrumentos acústicos, performances corporais e instalações audiovisuais. Por motivos óbvios, não conseguimos concluir estes dois últimos. Neste trabalho, os resultados apresentados vêm de diferentes experimentos realizados no escopo do *Ecos n.1* e do *Ecos n.2*.

Por outro lado, a adaptação da vida à distância também foi muito frutífera para o Estudo Ecos. Na peça *Vidro, Molas e Ecossistemas Remotos (2021)*, juntamente com Fernando Kozu e suas guitarras preparadas (THOMASI; KOZU, 2021), pudemos experimentar a ideia de ambientes acoplados via rede de longa distância. Criamos um laço de retroalimentação entre uma sala na cidade de Maringá e outra na cidade de Londrina, inter-relacionando os respectivos ecossistemas audíveis. O desafio de mostrar a realidade acústica do Estudo Ecos também me fez pensar em modelos de captação sonora distribuída – ainda em fase de implementação. Como alternativa para a falta de equipamentos, um gravador de mão veio a calhar, pois permitiu registrar os sons em sistema independente do computador utilizado no ecossistema audível e com maior mobilidade dentro da sala. Com as amostras em áudio e vídeo conseguimos divulgar o projeto e dialogar diretamente com pares. Participamos de eventos como o *International Computer Music Conference (ICMC21)*, na Pontificia Universidad Católica de Chile; o *Electroacoustic Music Studies Network (EMS2021)*, na De Montfort University; e o *Emergence/y*, no Orpheus Instituut, que no modelo presencial seria impensável devido aos custos. A apresentação da *Ecos n.2*, no Simpósio Internacional de Música Nova⁶, em outubro de 2021, em Curitiba, que também aconteceu remotamente, foi um momento de grande produtividade para o Estudo Ecos. Fiquei em imersão durante dias, conhecendo a sala utilizada para a gravação e *re-conhecendo* o próprio Instrumento Espacial. Foi quando entendi, de fato,

⁴ O termo *nichos acústicos* será definido no capítulo 6.1, porém, aparecerá de modo recorrente ao longo do texto, geralmente atrelado às topologias de retroalimentação e à formação do laço de retroalimentação acústica-digital.

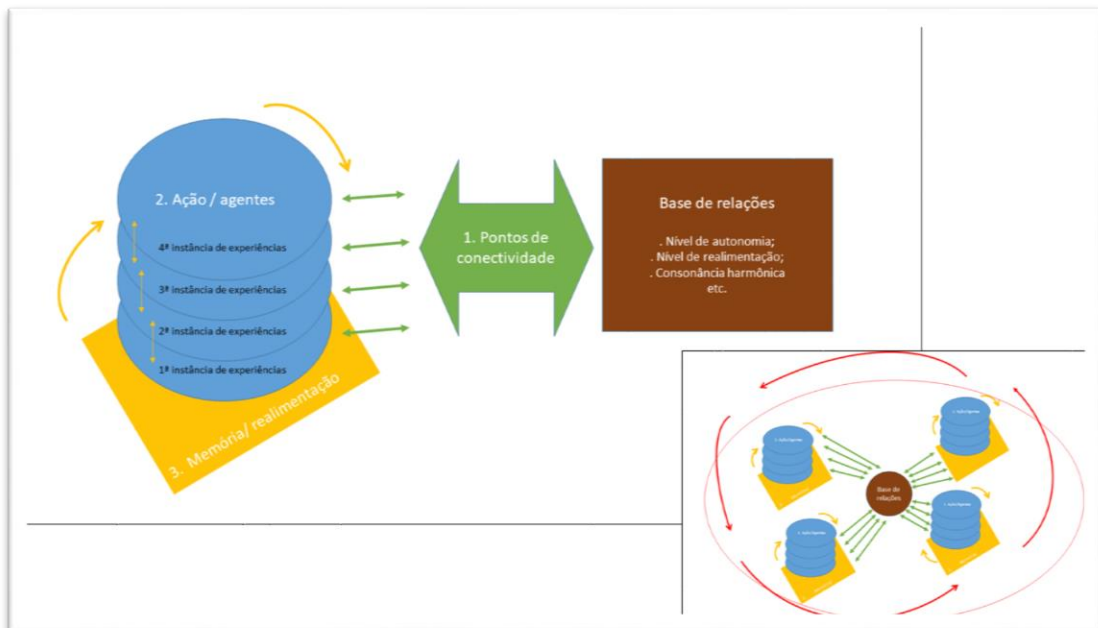
⁵ Isto é, preservar as características dos processos de organização que estão na base do ecossistema, como veremos no capítulo 4.

⁶ Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=Doe07lgKnuQ>.

após quase dois anos de experimentações constantes, o que significava a não-neutralidade do lugar. Não é só uma questão de alteração do espectro sonoro e novas configurações do sistema: muda tudo!

Ao longo do percurso de desenvolvimento desta tese, diante das necessidades de adaptação sequer imaginadas de início e dos aprendizados que pouco a pouco ajudavam a organizar o quadro teórico de suporte, eu pensava estar indo para direções diferentes da proposta inicial – fato que se agravava devido à natureza interdisciplinar desta pesquisa. Curiosamente, chegando ao fim deste primeiro passeio pela complexidade da música e dos ecossistemas audíveis, pude ver um arco que se criou entre as ideias iniciais e os resultados obtidos pelo Estudo Ecos. A Figura 1.1 mostra o esboço gráfico do projeto inicial, de 2018, em que o ecossistema já era pensado em subsistemas conectados por retroalimentação – à época, equivocadamente chamados de nichos –, amparados por uma base de relações, sendo que a própria característica de recursividade de cada subsistema abria pontos de interação entre eles e com o meio. Como veremos no capítulo 6, a criação de retroalimentação em planos paralelos e a lógica de recursividade com base na teoria da Alagmática (SIMONDON, 2020a), amparadas pelas topologias de retroalimentação – as bases de relações –, apareceram como ferramentas essenciais para lidarmos com os níveis de complexidade que o ecossistema pode exibir.

Figura 1.1 – Esboço de sistema apresentado no projeto inicial desta pesquisa.



Fonte: o autor. A figura ilustra a ideia de implementação com base em agentes, retroalimentação e conexões por um tipo de base de relações. No canto direito inferior, um esquema global do sistema em que diferentes grupos de agentes interagem por retroalimentações locais e globais.

Contudo, na proposta de delinear um possível pensamento estrutural para música com base em teorias de emergências, partindo da hipótese inicial de que *é possível elaborar estratégias de controle*⁷ de estruturas sonoras emergentes com vistas à *performance musical através de um tipo de instrumentalização do laço de retroalimentação*, o Estudo Ecos surge com duplo objetivo: a) elaborar um princípio de modelo teórico, concretizado na metodologia *micro-macro*⁸ apresentada no capítulo 5; e b) desenvolver uma ferramenta experimental para estudo e observação de estruturas emergentes, tendo como resultado esta versão do Instrumento Espacial que nos permitiu a implementação de estratégias de controle através do laço de retroalimentação acústica-digital.

1.2 ENSAIO SOBRE MÚSICA, COMPLEXIDADE E EMERGÊNCIAS

O início desta pesquisa remonta a 2016, ao término do mestrado, quando me deparei com a ideia fascinante de *compor interações* proposta por Agostino Di Scipio (2003) e que, à época, eu havia utilizado como base para um debate analítico acerca de poéticas musicais que obtiveram ressonância nas tecnologias contemporâneas, especialmente nas máquinas dotadas de memória e automação, e criaram modelos de orquestração muito próprios de um pensamento musical genuinamente eletroacústico (THOMASI, 2016a). Nesse sentido, dizer que a música eletroacústica, enquanto arcabouço de um pensamento musical contemporâneo, surge na esteira das revoluções científicas e tecnológicas que acompanharam o século XX, em certa medida, é impreciso. Não é o surgimento em si de um pensamento complexo ou de tecnologias inovadoras o causador de uma mudança paradigmática na música. Como aponta Raaijmakers (2000, p. 19), a evolução tecnológica e a evolução musical não andam juntas – ou, pelo menos, não de um modo linear. De fato, a criação musical parece estar sempre transgredindo as tecnologias, realocando suas funções e contextos. Ao meu ver, a música nunca dependeu de um pensamento complexo para ser complexa – é genuinamente dinâmica, auto-organizadora, sensível às condições iniciais e está em constante troca com o meio. Por outro lado, o surgimento de um pensamento complexo nas ciências tem expandido consideravelmente o campo de atuação musical. Nesse sentido, olhar a composição musical sob o prisma das emergências revela, senão, o aspecto ambíguo do próprio conceito de emergências refletido sobre as mudanças

⁷ Como veremos adiante, a noção de controle é ampliada, assumindo conotação distinta de um tipo de controle composicional ou controle instrumental tal como em abordagens mais tradicionais. No ecossistema audível, o controle está mais atrelado à identificação de pontos estratégicos na estrutura da emergência e restringido a ações em componentes de baixo-nível sistêmico, portanto, previsíveis.

⁸ Os termos micro e macro referem-se aos níveis microscópico e macroscópico de resolução.

paradigmáticas da música eletroacústica e contemporânea: a ubiquidade entre estrutura e processo.

A quebra do paradigma do tempo linear, o colapso da trajetória ao qual refere-se Prigogine (2011, p. 130), teve, sim, impacto nas artes: o surgimento da ideia de um universo sonoro regido pelas instabilidades. Segundo Chadabe, “os artistas que perceberam o mundo como uma multiplicidade de processos paralelos também perceberam que esses processos eram residentes em uma multiplicidade de materiais” (CHADABE, 1996, p. 42). Exemplos clássicos como *A Arte dos Ruídos* (1913), de Luigi Russolo⁹, e *A Liberação do Som* (1932), de Edgar Varèse¹⁰, e a *Musique Concrète*, de Pierre Schaeffer (1952), evidenciam tentativas de *reestruturação* do que se entendia por ‘sons musicais’. Em um mundo em devir, há muito mais ruído do que sons puros e isomorfos. Como consequência, tem-se uma reviravolta dos paradigmas da constelação tonal, expondo as forças físicas e culturais então encapsuladas nas notas musicais (BERIO, 2006), e trazendo à tona o problema da representação para o novo mundo dos sons complexos (MURAIL, 1992). Algumas soluções foram encontradas ampliando-se o escopo para o arquitetural, para o multimídia e para a incompletude essencial de modelos de representação pensados para fenômenos irreversíveis (XENAKIS, 1972; VAGGIONE, 2008). O som como emergência desloca a função das unidades estáveis, como os conjuntos de notas musicais e as cadências tonais, para arquétipos menos específicos: o gesto musical contemporâneo. Segundo Kuhl,

O gesto musical decorre de um nível genérico de percepção, onde está vinculado à percepção da *gestalt*, ao movimento motor e às imagens mentais (...). Em um nível mais elevado de cognição, os gestos são organizados em grupos e sequências, levando à forma e à narrativa musical (KUHL, 2011, p. 125).

A forma emergente que é identificada como gesto já não é capaz de revelar em sua estrutura a operação pela qual surgiu – mesmo que antes a estrutura percebida fosse pura abstração. Tampouco precisaria, afinal, que importância teria para a música algo que não fosse capaz de se revelar pela própria experiência? Todavia, sem conseguir identificar a operação, segue-se para uma *abstração de operação* que, alicerçada pelos sons estocáveis em mídia e reproduzíveis por máquina, restringe-se ao âmbito sonoro iludida pela própria interface de descoberta: uma sintaxe musical baseada nas morfologias sonoras (WISHART, 1996; SMALLEY, 1997). Neutralizado o corpo-operação – o corpo ventilado, como sugere Ingold

⁹ Ver Russolo (2004).

¹⁰ Ver Varèse e Wen-chung (1966).

(2015, p. 179) –, surge um novo corpo. E o gesto musical abre-se para uma escuta da imaginação (SMALLEY, 1996; YOUNG, 2005). Não obstante a riqueza destas abordagens, o problema é que do alto da estrutura, no nível macro das sonoridades, não se vê o todo, e confunde-se a morfologia dos sons com automações tecnológicas. Então, o músico passa a escutar os sons através de envelopes, a ouvir os movimentos acústicos como trajetórias no espaço multicanal, a pensar no espectro sonoro enquanto parâmetros detectáveis de timbre. E essa mesma ilusão é que estipula uma ideia de continuidade entre os extremos do som puro e do ruído, sendo que, não existe possibilidade de o ruído ser um extremo: o som puro é uma parte limitada onde o ruído é o universo. Nas palavras de Michel Serres,

Sob a linguagem, esta camada de música cobre o caos que a precede com universalidade. A linguagem precisa da música, sua condição essencial; a música não tem necessidade da linguagem. A música precisa de ruído, sua condição essencial; o ruído não tem necessidade de música. Esta última amolece as bordas irregulares do tumulto; de repente, a música é tão indiferenciada que não pode mais carregar nenhum significado, mas carrega tudo, e nenhum (SERRES, 2009, p. 123, tradução nossa)

Se o que emerge no todo não é capaz de revelar suas partes, é porque a organização subjacente é vista agora por sua variedade, instabilidade, pelas multiplicidades de materiais, mas também pela multiplicidade de processos, como se referiu Chadabe (1996). E então, olhar para as camadas inferiores, para as microestruturas, parece fazer mais sentido, de modo que *a processualidade* e o artesanato da arquitetura da composição aparecem como modos de legitimar as formas emergentes – ou pelo menos, como uma abordagem que, em princípio, permite acessar a não-linearidade de tal estrutura complexa. As formas são, então, produzidas em nível granular, em tempo e espaço dedicados, especializados, pois a macroforma não é mais pré-estabelecida, mas emergente. E assim, a composição musical debruça-se na arquitetura dos elementos e suas relações *em nível microestrutural*, em um tempo discreto; fora do tempo (XENAKIS, 1972). Processos estocásticos aparecem como métodos inovadores para dar conta de relações que não são mais lineares, mas orgânicas: a natureza exhibe leis de potência (FARMER; GEANAKOPOLOS, 2004). O que é acessível depois de pronto são massas sonoras, transformações, movimentos, fragmentos de velhas e novas referências. Para além do *natural*: de composição de timbres (RISSET, 1971) a timbres estocásticos (SERRA, 1993). Os *novos modelos processuais*, aparentemente mais preocupados com os graus de liberdade que com as próprias partículas, direcionam a composição musical para a *composição de relações* sob a égide de uma estrutura multinível. Tem-se, então, novos modelos de instrumentação, como em Gerard Grisé, Helmut Lachenmann ou Steve Reich; novos modelos de performance, como em

John Cage, Alvin Lucier e Mauricio Kagel; e o surgimento de modelos computacionais capazes de revolucionar a composição musical, pois permitem agir diretamente na esfera granular dos sons (ROADS, 2001). Assim, a história da música vislumbra uma ideia de *controle* que percorre todos os múltiplos níveis das sonoridades e todos os múltiplos níveis das temporalidades que envolvem a criação musical. Nesse contexto, o artista sonoro emerge e se transforma: de compositor à inventor, um tipo de centauro moderno (RAAIJMAKERS, 2000).

Contudo, salienta-se aqui a persistência de um *material sonoro* que encontra na matéria apenas uma referência abstraída – e como tal é a ilusão de controle. Para Rancière, trata-se da dissociação de um corpo de experiência, que após a ruptura estética da modernidade adquire uma relação de semelhança desapropriada (RANCIÈRE, 2008, p. 115). Como veremos, o impacto da noção de emergências na música parece trazer à relevo os vínculos essencialmente operatórios, nos termos de Simondon (2020), evidenciando que as relações por semelhanças estruturais não se sustentam por si só. A experiência musical não é fetiche, é real. Nesse sentido, se a emergência nos traz a ambiguidade estrutura-processo, não o faz de modo abstrato nem artificial. O pensamento complexo enquanto pura abstração não serve para a música, nem enquanto modelo nem enquanto instrumento, senão, enquanto ilusão de modernidade; o mesmo pensamento linear só que em novos termos. Por outro lado, se a emergência, escondida nos entremeios do pensamento complexo, tem servido à música em tantas formas, usos e práticas, é porque a música já lida naturalmente com algo que ainda estamos tentando entender e, por falta de definição, chamamos de complexidade.

Levantamos, neste curto ensaio, debates contrastantes com o objeto de estudo desta tese por ser de suma importância que estejam no imaginário do leitor, mas que, por questões de espaço e escopo de pesquisa, não serão tratados nos merecidos detalhes. Todavia, ao longo dos capítulos, algumas destas questões serão retomadas dentro do contexto dos ecossistemas audíveis e suporte teórico adotado.

1.3 DO SUPORTE TEÓRICO E METODOLOGIA

A mesma complexidade que traz riqueza inestimável para o conceito de emergências é também o que o torna vago e ambíguo. Diante de um olhar descuidado, a ideia de emergências pode parecer com qualquer coisa que surge de um ambiente relacional. Todavia, o grande vazio relativista no qual o conceito de emergências é frequentemente colocado também é uma evidência de seu caráter dinâmico e multinível. É neste sentido que as emergências podem ser

pensadas como momentos únicos permeados por especificidades muito especiais: *singularidades*, de modo que pensar em emergências como sendo qualquer coisa representa um equívoco, uma contradição; uma incapacidade de se observar um fenômeno que *está em muitos lugares* ou que *aparece em diferentes níveis*. Sua ubiquidade parece subsidiar um grande dilema que, no campo científico, provoca um quadro de inconsistências terminológicas e debates redundantes ao longo das diferentes disciplinas, da química à música. Ao nosso ver, o dilema das emergências não reside sobre a vagueza do termo, senão sobre a condição interdisciplinar e multidisciplinar que sua característica multinível exige, direção na qual a pesquisa científica parece caminhar a passos lentos.

Pensar música pelo prisma das emergências é apenas mais uma teorização possível. Nosso entusiasmo por este recorte, no entanto, se dá no modo como a noção de emergências *ressoa* em outras teorias da música, corroborando para uma fundamentação ecológica das práticas criativas atuais (DI SCIPIO, 2014a; KELLER; LAZARINI, 2017; MCCORMACK, 2007). Ressonância é um termo chave aqui, pois representa encontro, sinergia. O que quer dizer que, sob o prisma das emergências, não procuramos refutar outras teorias, mas beneficiar aspectos comuns de diferentes teorias e práticas. No Estudo Ecos, pretende-se costurar diferentes teorias com o fio lógico das emergências – considerando ser possível pensar assim.

As referências sobre emergências na área da composição musical são muito delicadas. Ao que parece, a natureza musical é de um tipo de complexidade singular. Como mencionado anteriormente, não vemos as confusões terminológicas na música como algo prejudicial, mas como evidência de que existe. Assim, procuramos olhar as emergências por outros ângulos como estratégia para não cair nas mesmas armadilhas. O debate entre a *Teoria das Estruturas Dissipativas*, de Ilya Prigogine (1977) e a *Teoria da Individuação*, de Gilbert Simondon (2020a), formam a base de sustentação que permitiu toda a construção do Estudo Ecos. A conexão entre as duas teorias aconteceu naturalmente e intuitivamente. Descobrimos recentemente que existiu, de fato, uma conexão real entre as duas teorias em um artigo da Isabelle Stengers (2004), parceira de longa data de Prigogine. Ao passo que a filosofia encontrou uma realização e verificação material na físico-química, esta última encontrou uma expansão conceitual na filosofia para possíveis caminhos que os métodos científicos ainda não revelaram. Do ponto de vista experimental, encontramos um chão na taxonomia de emergências proposta por Jochen Fromm (2005). A perspectiva de Fromm trouxe uma base de realidade para os fenômenos emergentes, nos permitindo categorizar eventos que perpassam a música enquanto sistema. Utilizamos a taxonomia para organizar o pensamento sobre emergências,

mas também para entender sistematicamente o próprio ecossistema audível. Paralelamente à visão estrutural de Fromm, encontramos nos trabalhos de Hooker (2011, 2012) e Schmidt (2008, 2011, 2019) um guia para pensarmos os movimentos no nível da macroforma: as instabilidades. Em nosso caso, transformaram-se em guias para um tipo de análise aural. Embora tenhamos utilizado teorias de áreas aparentemente distantes, as correlações com os processos criativos no contexto dos ecossistemas audíveis, desde o início, nos pareceram muito claras.

Optamos por ilustrações através de sonogramas de picos de frequência com configuração de janela de análise com 4096 amostras, tamanho favorável para análises que priorizam a resolução das frequências. Utilizamos uma ferramenta de análise de áudio nativa do software *Sonic Visualizer*, desenvolvido pelo Centre for Digital Music, da Queen Mary University of London¹¹. A escolha deve-se ao fato de que o algoritmo em questão “exibe apenas os contentores que são mais fortes que seus contentores de frequência vizinhos, e para cada contentor calcula uma frequência estimada utilizando o *phase unwrapping* supondo de que uma frequência estável está presente” (CANNAM, 2020, capítulo 6.3.1). Assim, as imagens criadas evidenciam partes teoricamente mais estáveis do espectro de áudio, ilustrando, em nosso caso, a formação dos harmônicos mais persistentes, bem como suas instabilidades. Desse modo, a análise espectral neste estudo não busca a precisão da informação de frequência, necessariamente, mas o suficiente para visualizar as diferenças entre as formações espectrais sempre em modo comparativo. Como veremos, mesmo uma análise acurada da amostra de áudio seria apenas parcialmente coerente com a realidade do ecossistema, pois refere-se a um único posicionamento na sala. Nesse mesmo sentido, apresentamos no Apêndice C o detalhamento do *set-up* de gravação das amostras representadas pelos sonogramas, exclusivamente para definição do material utilizado. É importante que o leitor tenha em mente a irrelevância do equipamento analógico ou digital sem que se considere o espaço físico, as respectivas posições de alto-falantes e microfones na sala, bem como as inúmeras relações que se formam entre os componentes. Em outras palavras, nesta pesquisa, preocupa-se com singularidades que transcendem a individualidade dos componentes em si, pois são resultados de interações coletivas, como mostrado no capítulo 3. Assim, como método de contraste, foram feitas captações externas, com um gravador de mão, e internas, diretamente do *patch* de controle da retroalimentação acústica-digital, para conseguirmos parâmetros qualitativos para avaliar a estrutura ressonante. Vale notar que, na metodologia micro-macro – vide capítulo 5 –, as

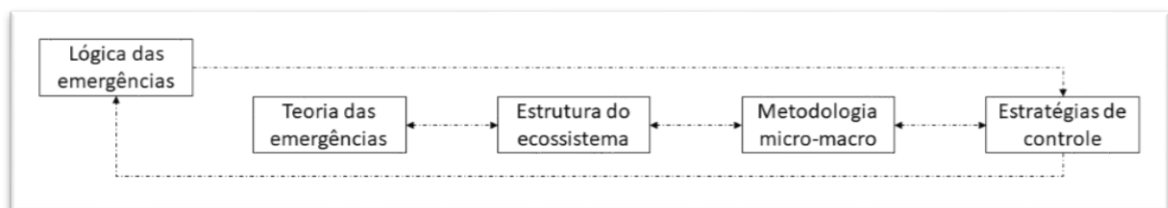
¹¹ <https://www.sonicvisualiser.org/>

emergências não estão dissociadas de operações nos componentes de baixo-nível. Ou seja, dentro da esfera experimental-presencial, a visualização parcial das sonoridades juntamente com a avaliação aurál tem sido suficiente para implementarmos as estratégias de controle, pois são complementadas com manipulações diretas no ecossistema.

1.4 ESTRUTURA DA TESE

Cada capítulo deste texto retrata, em si, um resultado obtido; os debates, críticas e implementações são causa e consequência desta pesquisa. Nesse sentido, pode-se pensar nos capítulos como diferentes faces do Estudo Ecos. A Figura 1.2 ilustra a relação entre os capítulos, e deve ser lida como o impacto ou influência que os resultados de cada dimensão do Estudo Ecos tiveram em seu desenvolvimento como um todo.

Figura 1.2 - Correlações entre capítulos



Fonte: o autor

O capítulo 2 expõe a problemática inicial da pesquisa, identificada como *a lógica das emergências*, mas também propõe brevemente aplicações dos resultados desta pesquisa para além dos ecossistemas audíveis quando lança um olhar mais crítico sobre o uso do conceito de emergências e da ideia de composição de interações na área da composição musical. É um tipo de início-fim. Foi o mote inicial da pesquisa, que deu origem às primeiras estratégias de controle, e não pôde ser finalizado até que o debate sobre as teorias de emergências estivesse parcialmente delineado.

O capítulo 3 expõe o debate teórico em torno do conceito de emergências, identificado na Figura 1.2 como *Teoria das emergências*. Define a base conceitual do Estudo Ecos e do pensamento em torno do laço de retroalimentação enquanto princípio formador do ecossistema audível, a partir dele estabelecem-se correlações com os capítulos seguintes. O capítulo 4 expõe *a estrutura do ecossistema audível*, baseando-se na taxonomia de Fromm (2005), e finaliza com

os procedimentos de implementação do controle da retroalimentação acústica-digital e do Instrumento Espacial.

No capítulo 5 tem-se o debate em torno da *metodologia micro-macro* e o quadro teórico-estrutural gerado ao longo da pesquisa como causa e consequência das implementações das estratégias de controle. No capítulo 6 mostramos as *estratégias de controle* juntamente com ilustrações das estruturas espectrais alcançadas, como um tipo de memorial descritivo, sem pretensão conclusiva, mas indicando uma sistematização crescente dos métodos de implementação. É importante notar também as correlações que se formam entre os capítulos.

O caráter não-linear do texto contribui para que certos debates e questões técnicas de pesquisa apareçam diluídos ao longo dos capítulos, oferecendo ao leitor um aprofundamento gradual no Estudo Ecos. Por um lado, esta abordagem adquire um perfil didático frente à complexidade deste objeto de pesquisa, que converge teorias e práticas ainda pouco comuns na área da música. Por outro lado, impõe certa resistência quando se pretende uma leitura rápida e direta, como geralmente proporcionadas em apresentações de resultados científicos. Portanto, indicamos ao longo do texto, em notas de rodapé, as devidas relações entre os capítulos sempre que um termo-chave aparece, justamente para que o leitor possa antecipar ou retroceder caso julgue necessário. Contudo, sugere-se uma leitura sequencial tendo em mente que os debates retornarão dentro do contexto e pertinência de cada capítulo.

Por fim, deixamos nos Apêndices A e B dois procedimentos experimentais que ilustram, respectivamente, as topologias de retroalimentação e aspectos de comportamento do ecossistema audível implementado. Também indicamos uma lista de registros experimentais em vídeo, complementares às ilustrações utilizadas no texto¹², com vistas a aproximar o leitor dos experimentos e da realidade do Estudo Ecos. O detalhamento sobre o *set-up* utilizado para os experimentos e registro das amostras de áudio utilizadas neste texto encontra-se no Apêndice C.

¹² Ver Thomasi (2022), disponível em <https://doi.org/10.5281/zenodo.6458349>. As figuras que possuem complemento em vídeo estão indicadas em nota de rodapé.

2 POR UMA LÓGICA DAS EMERGÊNCIAS

2.1 A MÚSICA COMO UM SISTEMA ABERTO

A automatização das máquinas permitiu que o músico pensasse a música como um sistema interativo. Mas, do ponto de vista operacional, não foi a automatização das máquinas a responsável por fazer da música um sistema interativo; não foi a responsável pela complexidade que é genuína do pensamento musical. Os modelos musicais já eram bioinspirados bem antes da cibernética e da música digital¹³. Para a música que traz em sua base a experiência e a criatividade, a complexidade é ancestral. Segundo Eleonora Bilotta, “a música é um sistema complexo moldado por vários processos adaptativos, incluindo comportamento individual, aprendizagem cultural e evolução biológica” (BILOTTA *et al.*, 2002). Vista de hoje, o que aparece no contraste com a teoria das emergências é, senão, a tensão de um pensamento musical condicionado em *sistema fechado* que vem se propagando ao longo do século XX: o quase atonalismo de Schoenberg, a quase liberação do som de Varèse, o quase indeterminismo de Cage, a música quase concreta de Schaeffer, e uma sucessão de ‘quases’ que evidenciam uma transformação passo-a-passo, camada-a-camada, conduzida pela força da própria resistência de um pensamento de natureza complexa em se fechar enquanto sistema. Nesse sentido, o tonalismo, enquanto lógica baseada em *correlações reais* de consonância e dissonância, só escapa à música quando passa a ignorar o seu entorno. E o mesmo acontece com outro paradigma musical que se constrói enquanto sistema autocontido, cujos modelos, tipologias e estruturas multinível não possuem correlações reais com o *meio de performance* pelo qual vem a existir. A música é como um sistema aberto.

Pensar a música como um sistema aberto significa não ignorar o espaço que a acolhe; componentes de diferentes naturezas, com maior ou menor nível de autonomia, deslocados ou não no espaço geográfico, mas que participam da construção do *lugar*: antes de tudo, a música é um espaço relacional, e enquanto tal não pode ser objetificada, materializada¹⁴, confinada em alguma representação que não seja validada pela experiência. Georgina Born sublinha quatro pontos que corroboram para a singularidade da música enquanto meio sociocultural, indo contra as noções comuns de material cultural e artístico. O primeiro, é que a *música tem seus materiais particulares e propriedades semióticas próprias*. Segundo Born, “o som musical gera uma

¹³ Um percurso ilustrativo pelas músicas de diferentes manifestações culturais pode ser encontrado em (MENUHIN; DAVIS, 1981).

¹⁴ No sentido de um bem ou produto que se distancia ou é distanciado da experiência.

profusão de conotações extra-musicais de vários tipos – visual, sensorial, emocional e intelectual” (BORN, 2011, p. 377). Segundo, *a música não tem essência material, mas uma materialidade plural e distribuída*. Nesse sentido, o objeto-música é como uma constelação de mediações: músico, instrumento, ouvinte, interfaces, sistemas de representação, tecnologias de produção sonora, códigos de programação etc. Em terceiro lugar, *a música é ativa dentro da vida social*. Continua Born, “assim como os significados da música podem ser construídos em relação às coisas fora dela, também as coisas de fora da música podem ser construídas em relação à música” (BORN, 2011, p. 378). Evidenciando, assim, o caráter bidirecional da mediação, no qual a ideia de uma membrana que é moldada por ambos os lados é bem ilustrativa. Em quarto, *a música gera uma miríade de formas sociais*, que a autora divide em quatro planos de mediação que são irreduzíveis uns aos outros. Segundo Born,

Ao adotar a metáfora topológica de planos para representar formas distintas de sociabilidade mediadas pela música, pretendo destacar tanto sua autonomia quanto suas interferências ou inter-relações mútuas, ao mesmo tempo em que combato qualquer leitura das mesmas meramente em termos de escala ou nível (BORN, 2011, p. 378, tradução nossa).

Assim, enfatizamos que uma prática artística que leve em conta a noção de emergências precisa estar vinculada com seu *lugar* – no sentido mesmo de uma eco-composição (KELLER, 2000). Desse modo, pensamos na música como uma força *capaz de criar ecossistemas*. Esse posicionamento faz distinção do surgimento de um pensamento baseado em complexidade, que *adapta* um pensamento estrutural complexo ao ambiente musical, mas que ainda está amparado por uma ideia de tempo absoluto, “como um espaço subjacente onde os eventos são colocados” (KELLER; TRUAX, 1998, p. 2). Em contrapartida, como argumenta Keller e Truax, “a abordagem ecológica sugere que o tempo seja analisado em eventos informativos relevantes”¹⁵, o que nos leva para uma noção essencial de *tempo qualitativo, irreversível* (PRIGOGINE, 1987), cujas trocas são necessariamente permeadas pelas propriedades do lugar. A irreversibilidade do tempo é responsável para que componentes de diferentes naturezas e ordens adquiram um papel formativo nas estruturas produzidas pelo ecossistema. Ao nosso ver, é essa noção a grande diferença na construção de um *sistema musical* baseado em estruturas emergentes. Segundo McCormack, “o paradigma de ecossistemas não concebe a máquina como um objeto. Ao contrário, os processos, internos e externos, são concebidos como

¹⁵ op. cit.

interdependentes, componentes conectados, que se auto-organizam dentro do sistema” (MCCORMACK, 2007, p. 6).

Contudo, pensamos em um tipo de *ecossistema de performance*, como apresenta Waters, em que as condições acústicas e agregadas dos corpos componentes são críticas (WATERS, 2007, p.5). Como consequência da inclusão do lugar como componente formativo do ecossistema, rompe-se com a noção de portabilidade da obra musical – em que o espaço da performance não exerce, ou não deveria exercer, influência sobre ela. Em vez disso, a performance acontece *entre* uma rede de espaços interdependentes – espaços íntimos, pessoais, sociais e públicos – onde o som é uma forma de toque¹⁶. Assim, as próprias condições e propriedades físicas do espaço de performance podem ser consideradas como espaços relacionais e, portanto, como espaços narrativos (BOURRIAUD, 2009). A seguir, serão expostas algumas noções de emergência na área da composição musical contextualizando debates que são importantes para esta pesquisa, porém, ainda sem a intenção de definir o conceito de emergências. Nesse sentido, o leitor encontrará o posicionamento teórico adotado por esta pesquisa no capítulo 3.

2.2 UMA NOÇÃO DE ESTRUTURA MULTINÍVEL

Toda música envolve emergências. O som é uma emergência. A cultura é uma emergência. No entanto, quando o processo criativo se debruça sobre a tarefa de esquematizar relações com vistas aos produtos dessas relações, a noção de emergência ganha um valor estrutural e teórico para a música. Saindo de um paradigma estrutural – como o sistema tonal – por influência de um pensamento complexo que toma conta do século XX, nas ciências e nas artes, é de se imaginar que a noção de estrutura multinível ganharia peso central. De fato, a simetria da estrutura tonal foi quebrada de diferentes formas. A analogia entre estrutura musical e o processo de formação de cristais, como propõe Edgar Varèse, é bem ilustrativa: uma ideia de partículas agrupadas, aglutinadas, cuja extensão destas unidades no espaço criam correlação entre uma forma externa definida e uma estrutura interna também definida (VARÈSE; WEN-CHUNG, 1966, p. 16). Inúmeros exemplos dessa reestruturação percorrem o século XX até os dias de hoje, tanto nas vertentes eletroacústicas como puramente instrumentais (THOMASI,

¹⁶ Id., 2009, p. 152

2016a). Pode-se tomar a explicação de Rodolfo Caesar como emblemática deste pensamento no processo composicional. Segundo o autor,

O ponto seria então o menor de todos os modos de produção de eventos: uma partícula isolada que, nesta condição, constitui uma unidade. Agrupados, os pontos passam a formar o segundo modo, o ritmo, ou – em escala mais acelerada – o terceiro modo, a feira (pois a rapidez de iteração leva a outro tipo de percepção: a de granulosidade: feiras são linhas granuladas). Em simultaneidade, pontos aparecem como nuvem de pontos, ritmos passam a nuvens de ritmos, e feiras viram nuvens de feiras, ou à vezes, enxames. Pontos, ritmos e feiras podem se referir a trabalho musical ou no campo das alturas, ou no dos timbres, ou em um estágio intermediário, ou misto de ambos, ou ainda a jogos espaciais, ou, finalmente, misturas de todos esses critérios implicados e juntos (CAESAR, 2008, p. 34-35, grifo do autor).

A noção de granularidade ganha peso em certas poéticas composicionais, notadamente no então chamado *paradigma granular* (SOLOMOS, 2013; VAGGIONE, 2008), em que, a partir da premissa de que a macroforma seria uma emergência das interações em nível microtemporal, debruçam-se sobre a organização dos elementos em uma estrutura multinível – mesmo que para isso tornem confusos os limites entre a esfera física dos fenômenos emergentes e a esfera poética da composição musical. Nessa perspectiva, Vaggione sublinha a natureza *multilocal* das estruturas musicais,

Podemos dizer que os vários níveis de granularidade que estabelecemos, no campo das operações musicais, não formam uma hierarquia no sentido clássico do termo, porque não podemos falar de uma redução de uma ordem de grandeza à outra: essas ordens de grandeza – esses níveis, esses grânulos – constituem estratos, perspectivas, janelas, que só existem porque interagem com outros estratos (VAGGIONE, 2008, p. 164, tradução nossa).

É importante notar que, como mencionado anteriormente, não é a estrutura multinível a responsável pela formação de emergências e, portanto, não é o que trará a noção de emergências para o centro de um pensamento estrutural em música. Mas, sim, a irreversibilidade do tempo¹⁷. As emergências carregam em si estrutura e processo, sendo que, mesmo em nível microscópico, não há como pensar em estrutura antes da ocorrência do fenômeno. Como veremos no capítulo 3, a estrutura não precede a emergência, pois é parte constituinte da mesma. Nesse sentido, acreditamos ser de vital importância delinear, mesmo que brevemente, a emergência enquanto fenômeno real e parâmetro consistente, sendo que, de outro modo, este conceito não poderia

¹⁷ Retornaremos no capítulo 3, especificamente no que tange as estruturas emergentes. Para debate específico sobre a seta do tempo, ver Prigogine (2011).

ser benéfico para o meio artístico e musical, principalmente diante da efervescência de modelos musicais complexos na atualidade¹⁸.

Não falamos aqui de massas sonoras em contraposição ao acorde maior. O espectro sonoro formado por duas frequências em intervalo proporcional 2:1 é uma emergência da própria condição de devir de cada uma das frequências. Um desvio em uma delas, que seja proporcional à banda crítica (MATHEWS; PIERCE, 1980), é suficiente para aumentar o nível de rugosidade da sonoridade, mesmo que isso não signifique a percepção de um aumento de dissonância pelo ouvinte. A organização de alturas é um campo complexo onde residem múltiplos níveis de estruturas emergentes, da propagação da onda à consonância para quem ouve. Há uma produção extensa de pesquisas investigando as causas que envolvem a informação sonora e o nosso mecanismo de audição (HELMHOLTZ, 1954; SETHARES, 2005; SILVA; FARIA, 2018). Nesses casos, o conceito de emergência tem tido pouca utilidade; o termo se torna muito vago. Como veremos, o conceito de emergência é pouco eficiente quando se trata de delinear causas, mas muito eficiente quando o objetivo é evidenciar *as relações*. Assim, por exemplo, olhar as alturas pelo prisma das emergências desconstrói a ideia de altura enquanto parâmetro sonoro, evidenciando-a como um produto de relações; ou, segundo Vaggione, como “um atributo morfológico multifacetado, um vetor resultante de um grande número de fatores entrelaçados” (VAGGIONE, 2008, p. 166). Tal perspectiva de múltiplos agentes que se relacionam em múltiplos níveis aponta, por um lado, para uma não-neutralidade de toda a realidade que nutre a atualização da informação em dado contexto: inclusive as irregularidades que antes eram tratadas como erros ou pormenores e agora fazem parte dessa visão complexa da *operação musical*. Por outro lado, sustenta um pensamento sistêmico multinível que borra os limites entre uma *intenção* de organizar as estruturas musicais sob um modelo complexo e os *resultados* de uma organização complexa propriamente dita. Neste caso, as emergências podem nos servir como um parâmetro balizador, pois também indicam a atualização de uma complexidade real.

2.3 EMERGÊNCIA ESSENCIAL, POR SEMELHANÇA E MODELADA

A Figura 2.1 apresenta um excerto da peça *Introduzione All’Oscuro*, de Salvatore Sciarrino (1981), a partir da qual traçamos uma breve análise que toma como diretriz uma possível organização multinível das estruturas notadas em partitura. O excerto mostra o

¹⁸ A título de exemplo, ver Johnson *et al.* (2015).

primeiro gesto de maior potência da peça, que se desdobra em três planos sonoros indicados na figura por A, B e C.

Figura 2.1 – Excerto da partitura de *Introduzione All'Oscuro*, de Salvatore Sciarrino

The image displays a page of a musical score for the piece 'Introduzione All'Oscuro' by Salvatore Sciarrino. The score is written for a full orchestra and includes various performance instructions. At the top, the tempo markings 'Sbrigliando', 'Agitato', and 'ritornando al' are visible. The score is divided into several sections, with four specific instrumental attack segments highlighted by dashed boxes and labeled A1, A2, A3, and A4. Segment A1 involves the English horn, trumpet, and trombone. Segment A2 features the oboe and clarinet. Segment A3 is played by the first and second violins and the viola. Segment A4 is performed by the violin, viola, and cello. Additionally, a section labeled 'C' is marked 'respiro (inspi. expir. sim.)' and includes a 'p' dynamic marking. The score also includes dynamic markings such as 'mp', 'ff', and 'pp'.

Fonte: Sciarrino (1981, p. 9)

O segmento A – denotado por A1, A2, A3 e A4 na figura – mostra a combinação instrumental utilizada como estratégia para criar a morfologia tímbrica do evento disparador do gesto, pensada em quatro partes. Em A1 tem-se um conjunto de trombone, trompa e corne inglês que simulam o ataque; em A2, oboé e fagote criam um tipo de eco do ataque, portanto, em um plano de dinâmica inferior; em A3 os dois violinos e viola criam um tipo de decaimento;

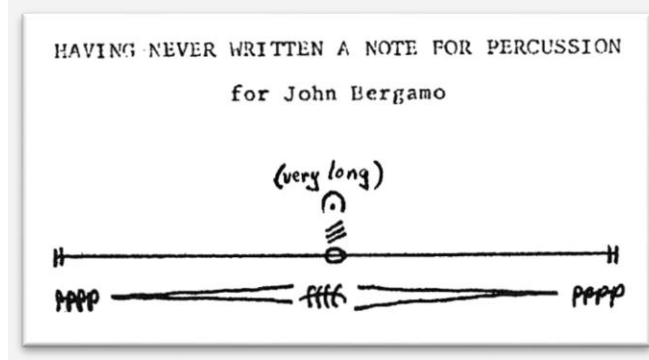
enquanto que o violoncelo e o contrabaixo, em *A4*, simulam uma ressonância. O segmento *B* e *C* aparecem como consequência do gesto *A*, criando dois planos sonoros distintos, sendo o segmento *C* uma vocalização da flauta que cria conexão direta com os *glissandi* do *A3*. O cuidado com as dinâmicas em *A* evidencia a importância da sobreposição dos movimentos de cada conjunto para que haja a sensação de continuidade, dando unidade ao gesto. A escrita prevê variações com objetivo de criar irregularidades, agregando movimentos quase naturais às sonoridades, seja como uma energia que se dissipa através dos planos de dinâmica, seja com a inversão da direção dos *glissandi*, em *A3*, e as indicações de abertura e fechamento da campana, em *A1*, fazendo com que as irregularidades se sobreponham naturalmente na execução pelos instrumentistas. Embora a arquitetura do gesto da Figura 2.1 contemple a ideia de múltiplos níveis de componentes e relações causais, não se pode considerar o gesto em si como uma estrutura emergente, senão em um plano exclusivamente cognitivo ou imaginado.

Adentramos aqui na complexidade – e dificuldade – de lidar com a noção de emergências enquanto base de um pensamento estrutural na música. Assim, é importante definir, antes de tudo, três categorias de emergências que, ao nosso ver, perpassam a arquitetura das obras musicais. Em primeiro lugar, as *emergências essenciais*, que inevitavelmente subjazem à prática musical como um todo. Por exemplo, o som enquanto emergência. Independentemente da vertente, a composição musical *provoca* emergências sonoras na atualização das instruções de performance por humanos ou máquinas. Ou ainda, a sinergia entre músicos, um tipo de emergência vinculada à interpretação e à escuta; ao ‘fazer soar’ em conjunto, por assim dizer. Entretanto, não é este caso do qual se trata a emergência enquanto pensamento estruturante – embora seja, talvez, o principal fator das confusões. Em segundo lugar, tem-se a *emergência por semelhança*, cujos nexos são puramente estruturais (SIMONDON, 2020, p. 566), que é o caso de nossa análise na Figura 2.1. Ou seja, existe um vínculo entre as sonoridades elaboradas, delineado pelos timbres e planos compostos, que salta como unidade emergente para a esfera cognitiva, ganhando autonomia enquanto gesto musical de ordem acústica (SMALLEY, 1996; YOUNG, 2005). Nesse sentido é que interpretamos os eventos *B* e *C* como sendo efeitos de *A*, assim como *A2*, *A3* e *A4* como propagações de *A1*, simulando uma ideia de assimetria causal. É importante notar que, ao nosso ver, este também não é o caso da emergência como base estruturante para música.

Em terceiro lugar, estamos chamando por *emergência modelada* os tipos de eventos cujas relações possuem nexos operatórios, e não estruturais. Nesse sentido, o sistema modelado é baseado em relações, modos e qualidades de interações (DI SCIPIO, 2003; KELLER;

CAPASSO, 2006; VAGGIONE, 2008), sendo que as estruturas, do nível micro ao macro, são emergências. Tomamos como base o paradigma tecnológico, como defendido por Simondon, que situa o termo *modelagem*¹⁹ como um intermediário entre moldagem e modulação (SIMONDON, 2020, p. 52). Assim, como veremos nos capítulos seguintes, a ideia de modelagem pressupõe uma intermediação entre matéria e forma que constitui a emergência – estrutura e processo – como parte do processo de tomada de forma²⁰. Na perspectiva das emergências modeladas, as teorias de emergências podem servir à música como teoria estruturante no sentido de *modelar sistemas musicais com vistas às relações, trazendo à tona as intermediações que poderão ser utilizadas como espaços narrativos*. A título de exemplo, toma-se a peça *Having Never Written A Note For Percussion (1971)*, de James Tenney, cuja partitura é mostrada na Figura 2.2. A escrita da peça considera regras simples de execução que funcionam como uma informação incidente, um germe estrutural (SIMONDON, 2020). Supondo que o intérprete estará aberto ao seu entorno, às miríades de formas sociais que permeiam a experiência musical (BORN, 2011), pode-se deduzir que a propagação da informação no campo potencial-interpretativo do instrumentista provocará a emergência da obra como um todo.

Figura 2.2 - Partitura de *Having Never Written a Note for Percussion*, de James Tenney



Fonte: Tenney (1971)

Contudo, é importante notar que não é nem a estrutura multinível nem a abertura da obra às escolhas ou condições do intérprete que são as responsáveis pela modelagem de uma estruturação baseada em emergências. Mas, *a atualização da informação em um sistema que é sensível às qualidades do seu entorno*. Em outras palavras, do ponto de vista operacional, a

¹⁹ Em sentido amplo, o termo modelagem refere-se à sistematização de entidades-componentes em acordo com suas relações internas e externas, especificidades, atributos e funções sistêmicas, podendo adquirir conotações diversas determinadas pela área de aplicação, por exemplo, design, engenharia de software, produtos ou música. Para este trabalho, a conotação de sistemas e respectiva estrutura-modelo é apresentada no capítulo 3.2.

²⁰ Ver capítulo 3.5 e 3.6.

representação das instruções musicais, se em partitura, código digital ou equação matemática, é secundária. O essencial é *como* a arquitetura elaborada enquanto germe estrutural irá incidir no campo receptor, e assim, o modo como ocorrerá a atualização dessa informação no tempo. Não estamos fazendo crítica aos modelos de representação, senão procurando sublinhar que o conceito de emergências na música não pode ser entendido como algo externo – ou mesmo relativamente independente – do seu meio de performance ou realização.

2.4 MICROPOLIFONIA, MICROMONTAGEM E EMERGÊNCIAS

Na poética composicional de György Ligeti, a forma musical se desenvolve “em uma relação contínua de reciprocidade entre *estados e eventos*. Os estados são rompidos subitamente por eventos emergentes e transformados sob sua influência; e vice-versa” (LIGETI, 1993, p. 167). Na esteira deste pensamento, o compositor parte da ideia de um evento que perturba o estado atual do sistema, provocando um processo de organização, sendo que, em seguida, os novos estados causarão alterações nos próximos eventos, criando uma propagação positiva através de uma relação de causação circular. Obviamente, essa ideia de organização em estados e eventos serve como um guia do processo criativo através da escrita em partitura, no que tange às escolhas e combinações das estruturas simbólicas que serão interpretadas pelos instrumentistas. Por outro lado, na atualização das informações escritas, moduladas pelas diferentes interpretações dos músicos e qualidades dos instrumentos, a ideia de eventos e estados pode ser percebida como qualidades formais sobre a sonoridade emergente. Estado e evento são, assim, dois padrões emergentes, pois não exibem uma relação ontológica com o fenômeno sonoro²¹.

Nesse sentido, sendo as sonoridades emergências essenciais, os padrões de estado e evento são emergências correlacionadas. Assim, pode-se imaginar que o compositor lida com estruturas emergentes nos dois âmbitos, fenômeno real e padrão abstrato, de modo que da articulação entre estas estruturas engendra-se a forma da peça. Na base operacional, que em Ligeti reside o já bem conhecido conceito de *micropolifonia*, a ideia de emergência orienta a escrita em vários níveis estruturais, dos mais elementares, como dinâmicas, trinados, clusters intervalares, harmônicos, evoluindo para conjuntos de notas, células polirrítmicas e camadas instrumentais contrastantes, até gestos completos: eventos que rompem estados – como por exemplo, no primeiro movimento de seu *String Quartet n.2*, do compasso 49 ao 71 (LIGETI,

²¹ Como veremos no capítulo 3. Para detalhes, ver Winning e Bechtel (2019).

1968)²². Contudo, como vimos, a questão da emergência não está nos múltiplos níveis das estruturas escritas, mas no modo como Ligeti engendra as informações; no surgimento de uma micropolifonia em si: a densidade sonora-musical do que é composto *emerge do coletivo*. A Figura 2.3 mostra um excerto do segundo movimento do *String Quartet n.2*, mostrando o uso de desvios de alturas em espaço de quartos de tom juntamente com trinados como uma estratégia para criar irregularidades contribuindo para constituição da textura sonora, sendo que a diluição das vozes cria a sensação de rarefação da textura. Segundo Ligeti,

O que se quer dizer com esta notação não são quartos de tom, mas desvios de tamanhos não determinados precisamente, que podem atingir o máximo de um quarto de tom (...) Tais sucessões imediatas [de notas] de micro-tons devem ser tocadas o mais rápido possível sem portamento perceptível. Os desvios dos micro-tons devem dar a impressão de notas distintas” (LIGETI, 1968, p. 2).

Assim, a sensação de densidade sonora emerge da assimetria causal *na execução* das vozes instrumentais. Embora a abertura para irregularidades possa ser interpretada como um atributo randômico, enfatizamos que as restrições colocadas em partitura como instrução de baixo-nível juntamente com a ideia de massa sonora no nível macro, gera um movimento autorregulador entre som emergente e instrumentista. Ou seja, a noção de emergências aparece em Ligeti como um fator estruturante consistente ao passo que o compositor desloca o foco das sonoridades para padrões de emergências – no caso, estados e eventos –, e modela as informações com base em regras de autorregulação em elementos de baixo-nível.

Figura 2.3 - *String Quartet n.2, mov. II*, de György Ligeti, compassos 24-26.

Fonte: Ligeti (1968)

²² Para detalhes sobre a obra *String Quartet n.2* e os processos de transformação na poética de Ligeti, ver Power (1995).

Para Horacio Vaggione, a noção de emergência leva em conta o arco evolutivo de construção da obra que consiste na elaboração e reelaboração dos materiais e na conexão dos diferentes momentos de ‘operações musicais’, como janelas ou granulações da linha temporal do processo criativo, onde as escolhas do compositor tornam-se um processo de estratificação de singularidades (VAGGIONE, 1991). Por outro lado, a noção de emergências também aparece na construção das estruturas sonoras em si ao longo de um processo que ele denomina por *micromontagem*. Vaggione traz a imagem de *rede multi-escalar* para definir o processo de construção de *figuras multilocais*²³ (VAGGIONE, 2005, p. 342), em que o campo morfológico é composto por aglutinações de fragmentos sonoros compostos um a um. Cada fragmento e grupo de fragmentos são, eles mesmos, estratos; singularidades selecionadas e organizadas pelo compositor. Nesse método, obtém-se sons complexos e fluxos sonoros intensos, em que cada figura musical tem sua individualidade, densidade, morfologia, massa e espaço (VAGGIONE, 2008, p. 164). Segundo o autor, “a verdadeira imagem sonora é dada por todos os estratos superpostos” (VAGGIONE, 2005, p. 343). Nesse sentido, a noção de emergência está, segundo Vaggione, na “implementação de uma multiplicidade de vetorizações simultâneas. A ideia de rede multi-escalar aqui constitui a base estruturante” (VAGGIONE, 2008, p. 167). As propriedades sonoras espectrais e espaciais aparecem como emergências da organização de amostras de som em nível granular – abaixo de cem milissegundos de duração, aproximadamente –, ao longo de uma linha temporal²⁴. Em outras palavras, atributos de movimentos espaciais e espectrais não são colocados *a posteriori*, em algum processo de mixagem, por exemplo. Ao contrário, são propriedades constituintes da figura emergente composta e inscrita na mídia, bem como propriedades emergentes das relações com outras figuras.

Esta abordagem pode ser ilustrada aqui pelo modo como o compositor lida com um conceito de decorrelação espacial. Segundo Vaggione, “percebi que o leve desvio na programação das linhas de dados²⁵, especialmente quando se trata de lidar no domínio do tempo

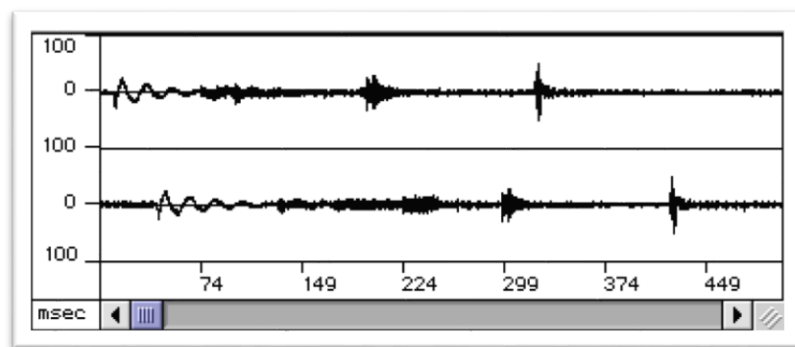
²³ Em Vaggione, a ideia de figura musical significa “um grupo de várias notas (com seus campos combinados, ritmos, dinâmicas e modos de tocar) que formam uma entidade” (SOLOMOS, 2005, p. 10), com a diferença de que é aplicado em várias escalas de tempo. Está atrelada à base operatória da micromontagem, em que o compositor lida diretamente nas amostras de som gravado, uma a uma. Assim, Vaggione refere-se a essas amostras como “figuras ou padrões singularmente curtos que já têm uma sintaxe implícita no nível do macrotempo. Portanto, estas amostras já são de vários níveis, objetos sonoros que podem ser manipulados como tal em uma rede de objetos de processamento digital”. Continua, “algumas vezes estes objetos sonoros têm sido tocados pelos músicos com base em minhas instruções verbais; outras vezes eu escrevi os padrões na notação musical e pedi aos músicos que tocassem a partir da partitura” (VAGGIONE *apud*. BUDÓN, 2000, p. 16).

²⁴ Id., 1994

²⁵ O autor refere-se como “linhas de dados” às linhas de código de programação criadas para a execução das amostras de áudio.

com muitos arquivos de sons diferentes simultaneamente, produzia uma sensação de espaço” (VAGGIONE, 2001, p. 2). A Figura 2.4 mostra as formas de onda de uma amostra de som digitalizado que são defasadas deslocando-se suas respectivas posições na linha temporal. Embora seja um procedimento simples, pode gerar resultados distintos como, por exemplo, transformações sonoras a partir de propriedades construtivas e destrutivas, sensação de ambiência e até movimentos espaciais, dependendo do limite perceptual de decorrelação das linhas (KENDALL, 1995).

Figura 2.4 – Decorrelação espacial induzida por meio de edição temporal de áudio



Fonte: Vaggione (2001)

Vaggione utiliza a ideia de decorrelação espacial aplicada em sistemas de espacialização sonora multicanal para criar diferentes espaços, criando modulações que são *sensíveis ao tempo e dependentes do espaço de performance*. Entretanto, a grande diferença da abordagem de Vaggione e de possíveis versões automatizadas²⁶ destes mesmos processos é que, neste último, não existe um componente que regule as relações *entre* os fragmentos; é um movimento exclusivamente ascendente, das partes para o todo. Enquanto que na micromontagem, o compositor faz a ponte descendente, de retorno do todo para as partes. Segundo Vaggione,

As escalas temporais são espaços operativos que podem ser qualificados como sendo níveis ou estratos, ao mesmo tempo independentes e interativos – independentes, pois podem ser definidas arbitrariamente (sua definição é em si mesma uma questão de estratégia composicional), e interativo, porque as operações realizadas em uma determinada escala terão consequências sobre a totalidade perceptível do som composto (VAGGIONE, 2005, p. 340, tradução nossa).

²⁶ Estamos generalizando meramente a título de ilustração, tomando como parâmetro softwares desenvolvidos contemporaneamente ao trabalho de Vaggione, como na proposta de Roads (1988). Obviamente, poder-se-ia pensar em implementações de automações avançadas sensíveis ao todo e capazes de se regularem a partir de seus próprios resultados, o que levaria o debate para outro âmbito, como por exemplo, ao que tange a interpretação e escuta musical.

Todavia, é importante notar que a emergência, no caso de Vaggione, acontece exclusivamente na atualização em som da informação que chega aos alto-falantes ou na renderização²⁷ final em arquivo de áudio, pois os canais do software multipista ou coleção de arquivos de áudio não são sensíveis uns aos outros, impossibilitando a formação de uma condição de equilíbrio metaestável que, como veremos no capítulo 3, é condição essencial para se instituir um processo emergente. Assim, a noção de emergência é consistente no que tange à modelagem camada-a-camada do grão à figura musical, que percorre toda a criação da obra bem como na arquitetura da difusão dos fragmentos pelo sistema multicanal de espacialização sonora.

György Ligeti e Horacio Vaggione são, ao nosso ver, dois pioneiros que fazem uso consistente da noção de emergências na composição musical. No entanto, são abordagens que lidam apenas parcialmente com as emergências enquanto elemento estrutural, justamente por estarem permeadas de procedimentos mais tradicionais que não suportam a criação de um sistema musical essencialmente sensível ao seu entorno. Contudo, para adentrar em um pensamento estrutural genuinamente suportado pela noção de emergências, será necessário incorporar na base do sistema musical um mecanismo de retroalimentação, levando não apenas o pensamento musical, mas a própria abordagem instrumental para um nível mais alto de complexidade.

2.5 RETROALIMENTAÇÃO ENQUANTO CONTROLE

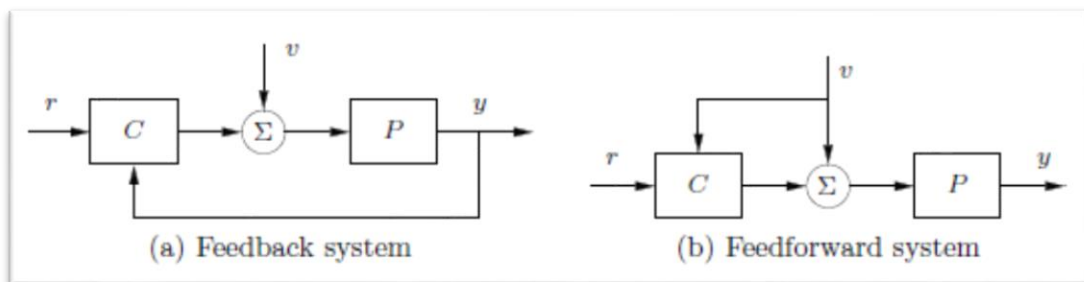
Retroalimentação e *malha aberta* são mecanismos de controle de sinais e estão geralmente associados com sistemas dinâmicos. O primeiro significa retorno ou reinjeção de informação no sistema, fazendo com que o sinal de entrada seja regulado de acordo com o sinal de saída. Possui, assim, um caráter reativo e sua forma é de laço fechado. O segundo significa que o sinal passa por processos pré-determinados independentes do resultado final. Ambos podem ser empregados em intenções de caráter corretivo ou preventivo, o que os diferencia é a forma como o controle é realizado: dependente do resultado ou cegamente ao resultado, respectivamente. A Figura 2.5 ilustra os dois modelos em um sistema com três estágios: o sinal r passa pelo controle C , recebe a influência do desvio v , e passa pelo processo P transformando-

²⁷ A renderização final em arquivo de áudio é comumente conhecida “*bouncing*”, sendo feita exclusivamente no domínio digital, fazendo o som passar pelos filtros e *plug-ins* que existam inseridos no caminho de renderização, embora seja um processo fechado dentro do software.

se no sinal de saída y . No sistema de retroalimentação o controle C é regulado pelo sinal de saída y . No sistema de malha aberta o controle C é regulado por mensurações do desvio v . Nesse sentido, o controle por retroalimentação não mede diretamente o sinal de desvio, enquanto que o controle por malha aberta não mede o sinal de saída; a retroalimentação regula por reação, enquanto a malha aberta, por estimativa. Ambos podem coexistir no mesmo sistema, porém, cada um irá gerenciar o mecanismo de controle com relação a um tipo de causa. Segundo Aström e Murray,

Um sistema dinâmico é um sistema cujo comportamento muda com o tempo, geralmente em resposta a estímulos ou forças externas. O termo retroalimentação refere-se a uma situação na qual dois (ou mais) sistemas dinâmicos são conectados juntos, de modo que cada sistema influencia o outro e sua dinâmica é, portanto, fortemente acoplada. O raciocínio causal simples sobre um sistema de retroalimentação é difícil porque o primeiro sistema influencia o segundo e o segundo sistema influencia o primeiro, levando a um argumento circular (ASTRÖM; MURRAY, 2019).

Figura 2.5 – Esquemas de retroalimentação e malha aberta.

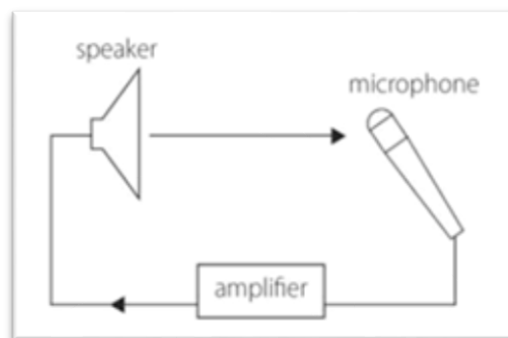


Fonte: Aström e Murray, 2019. Sistema de retroalimentação à esquerda e sistema de malha aberta à direita. Nos dois sistemas têm-se um processo P e um controlador C . O controlador de retroalimentação (a) mede a saída y para determinar o efeito do desvio v , enquanto o controlador de malha aberta (b) mede o desvio diretamente, sem verificar a saída.

A retroalimentação pode ser negativa ou positiva. A *retroalimentação negativa* ocorre quando alguma função da saída do sistema, processo ou mecanismo é retroalimentada de modo a reduzir as flutuações na saída. Assim, está geralmente atrelado com a noção de estabilidade e autorregulação. Por outro lado, a *retroalimentação positiva* promove um crescimento exponencial, instabilidade e comportamento caótico (COLCHESTER, 2016). Assim, múltiplas formas de retroalimentação, positivas e negativas, podem ser usadas para modelar os controles de um sistema dinâmico. Um exemplo clássico de retroalimentação positiva indesejável na amplificação sonora é o efeito Larsen (AUGOYARD; TORGUE, 2005) – ou tons de Larsen, conhecido também como microfonia – obtido através da retroalimentação entre microfones e alto-falantes – ver Figura 2.6. No caso, a frequência do som resultante é determinada pelas

relações entre as frequências de ressonância no microfone, amplificador e alto-falante, pelos padrões direcionais de captação do microfone e emissão do alto-falante, pelas propriedades acústicas da sala e pelas distâncias entre esses componentes. Nesse sentido, pode-se pensar as frequências sonoras ressonantes como um subproduto das relações de causa entre os componentes do sistema ou como parte da energia dissipada pelas interações entre os componentes – ou ainda, como estruturas emergentes, como veremos adiante. Projetos significativos têm desenvolvido aplicações para controle de retroalimentação acústica (TROXEL, 2005; TSENG *et. al*, 1998; WATERSCHOOT; MOONEN, 2011), bem como para seu uso enquanto interface de controle para instrumentos musicais (BERDAHL; SMITH, 2012; TROYER, 2014). Não obstante, estratégias de controle de sistemas sonoros dinâmicos são apresentadas por Holopainen (2012) e Mudd (MUDD, 2017; MUDD *et al.*, 2019), considerando tanto sistemas abertos ao meio acústico como sistemas fechados.

Figura 2.6 – Sistema de retroalimentação sonora gerador do efeito Larsen (microfonia).



Fonte: Augoyard e Torgue (2005).

2.6 RETROALIMENTAÇÃO COMO ESPAÇO NARRATIVO

Nicolas Bourriaud, em uma análise da produção artística que surgiu até a década de 1990, aponta que o artista contemporâneo utiliza a sociedade como um repertório de formas (BOURRIAUD, 2009). Esta observação é especialmente interessante aqui, se considerarmos o impacto que as tecnologias de captação e amplificação sonora tiveram no meio musical²⁸, e se observarmos como a arte sonora e a música experimental transgrediram as funções originais dos equipamentos e transformaram o erro, a falha e o indesejado em espaços narrativos (PRIEST, 2013). Existe um repertório crescente de poéticas criativas que envolvem as retroalimentações sonoras, o que vêm provocando novos olhares para a performance de música

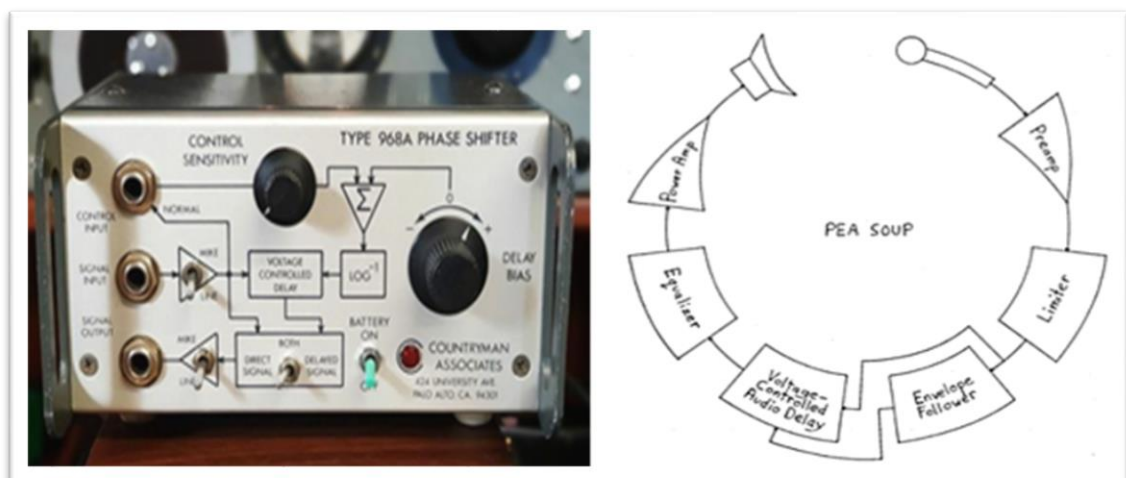
²⁸ Para um debate detalhado, ver Chion (1994) e Iazzetta (2009).

eletrônica (MELBYE, 2022; NOVAK, 2013; VAN ECK, 2017). Exemplos de usos iniciais de retroalimentação positiva para fins musicais são as peças *Rain Forest (1968)*, de David Tudor (CHADABE, 1997, p.98) e *Long Thin Wire (1980)*, de Alvin Lucier (LUCIER, 2012). No primeiro, os laços de retroalimentação são o principal recurso para geração do material sonoro, e no segundo o contato com o ambiente acústico conduz todo o sistema para um comportamento dinâmico. E a obra *Pendulum Music (1968)*, de Steve Reich, que utiliza tanto a sonoridade quanto o caráter de formação da microfonia como espaço narrativo. Em 1976, Nicolas Collins desenvolveu um sistema eletrônico de mudança de fase para controlar a retroalimentação entre um alto-falante e um microfone, chamado *The Pea Soup Project*. Segundo Collins,

Descobri que, ao conectar um microfone a um alto-falante por meio de um *Phase Shifter*, o atraso emulado variava como se movesse o microfone em frente ao alto-falante para longe, quebrando a retroalimentação em diferentes frequências. Controlar esse movimento virtual com a intensidade do sinal (através de um circuito de rastreadores de envelope convenientemente incorporado ao *Countryman*) imitava um engenheiro de som nervoso, puxando um microfone para trás assim que ele começasse a se realimentar (COLLINS, 2014, tradução nossa, grifos do autor).

O *The Pea Soup Project* – ver Figura 2.7 – foi reelaborado por Collins em versão de software, em 2011. Podemos considerar o *Pea Soup Project* como um dos primeiros sistemas com o objetivo de controlar a retroalimentação sonora em um ambiente acústico para fins artísticos. Diferentemente da estratégia de controle de ruído que visa anular a retroalimentação em sistemas sonoros (HANSLER; SCHMIDT, 2004), a estratégia de controle do *Pea Soup Project* é baseada na existência e sustentação de frequências retroalimentadas.

Figura 2.7 – Inversor de fases e esquema do *Pea Soup Project*, de Nicolas Collins.



Fonte: Collins (2011). À esquerda, o *Phase Shifter* da CountryMan Associates, utilizado por Collins, e à direita, o fluxograma do sistema *Pea Soup Project*, de 1976.

No final dos anos 80, Agostino Di Scipio pesquisava em sistemas de retroalimentação modelos de funções iterativas não-lineares (DI SCIPIO, 1999). Seu caminho para uma abordagem ecossistêmica da composição e performance de música eletroacústica começou com a síntese de sons granulares por meio de modelos matemáticos de sistemas caóticos²⁹, seguido pelo uso de função iterativa não-linear para gerar diretamente amostras de áudio, usando modelos caóticos como geradores para síntese sonora (DI SCIPIO, 1998; DI SCIPIO; PRIGANO, 1996), e culminando em sua primeira abordagem incluindo o ambiente acústico como parte do sistema, com a peça *5 Difference-Sensitive Circular Interactions*, para quarteto de cordas, composta entre 1998 e 2000. Não obstante, este último apresenta também uma abordagem diferenciada da performance de música eletrônica ao vivo. Segundo o autor,

Não me refiro apenas a um tipo de composição interativa (ou seja, usando um aparelho controlável em tempo real, em situações de concerto ou estúdio, como no trabalho de Joel Chadabe desde o final da década de 1960), nem procuro um modo de sincronizar de alguma forma os eventos gerados pela máquina com artistas humanos. Antes, busco por uma estratégia de compor as interações, a saber, criar uma rede de agentes ou componentes ligados entre si por várias regras de dependência, possivelmente mudando ao longo do tempo (DI SCIPIO, 1999, p. 26, tradução nossa).

É partir daqui que o trabalho de Di Scipio adquire relevância dentro da perspectiva ecossistêmica. Enquanto no contexto de música eletrônica ao vivo tradicional, de um modo geral, a parte eletrônica é somada aos modelos instrumentais e de organização formal existentes, na perspectiva ecossistêmica de Di Scipio os instrumentos e a eletrônica são integrados como partes de um sistema maior de interações. A alta interdependência entre os diferentes elementos que compõem cada um de seus trabalhos musicais extrapola os limites entre performance ao vivo e instalação sonora, bem como os limites das interfaces de ação e interação. O paradoxo é notável em peças como *Modes of Interference*, em que a performance se transforma em uma espécie de instrumento-ambiente e, ao mesmo tempo, em uma instalação-tocável (DI SCIPIO, 2014b, p. 95). Segundo o autor,

Os dois elementos – o operacional e o conceitual – são elaborados em conjunto, como dois aspectos da experiência auditiva incorporada, vivida. Em um sentido que não é de todo metafórico, o som é entendido como uma interface cognitiva, um meio para 'ouvir através de' várias mediações tecnológicas e dos discursos dominantes que elas transmitem (DI SCIPIO, 2014a, p. 100, tradução nossa).

²⁹ Id., 1991

Outra abordagem de estratégias de controle para performance com sistemas retroalimentados é apresentada por Jeffrey Morris (2007). Em seus *Feedback Instruments*, Morris explora processos típicos de uso de linhas de atraso – os quais pode-se considerar como sendo idiomáticos de sistemas retroalimentados – como eco, reverberação, ressonadores, filtragens e modelagem física como em Karplus e Strong (1983). A estrutura do seu sistema-instrumento é composta por quatro componentes: a) laço ou circuito retroalimentado; b) intervenção, baseada em filtros, linhas de atraso e modulação de fase; c) interrupção, controlando a quantidade e qualidade do sinal retroalimentado; d) excitação, fonte primária do sistema, podendo ser sons de um instrumento, banco de amostras sonoras ou ruídos do próprio sistema – digital, elétrico ou distúrbios do espaço acústico.

Kollias (2009, p. 3) defende a necessidade de um maior controle dos sistemas retroalimentados, criticando a abordagem de Di Scipio em que, segundo Kollias, o foco do compositor está na organização das estruturas microtemporais enquanto que as estruturas macrotemporais ficam à mercê de eventos ocasionais. Em seu projeto *Ephemeron*, Kollias propõe o controle da macroforma orientando as direcionalidades de evolução do sistema.

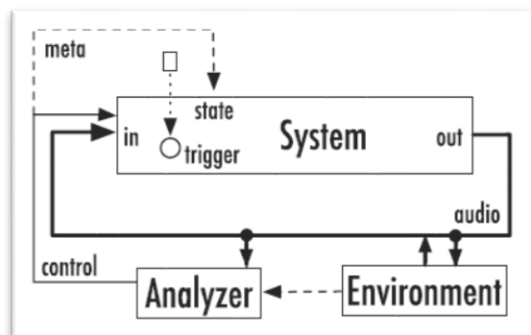
Acredito que podemos influenciar o sistema de modo a passar por uma série de estados de comportamento [...] Nesse contexto, estamos aptos a controlar o sistema em níveis básicos, planejando suas estruturas elementares, e ao mesmo tempo adquirir controle de alto nível organizacional, a macroforma, sem interromper sua habilidade de auto-organização (KOLLIAS, 2009, p. 7, tradução nossa).

Seguindo a proposta de Kollias, Seunghun Kim (KIM *et al.*, 2015) propõe um controle intencional de alto-nível do sistema de retroalimentação através de uma estrutura de conexões flexível, organizando os algoritmos do sistema – vários tipos de filtros, linhas de atraso e geradores de sinais – como redes neurais. Os algoritmos são agrupados por módulos e as interconexões podem ser salvas como presets, proporcionando uma interface de interação controlada que pode mudar completamente o caráter das estruturas emergentes.

Outros trabalhos relevantes com retroalimentação sonora surgiram em consonância com a abordagem ecossistêmica de Di Scipio, tais como a reconstrução de *Electronic Music for Piano* de John Cage (BURNS, 2003); a *VPI Flute* (WATERS, 2013); *Speak*, uma performance para trompete e espaço sonoro ativo (IMPETT, 2013); o projeto *Syntax* (SCAMARCIO, 2008); o projeto *Ephemeron* (KOLLIAS, 2008, 2009), as peças *Elektrodynamik* e *Motet*, de Jeffrey Morris (2007), o projeto *Lies*, de Dario Sanfilippo (SANFILIPPO, 2018), entre outros que podem ser acessados em detalhes em Melbye (2022) e Van Eck (2017).

A Figura 2.8 mostra um esquema genérico de sistema de retroalimentação usado para fins musicais, segundo Sanfilippo e Valle (2013). Diferentemente do sistema da Figura 2.2, que evolui positivamente *até atingir a resistência máxima do sistema*, gerando uma microfonia simples, a retroalimentação em projetos musicais possui um tipo de regulador que analisa e controla o sinal do laço de retroalimentação. Assim, o sinal do laço torna-se tanto uma interface de *controle* quanto uma fonte de *energia* – ou material musical –, tendo como características essenciais a troca com o meio e a continuidade desse sinal. Neste modelo, Sanfilippo e Vale consideram o meio como “toda informação de áudio que é externa ao sistema, que não é gerada ou controlada pelo sistema” (SANFILIPPO; VALLE, 2013, p. 21). A definição é coerente na perspectiva do controle de sinais e tendo em vista a generalidade do esquema proposto que tenta englobar sistemas que não possuem abertura ao meio acústico, mas sim com sistemas correlacionados, que os autores consideraram como meio. Porém, considerando a perspectiva ecossistêmica, de sistemas com abertura ao meio acústico, mesmo que a comunicação aconteça aparentemente através do áudio, é importante notar que o sinal transformado em áudio é uma *estratificação* das trocas de informação entre sistema e meio, que são complexas. Elas envolvem movimentos, qualidades e historicidade que não podem ser reduzidas ao isomorfismo do sinal digital.

Figura 2.8 - Esquema genérico para sistemas de retroalimentação para fins musicais de Sanfilippo e Valle.



Fonte: Sanfilippo e Valle (2013, p. 18).

Nesse sentido, Kollias tem delineado o termo *música auto-organizadora* na tentativa de encontrar um modelo genérico que abarque os diferentes modelos de sistemas musicais abertos. Em sua definição, um trabalho musical auto-organizador emerge da performance entre a) um modelo interpretativo, responsável pelo mapeamento das relações; b) as estruturas constituintes do sistema composto em si; c) o contexto da performance (KOLLIAS, 2011, p. 194). Segundo o autor, trata-se de,

Uma música cujos meios de expressão são os computadores; as ferramentas são microfones, controladores, sensores e assim por diante; o material de expressão é o som eletroacústico *ao vivo* que inclui a fonte de sua produção, mas também o espaço no qual ele se expressa (KOLLIAS, 2018, p. 5, tradução nossa).

Embora Kollias inclua em sua análise projetos artísticos amparados pela perspectiva ecológica, como Keller (2000) e Di Scipio (2003), e tenha, de fato, tecido um debate consistente e coerente com a produção musical atual, acreditamos que exista uma incoerência justamente no que tange às emergências³⁰. Como mencionamos anteriormente, a prática musical em amplo senso é essencialmente complexa, capaz de criar ecossistemas e, portanto, de se autorregular enquanto sistema. Não é a inclusão de tecnologias mais modernas que torna a música mais complexa, mas os modos de interação que, através de abordagens como a retroalimentação, colocam a máquina em um ambiente relacional tal qual a música sempre esteve. *É a máquina que é inserida no fluxo do tempo musical irreversível*. É nesse sentido que esta pesquisa defende que entender as estruturas emergentes enquanto propriedades consistentes e reais do trabalho musical pode servir como um guia para estruturarmos modelos de sistemas musicais que incorporem, de fato, as tecnologias contemporâneas em uma lógica complexa de organização. Em outras palavras, acreditamos que não seja somente uma lógica sistêmica capaz de orientar para um pensamento estrutural complexo, auto-organizador, mas sobretudo uma lógica das emergências.

2.7 TEORIA DA EMERGÊNCIA SONOLÓGICA

Agostino Di Scipio tem proposto uma *Teoria da Emergência Sonológica* (DI SCIPIO, 1994b; 2003) que tem se consolidado através de trabalhos como *Audible Ecosystemics*³¹, *Modes of Interference*³², *Background Noise Study*³³, e *Machine Milleu Project* (DI SCIPIO; SANFILIPPO, 2017). A composição musical debruça-se sobre a construção de relações entre elementos de baixo nível de modo que a macroforma seja uma emergência dessas relações; uma mudança de perspectiva com foco na *composição de interações* (DI SCIPIO, 2003). Na prática, Di Scipio classifica seu modelo como um tipo de *design sonoro microtemporal*, no qual “a

³⁰ No que tange as estruturas emergentes e respectivas correlações com processos de organização, que embora estejam imbricados, são processos distintos, como veremos no capítulo 3.

³¹ Id., 2003

³² Id., 2010

³³ Id., 2011

forma é experienciada em termos de processo de formação de timbre ao longo do tempo” (DI SCIPIO, 1994a, p. 9)³⁴. Segundo Solomos (2010a, p. 91), colocando o foco nas estruturas emergentes, Di Scipio unifica uma dicotomia histórica na composição eletroacústica: composição algorítmica de um lado, que visa compor *com* sons, e composição de timbres do outro, que visa compor *os* sons. É nesse sentido que Di Scipio determina uma organização quantitativa baseada na arquitetura de um sistema ou processo capaz de trazer à tona propriedades morfológicas qualitativas (DI SCIPIO, 1994a, p. 4). Em certa medida, é uma abordagem operacional muito próxima da Modelagem Baseada em Agentes (WILENSKY; RAND, 2015), na qual os comportamentos agente-agente e agente-meio são programados por regras simples, de modo a que as estruturas emergentes das interações se tornem visíveis ou relativamente mensuráveis. Segundo Abbott e Hadzikadic, a Modelagem Baseada em Agentes é um “modelo computacional que nos permite compreender como diferentes combinações de grandes números de agentes produzem resultados globais através das suas interações discretas locais” (ABBOTT; HADZIKADIC 2017, p. 3). Contudo, Di Scipio traz noções de controle de sinais para a base da arquitetura composicional. E, como consequência do laço de retroalimentação, vincula a própria subsistência do sistema ao *tempo contínuo* – no que tange o fluxo de sinais e as trocas com o meio acústico –, o que distingue sua abordagem ecossistêmica de outros modelos computacionais.

A abordagem proposta por Di Scipio adquire uma importância especial para esta pesquisa por dois motivos principais: a) por deslocar o foco das *sonoridades* em direção às *relações* emergentes, mantendo-se em uma esfera na qual as interações podem ser pensadas como – ou em termos de – sinais de controle; e b) pelo modo como inclui o ambiente acústico enquanto componente formativo do sistema, através do laço de retroalimentação. Nesse sentido, Di Scipio lança luz sobre uma noção de estruturação musical coerente com a ubiquidade das práticas experimentais na música contemporânea, rompendo com a noção de instrumento musical e performance como nos paradigmas clássicos dos sistemas interativos em música eletroacústica (DI SCIPIO, 2017; GREEN, 2014). Na perspectiva ecossistêmica não há controle direto, mas sim ações que influenciam o comportamento do sistema. O som emergente é o resultado e causa de interações de componentes e não resultado de ações diretas de um componente específico – como um performer humano ou um algoritmo, por exemplo. De

³⁴ Embora, à época desta citação, o trabalho de Di Scipio ainda estivesse debruçado sobre um estruturalismo particularmente influenciado pela obra de Iannis Xenakis, o trecho é ilustrativo da mudança paradigmática (DI SCIPIO, 2002) que dá início ao projeto Ecossistêmicos Audíveis, que traz, por um lado, a recursividade como mecanismo subsistência do ecossistema, porém, por outro lado, mantém o foco no *controle de sinais*. Uma distinção entre a proposta de Di Scipio e o Estudo Ecos é apresentada no capítulo 4.

acordo com Di Scipio, “os ecossistemas não podem ser isolados do mundo externo, e não podem alcançar a sua própria função autônoma, exceto em estreita ligação com uma fonte de informação – ou energia. Isolá-los do meio é matá-los” (DI SCIPIO, 2003, p. 271). Neste sentido, a sua própria natureza é híbrida. Não existe digital-e-acústico ou instrumento-e-eletrônica. Assim como não há nada a acrescentar ou a expandir ou a espacializar em um momento posterior. As qualidades, conexões e interações são a própria condição de ser, de onde emergem as relações ecossistêmicas audíveis. Segundo o autor,

O projeto *Ecossistêmicos Audíveis* reflete uma prática que significa menos uma forma de experimentar o som como uma entidade material (como se fosse um objeto sonoro a ser desenvolvido e articulado de acordo com planos musicais independentes) e mais para experimentá-lo como um evento emergindo de um ambiente de performance específico e forjado por condições materiais relacionadas. Microfones, alto-falantes e lugares são componentes estruturais da performance musical – não apenas componentes funcionais e incidentais que podem ser substituídos sem efeitos colaterais audíveis (DI SCIPIO, 2022, *n.p.*, tradução nossa).

3 DO CONCEITO DE EMERGÊNCIA À RETROALIMENTAÇÃO ACÚSTICA-DIGITAL

3.1 DILEMAS ACERCA DO CONCEITO DE EMERGÊNCIAS

O esforço em definir conceitualmente o fenômeno das emergências tem gerado ambiguidades e sua própria aplicação tem sido contraditória, uma vez que o termo emergências é usado por diferentes áreas de conhecimento para referir-se a fenômenos, objetos, propriedades, estruturas, leis, comportamentos, entre outras tantas coisas que podem surgir de um ambiente relacional. Historicamente, o emergentismo tem início em meados do século XIX, com as obras dos filósofos John Stuart Mill (1843)³⁵, Alexander Bain (1870), e de George Henry Lewes (1875), este último quem introduziu o termo *emergente* para designar propriedades do todo que não podem ser deduzidas a partir das propriedades das partes (STEPHAN, 1992). No início do século XX, o emergentismo ganha força enquanto conjunto de doutrinas, período no qual também é alvo de muitas críticas. Segundo Richardson e Stephan, “não houve nada que se assemelhasse a uma refutação *a priori* do emergentismo. Falhou por razões empíricas. A emergência tinha sido, até então, uma hipótese empírica plausível, mas sua plausibilidade desvaneceu-se à luz dos avanços da ciência” (RICHARDSON; STEPHAN, 2007, p. 91). Completa Kim, “ignorado, mas não esquecido. Parece que há algo inerentemente natural e apelativo no conceito de emergência que o manteve vivo através do longo período de negligência e desdém, e desde o início dos anos 90 têm tido sinais fortes e visíveis de um renascimento” (KIM, 2006a, p. 190). Nas últimas décadas, o conceito de emergência tem reaparecido nas ciências da complexidade, geralmente atrelado a modelagem computacional de sistemas dinâmicos complexos (HOLLAND, 1995; BEDAU, 2002) e análise de processos de auto-organização (JOHNSON, 2003; MORIN, 2005)³⁶.

Os capítulos seguintes definirão conceitos em torno da noção de emergências tomada por esta pesquisa. Ao final, será proposta uma teorização sobre a formação do laço de retroalimentação que servirá como base conceitual para se pensar a estrutura do ecossistema audível desenvolvido no Estudo Ecos e como fundamento da metodologia experimental.

³⁵ Ver Mill (1973)

³⁶ Na área da música, diferentemente das ciências, a ideia de emergências parece ter ganhado força ao longo do século XX, porém, com diferentes conotações que acabam indo além da própria fundamentação de emergências enquanto conceito. As imbricações entre métodos de criação e poéticas no âmbito sonoro são agravantes que requerem um aprofundamento musicológico e analítico que foge ao escopo desta pesquisa. Nesse sentido, como mencionado no capítulo 2.3, propomos como um primeiro passo nesta direção a distinção entre os tipos de emergências que permeiam a experiência musical.

Contudo, considerando o escopo deste trabalho, não há pretensão de reelaborar, refutar ou encorajar esta ou aquela vertente teórica.

3.2 UMA PERSPECTIVA SOBRE ESTRUTURAS E SISTEMAS

O entorno do conceito de emergências será abordado examinando brevemente uma concepção de sistema e propriedades que, embora não seja objeto a exaurir, mostram-se úteis em nosso contexto. A emergência é uma propriedade de sistemas, o que nos permite dizer que é uma propriedade que depende do coletivo, assim, evidenciando a problemática da observação de um efeito sem uma causa aparente. A causalidade, propriedade presente em alguns tipos sistemas, é aqui um termo chave, pois representa categorias especiais de correlações entre componentes e estruturas sistêmicas. Um sistema pode ser definido como “um complexo de elementos em interação” (BERTALANFFY, 1973, p. 84), cujos elementos deste complexo podem ter características somativas ou constitutivas. A primeira, são as características que se mostram idênticas dentro e fora do complexo. A segunda, são características que dependem de relações específicas no interior do complexo. Em contraposição com a visão da ciência clássica, Bertalanffy argumenta:

A única finalidade da ciência [clássica] parecia ser analítica, isto é, a divisão da realidade em unidades cada vez menores e o isolamento de cadeias causais individuais. Assim, a realidade física foi desmembrada em pontos de massa ou átomos, o organismo vivo em células, o comportamento em reflexos, a percepção em sensações puntiformes etc. Em consequência, a causalidade tinha um único sentido, um sol atrai um planeta na mecânica newtoniana, um gene no ovo fecundado produz tal ou qual caráter herdado, um tipo de bactéria produz esta ou aquela doença, os elementos mentais enfileiram-se como as contas de um colar de pérolas em virtude da lei da associação [...] Podemos declarar, como característica da ciência moderna, que este esquema de unidades isoláveis atuando segundo uma causalidade em um único sentido mostrou-se insuficiente. Daí o aparecimento em todos os campos da ciência de noções tais como totalidade, holístico, organísmico, gestalt etc. significando todas que, em última instância, temos que pensar em termos de sistemas de elementos e interação mútua (BERTALANFFY, 1973, p. 71-72).

A Teoria Geral do Sistemas, como proposta por Bertalanffy (1973), almeja a integração de todos os campos das ciências através de abstrações do mundo real representadas como modelos sistemáticos, de modo que os modelos não representem *um* sistema em específico, mas “um conjunto de sistemas com as mesmas relações estruturais e dinâmicas” (HOFKIRCHNER; SCHAFRANEK, 2011, p. 184). Para Bertalanffy, a função integradora dos sistemas é o *isomorfismo*, que significa que,

O mundo, isto é, o total de acontecimentos observáveis, apresenta uniformidades estruturais que se manifestam por traços isomórficos de ordem nos diferentes níveis ou domínios (...) O princípio unificador é que encontramos organização em todos os níveis (BERTALANFFY, 1973, p. 76).

Em acordo com Morin, uma contribuição especial da *Teoria Geral dos Sistemas* foi trazer para o centro do debate “a noção de unidade complexa, de um todo que não se reduz à soma de suas partes constitutivas” (MORIN, 2005, p. 20). Nesse sentido, o pensamento sistêmico assimilou os avanços da cibernética e da informática, porém, diferenciando-se por enfatizar o *todo*, “indo contra o mecanicismo e o reducionismo que muitos cibernéticos adotavam, destacando, assim, a noção de *emergência*” (PESSOA JR., 2001, p. 35). Para Bertalanffy, dizer que o todo é maior que a soma das partes consiste em que “as características constitutivas não são explicáveis a partir das características das partes isoladas. As características do complexo, portanto, comparadas às dos elementos, parecem *novas* ou *emergentes*” (BERTALANFFY, 1973, p. 83). Ainda, segundo Bertalanffy, duas hipóteses contribuíram para que o pensamento sistêmico surgisse como uma teoria pautada em processos de organização, fundamentando, assim, um paradigma organicista. Primeiro, a hipótese de reconhecimento do organismo vivo como “um sistema aberto em estado quase-estável, mantido constante em suas relações de massa dentro de uma contínua transformação de componentes materiais e energias” (BERTALANFFY, 1973, p. 167), mantendo fluxo contínuo de troca com seu meio externo. Segundo, a hipótese teleológica, referindo-se ao funcionamento ou direcionamento do sistema, que aparece em dois aspectos: a) a equifinalidade, que é “a tendência para um mesmo estado final, partindo de diferentes estados iniciais e percorrendo diferentes caminhos” (WEBERING, 2017, p. 210), que evidencia o caráter evolutivo do sistema e a presença de componentes atratores no caso de sistemas caóticos e complexos; e b) a retroação, atrelada a conservação homeostática e autorregulação, gerando um modo de causalidade circular, porém, no caso de sistemas abertos, pode estar vinculada a processos de auto-organização (BERTALANFFY, 1973, p. 217-218).

Diante de tais posicionamentos, considera-se que *processos de organização e estrutura hierárquica* são duas características fundamentais para situarmos a forma e o escopo relacional do conceito de emergências. Esta última diz respeito à estrutura baseada em partes e todo, *micro* e *macroestruturas*. “Cada nível mais alto apresenta propriedades que superam as dos níveis mais baixos” (BERTALANFFY, 1959 *apud.* HOFKIRCHNER; SCHAFRANEK, 2011, p. 191). E a primeira, refere-se às *correlações* entre as partes e o todo. Uma vez que emergência é uma propriedade de um sistema, é importante fazer distinção entre *estrutura do sistema* e

estrutura da emergência. Assim, neste trabalho, definimos os componentes sistêmicos de *baixo-nível* como todos os elementos já existentes antes de serem reunidos e interligados enquanto sistema. Já componentes sistêmicos de *alto-nível*, como sendo os elementos próprios do sistema constituído, como comportamentos, restrições, autorregulação, capacidades, entre outros, dentre os quais podem estar incluídas as emergências: seja como um novo comportamento, algum tipo específico de restrição, auto-organização e/ou formação de novas estruturas. Vale notar que essa diferenciação pode gerar confusão, uma vez que estruturas de alto-nível do sistema incluem o próprio ecossistema emergente, ou seja, níveis micro e macro. Poder-se-ia propor uma diferenciação teórica, porém, ampliando demasiadamente os debates sobre as condições de metaestabilidade, o que não é o caso. Na prática, faz-se tal distinção apenas para sublinhar os componentes de baixo nível. O essencial é termos pistas para diferenciar *o quê*, num dado sistema, é emergente.

3.3. EMERGÊNCIAS

Na tentativa de delinear de modo mais objetivo as correlações entre todo e partes em sistemas complexos – ou seja, entre o fenômeno observável e os respectivos eventos e componentes subjacentes –, as noções de *redução causal* e *causação descendente* constituem, ainda hoje, o núcleo das divergências que rodeiam o conceito de emergências (KIM, 2006a; LAWSON, 2013; RICHARDSON; STEPHAN, 2007). A redução causal procura explicar a emergência mostrando que as potências de causas³⁷ no nível macro são resultados das potências de causas no nível micro, implicando, a longo prazo, em uma relação de dependência entre partes e todo – porém, conseqüentemente, refutando a ideia de superveniência e irreducibilidade da estrutura emergente (KIM, 2006b). A causação descendente, defende que as causas no nível macro também geram efeitos no nível micro (BEDAU, 2002, p. 32), explicando a autonomia do todo com relação a suas partes. Porém, sendo o todo uma emergência, ao exercer influência sobre as partes cria-se uma relação de interdependência entre propriedades do todo e das partes, evidenciando, novamente, um tipo de redução causal. Segundo Bedau, “pensar em um mesmo fenômeno como sendo dependente e autônomo, é como dizer que uma coisa é transparente e

³⁷ Encontramos na literatura o termo *potências de causa* referindo-se às possíveis correlações causais que podem existir em certas relações complexas, diferenciando-se do termo *causalidade* por conta da imprevisibilidade da primeira. Um debate mais aprofundado pode ser encontrado em Almeida-Filho e Coutinho (2007) e Bastos Filho (2008). Neste trabalho, o uso dos termos acerca das causações possui conotação atrelada à realidade das estruturas emergentes no contexto do ecossistema audível, como veremos nos próximos capítulos.

opaca”³⁸. Seja na lógica da redução causal ou na causalção descendente, a contradição é gerada quando se tenta definir *uma* solução. Continua Bedau, “não devemos assumir que existe apenas uma solução para o problema da emergência, (...) diferentes conceitos de emergência podem fornecer diferentes perspectivas úteis ao problema da emergência” (BEDAU, 2002, p. 6). Stephan (1992), em um percurso histórico, faz distinção entre diferentes abordagens sobre o termo, que Pessoa Jr. (2001) define como:

(i) “emergência como não-aditividade”, que em nossa terminologia significaria emergência como não-linearidade; (ii) “emergência como novidade”, o que ocorre tipicamente na evolução biológica, com o surgimento de novas espécies; (iii) “emergência como imprevisibilidade”, que pode ser exemplificado com o caos determinista; (iv) “emergência como não-dedutibilidade”, aplicáveis a leis de um nível macroscópico que não pudessem ser reduzidas às leis microscópicas; (v) “emergência como causalidade descendente”, segundo a qual uma propriedade macroscópica teria influência causal em partes microscópicas do sistema, sem que se pudesse atribuir uma equivalente influência causal a outras partes microscópicas temporalmente anteriores (PESSOA JR., 2001, p. 39-40).

Todavia, não é o caso de se considerar os tipos supracitados como diferentes conceitos de emergência, senão como diferentes aplicações de um mesmo termo; perspectivas sob as quais coisas diferentes foram caracterizadas como sendo emergentes (STEPHAN, 1992, p. 27). Nesse mesmo sentido argumenta Kim,

Como é sabido, a ideia intuitiva de uma propriedade emergente deriva do pensamento de que um sistema puramente físico, composto exclusivamente de pedaços de matéria, quando atinge um certo grau de complexidade na sua organização estrutural, pode começar a exibir propriedades genuinamente novas não possuídas pelos seus constituintes mais simples. As questões e disputas surgem quando tentamos tornar esta ideia mais precisa e transformá-la em algo filosófica e cientificamente útil (KIM, 2006b, p.548, tradução nossa).

Não acreditamos que o problema de definição das emergências seja apenas uma questão de conveniência. Porém, “transformar em algo que seja filosófica e cientificamente útil” parece ser a questão aqui: *qual seria a função das estruturas emergentes em um dado sistema?* Segundo Kim (2006b), apenas apontar para a existência do fenômeno emergente é vago e irrelevante. Em primeiro lugar, é preciso chegar a uma caracterização que esteja além da superveniência e irreduzibilidade, pois estas não são suficientes para caracterizar a emergência. E, em segundo lugar, é preciso lidar com o problema da causalção descendente concebendo, de

³⁸ Ibid., p. 6

alguma forma, “uma descrição inteligível e consistente de como as propriedades emergentes podem ter propriedades distintivas e poder causal próprio – em particular, poderes para influenciar eventos e processos a nível basal” (KIM, 2006b, p.559). Contudo, parece que ainda estamos mergulhados em um problema de metodologia experimental que nos permita observar e testar o fenômeno das emergências para além da caixa preta – como se refere Flusser, “quem vê input e output vê o canal, e não o processo codificador no interior da caixa preta” (FLUSSER, 2009, p. 15).

Ao nosso ver, a ambiguidade que parece rodear a conceituação de emergências revela a própria essência do termo: seu dinamismo. As disputas surgem na tentativa de definição de algo que não evidencia outra coisa, senão *qualidades de relações*. Como observa Lawson, “em todos os sistemas, a estrutura organizacional é um componente causal essencial” (LAWSON, 2013, p.3), e conclui, “certamente, parece haver mais regularidade ao nível da dinâmica do processo do que [ao nível] dos detalhes das entidades que estes processos produzem” (LAWSON, 2013, p.7). Nesse mesmo sentido, segundo Jones, as “explicações para emergências requerem descrição das relações que vinculam objetos em algum nível de integração e entre níveis hierárquicos de ordem, mas precisamos de uma definição de ordem” (JONES. 2002, p. 419). No caso, a noção de ordem é geralmente aceita como um *processo de ordenação* – e, portanto, uma estrutura hierárquica em constante mudança – ao invés de algo estático e organizado (MORIN, 2005; PRIGOGINE, 1987).

Assim, a essência dinâmica da emergência nos permite analisá-la por dois ângulos: um estrutural, e outro, processual. Na perspectiva estrutural, de hierarquia sistêmica, tem-se a emergência das qualidades das relações em um dado instante. É uma propriedade *síncrona*, interna (SCHMIDT, 2019), que revela uma interdependência entre partes e todo e, portanto, um aspecto da hierarquia multinível ou uma propriedade que agregue identidade ou unidade à emergência – como uma saliência, no sentido da Morfogênese (PICIONE; FREDA, 2016). Na perspectiva processual, *diacrônica*, tem-se a emergência de um modo de organização dos componentes através de uma cadeia de correlações de causas, evidenciando uma *assimetria causal* atrelada à dinâmicas não-lineares (JONES, 2002, p. 419). Adentramos, assim, no terreno da *irreducibilidade* como sintoma da organização complexa. Segundo Prigogine, “ao longo do tempo, nascem correlações que depois *se propagam* (...) Uma partícula correlata com a outra encontrará, em seguida, uma terceira partícula. As correlações binárias transformam-se, pois, em correlações ternárias etc. Temos, a partir daí, um *fluxo de correlações ordenado no tempo*” (PRIGOGINE, 2011, p. 84). É justamente esta característica de propagação da informação, ou,

nos termos de Simondon, de amplificação (SIMONDON, 2017), que agrega ao fenômeno emergente características de *irreversibilidade*, *imprevisibilidade* e, conseqüentemente, *novidade*. Segundo Richardson e Stephan, “a previsibilidade é comprometida pela interatividade de componentes. As propriedades do sistema são novas na medida em que são qualitativamente diferentes das propriedades dos constituintes” (RICHARDSON; STEPHAN, 2007, p. 94). Fromm complementa, “a emergência é um processo criativo, contingente e muitas vezes imprevisível: quanto mais forte a emergência, menos previsíveis são as propriedades, os padrões e as estruturas emergentes” (FROMM, 2005, p.5). Contudo, emergências acontecem dentro dos limites de interação de um sistema, *saltando* ao longo de uma hierarquia de ordem ou níveis, sendo mais fortes as emergências que saltam mais alto na hierarquia, distanciando-se, assim, dos componentes de base.

3.4 OLHAR AS EMERGÊNCIAS A PARTIR DE SUAS DINÂMICAS

Colocar o foco do problema de conceituação das emergências sobre os processos de organização complexa pode parecer uma alternativa viável, uma vez que, aparentemente, dilui as ambigüidades – síncrono-diacrônico, micro-macro, autonomia-dependência –, integrando a complexidade da emergência em uma perspectiva também dinâmica. No entanto, não é esse o caso. De um lado, o problema da assimetria causal ainda é persistente. Segundo Fromm, “a questão das emergências é sempre uma questão de causa e causalidade” (FROMM, 2005, p.5). Por outro lado, *a processualidade* – dependência temporal, diacrônica – e *a internalidade* – interdependência entre partes e todo, sincrônica –, propriedades inerentes à emergência, são propriedades também do processo de auto-organização. Nesse sentido, Schmidt (2019) distingue emergência e auto-organização, sendo que o último estaria atrelado à formação de *outros* padrões, enquanto o primeiro estaria relacionado, necessariamente, ao surgimento de *novos* padrões (SCHMIDT, 2019, p. 5). Embora esta distinção seja vaga, uma vez que diferenciar o novo diante dos outros depende da condição cognitiva e posição do observador (BAR-YAM, 1997; HOOKER, 2011), acreditamos já ser um começo para delinear *quando* um processo de auto-organização envolve uma estrutura emergente. Segundo Hooker,

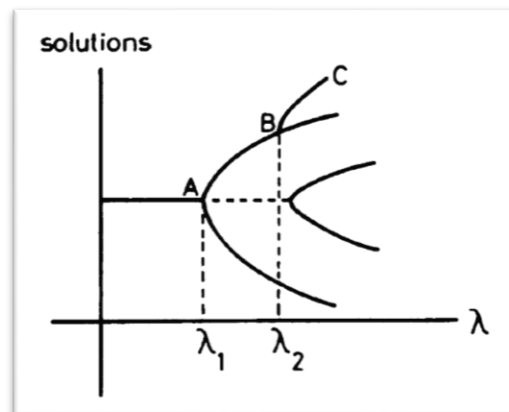
Em todos os sistemas, é verdade que componentes interagindo juntos criam dinâmicas que não estariam presentes de outro modo. Quando o resultado é surpreendente ou inesperado ou muito complexo para compreender de imediato, cientistas são favoráveis a falar de padrões emergentes. Quando o resultado é mais complicado ou de comportamento sutil, e as dinâmicas estão inteiramente internas ao sistema, é dito como sendo auto-organizado (HOOKER, 2011, p. 207, tradução nossa).

Assim, é importante notar que, ao passo que a emergência possui correlações diretamente atreladas com a auto-organização, o contrário não é verdade. “A auto-organização é sempre induzida pela instabilidade da estrutura anterior através de pequenas flutuações” (SCHMIDT, 2019, p.10). *Instabilidades* constituem o elemento central da emergência e da auto-organização. Argumenta Schmidt, “sem instabilidades não há mudança, nem emergência, nem complexidade, nem evolução”³⁹. Cilliers (1998) faz uma distinção elucidativa. De um lado, define a *auto-organização* como um processo dinâmico presente em sistemas complexos, quando um “evento no ambiente causa alguma atividade dentro do sistema, e esta atividade pode ser usada para alterar a estrutura do sistema, porém, apenas por meio de informação disponível localmente” (CILLIERS, 1998, p. 94). Ou seja, não depende de uma perspectiva global, mas do comportamento que as microestruturas ou subsistemas assumem diante da informação incidente – um processo comumente observável em modelagens computacionais de sistemas dinâmicos complexos (HOLLAND, 2006; WILENSKY; RAND, 2015). Ao passo que processos *auto-organizados criticamente* estão atrelados a uma visão holística em que “o sistema se organiza em direção ao ponto crítico onde um único evento tem uma vasta gama de efeitos possíveis” (CILLIERS, 1998, p. 97). Em outras palavras, a questão parece estar na condição dinâmica, metaestável, que o sistema adquire ao atingir o ponto crítico. Assim, trata-se de observar não apenas o caráter dinâmico, mas as instabilidades, pois são estas que, em geral, refletem situações nas quais o sistema está em seu *ponto crítico* (SCHMIDT, 2019, p. 9), o que nos leva à ideia de *bifurcações*: eventos que indicam pontos críticos, transição de estados e, portanto, criam um histórico da evolução do sistema. Em casos de processos irreversíveis, os pontos de bifurcação também podem acusar os momentos de aparição de estruturas emergentes. Na Figura 3.1 é mostrado um diagrama representando um histórico de bifurcações. Segundo Prigogine,

Suponhamos que [...] se chegou ao estado C através de um aumento do valor de λ . A interpretação deste estado X implica o conhecimento da história prévia do sistema, que teve de passar pelos pontos de bifurcação A e B. Desta forma, introduzimos na física e na química um elemento ‘histórico’, que até agora parecia estar reservado apenas às ciências que lidam com fenômenos biológicos, sociais e culturais (PRIGOGINE, 1977, p. 273, tradução nossa).

³⁹ Ibid, p. 7

Figura 3.1 – Diagrama representando bifurcações sucessivas, evidenciando o mapeamento histórico das evoluções do sistema.



Fonte: Prigogine (1977).

No caso de sistemas longe do equilíbrio, as bifurcações são momentos de *quebra de simetria*, fazendo com que a transição de estado tenha caráter irreversível. Segundo Prigogine, “perto do equilíbrio as flutuações são irrelevantes, ao passo que longe do equilíbrio elas desempenham um papel central. As flutuações são essenciais nos pontos de bifurcação” (PRIGOGINE, 2011, p. 76). Segundo Hooker, é conveniente escolher a bifurcação como critério dinâmico da emergência, pois, a partir deste, “desenvolve-se um novo padrão de comportamento cuja ocorrência é dinamicamente fundamentada numa mudança na forma dinâmica” (HOOKER, 2011, p. 209). Todavia, como ressaltamos anteriormente, a emergência é um processo mais profundo que pode ser observável em momentos de bifurcação em sistemas longe do equilíbrio por conta de sua correlação com o processo de auto-organização. Assim, a emergência corresponde a *uma parte do espectro* de formação do padrão, que vai desde a formação do nível até a transição. Segundo Hooker,

Chamar *emergência* a todo o espectro reduziria a noção a uma simples mudança de comportamento, eviscerando o seu conteúdo. É mais informativo chamar a todo o espectro de *formação de padrões*. Confinar a *emergência* apenas às bifurcações de formação de nível seria perder todos os casos em que a mudança é objetivamente fundamentada numa mudança holística de forma dinâmica (HOOKER, 2011, p. 209, tradução nossa, grifo nosso).

O debate teórico sobre instabilidades e geração de restrições proposto, respectivamente, por Schmidt e Hooker, juntamente com a taxonomia de emergências proposta por Fromm, constituem a base teórica da metodologia implementada no Estudo Ecos, como veremos de modo contextualizado no capítulo 5.

3.5 DA CONDIÇÃO DE METAESTABILIDADE

A definição direta e objetiva do conceito de emergência é, possivelmente, um problema insolúvel. Como vimos nas seções anteriores, tentar cercear o conceito por este ou aquele lado é como girar em falso: a emergência é dinâmica, está presente em diferentes naturezas e parece estar sempre vinculada a outros processos de diferentes ordens. Uma alternativa viável é abordar a emergência de modo indireto, por exemplo, olhando para as relações subjacentes que parecem ser mais substanciais, no caso, as instabilidades. Não obstante, ao nosso ver, a grande virtude das emergências é a especificidade: sua ontologia, sua historicidade, sua dependência de condições essenciais e insubstituíveis que atravessam todos os componentes de um dado ambiente relacional ou sistema interativo. Nesse sentido, deve-se olhar para *o quê* permite que as instabilidades ocorram: *a condição ou estado de metaestabilidade*. Segundo Prigogine, “a matéria do não-equilíbrio é muito mais sensível ao seu ambiente do que a matéria em equilíbrio. Gosto de dizer que em equilíbrio, a matéria é cega; longe do equilíbrio pode começar a ver” (PRIGOGINE, 1984, p. 97). A seguir, abordaremos brevemente o conceito de metaestabilidade com base em duas perspectivas complementares: a Teoria das Estruturas Dissipativas, de Ilya Prigogine, e da Teoria da Individuação, de Gilbert Simondon⁴⁰.

Os critérios de *evolução* e *estabilidade* estão diretamente relacionados. Um sistema evolui até o momento em que atinge um estado de equilíbrio, cuja entropia é mínima, ou seja, “quando pequenas flutuações não podem fazê-lo evoluir novamente” (YUNES, 1995, p. 112). Este é o caso de sistemas dinâmicos estáveis que, naturalmente, tendem ao equilíbrio. Por outro lado, em *sistemas dinâmicos instáveis*, o ponto de equilíbrio é frágil e flutuações neste ponto, que em sistemas estáveis seriam irrelevantes, podem causar distúrbios. Não obstante, a qualidade das flutuações também se torna crítica, pois pequenas variações nas condições iniciais podem fazer o sistema evoluir para direções totalmente diferentes. Assim, um sistema dinâmico instável possui *sensibilidade às condições iniciais*, sendo o sistema caótico um exemplo extremo. Prigogine mostra, através da Teoria das Estruturas Dissipativas (PRIGOGINE, 1977), que sistemas longe do equilíbrio, ao dissiparem matéria e energia – processo irreversível que em sistemas fechados é entendido como um tipo de perda, e em sistemas abertos é entendido como um tipo de *troca* –, após atingirem um ponto crítico, tornam-se fonte de novas formas de ordem. Segundo o autor,

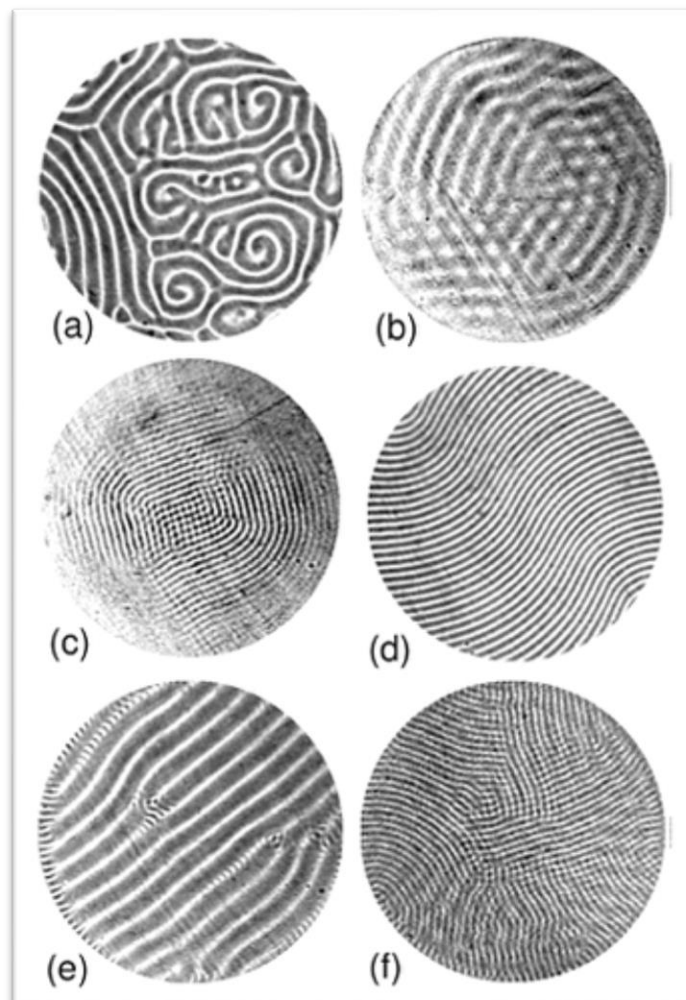
Quando levamos um sistema para longe do equilíbrio, o atrator que dominava o comportamento do sistema próximo do equilíbrio pode se tornar instável,

⁴⁰ Para debates aprofundados sobre a relação entre as duas teorias, ver Atamer (2014) e Mills (2016).

como resultado do fluxo de matéria e energia que nós direcionamos ao sistema. O não-equilíbrio torna-se fonte de ordem; novos tipos de atratores, mais complicados, podem aparecer e dar uma nova organização espaço-temporal ao sistema (PRIGOGINE, 1987, p. 99, tradução nossa).

Prigogine toma como exemplo de comportamento longe do equilíbrio as instabilidades observáveis em experimento conhecido como Células de Bénard⁴¹. O experimento é realizado aumentando gradualmente a temperatura da fonte de calor, induzindo um gradiente de energia em todo o sistema. Quando o gradiente atinge *um ponto crítico*, o modo de transmissão de calor entre as moléculas muda, criando um processo de retroalimentação a partir do qual o fluído da superfície assume formas macroscópicas – ver Figura 3.2.

Figura 3.2 – Células de Bénard.



Fonte: Rogers *et al.* (2000, p.88). Diferentes padrões de convecção geram diferentes topologias de organização em nível macroscópico.

⁴¹ Id., 1977, p. 267

Segundo Yin e Herfel,

O aumento do gradiente energético afasta o sistema do equilíbrio. Quando um limiar crítico de gradiente é ultrapassado, a condução torna-se instável, a força viscosa é ultrapassada e surge um novo meio de transporte de energia: a convecção. Neste caso, a estrutura convectiva que emerge é uma malha de células de convecção hexagonais. As moléculas das células de Bénard percorrem o centro de cada célula transportando consigo o calor que receberam no fundo do vaso. Chegando ao topo da célula, as moléculas arrefecem movendo-se horizontalmente, liberando energia para o ar acima do vaso. Quando atingem a borda exterior da célula, as moléculas agora mais frias afundam-se, movendo-se verticalmente. Uma vez na parte inferior, deslocam-se horizontalmente recebendo energia do recipiente. Quando voltam a chegar ao centro, já estão suficientemente quentes para repetir o processo novamente (YIN; HERFEL, 2011, p. 400, tradução nossa).

Ao passo que as instabilidades influenciam os componentes do sistema de diferentes maneiras, a evolução assume, conseqüentemente, uma característica não-linear. “A não-linearidade e situações longe do equilíbrio estão diretamente relacionadas: seu efeito é levar a uma multiplicidade de estados estáveis” (PRIGOGINE, 1987, p. 99). Nesse sentido, pode-se imaginar que, a medida em que cada componente procura uma solução viável em direção à um dos possíveis pontos de equilíbrio, uma estrutura interativa emerge de modo que parte dos movimentos se anulam ou se reforçam, e a evolução do sistema começa a mostrar esboços de uma possível nova topologia ou forma; é como a transição de um estado de equilíbrio *global*, estável, para uma multiplicidade de estados de equilíbrio *locais*, levando em conta que as condições de equilíbrio de um interferem nas condições de seus vizinhos. Tal contexto sistêmico é o *estado de metaestabilidade* (VIEIRA, 2003, p. 296). Pode-se dizer que essa estrutura interativa desencadeia um processo de auto-organização, pois mesmo conhecendo as condições iniciais, os processos e as condições que o sistema exibirá nos limites, não é possível saber qual dos possíveis regimes de funcionamento longe do equilíbrio ele irá escolher. Segundo Prigogine, “o termo *escolha* significa que nada na descrição macroscópica permite privilegiar uma das soluções. Um elemento probabilista irreduzível introduz-se, assim” (PRIGOGINE, 2011, p. 73). Nesse sentido, *a irreversibilidade*, característica do processo de dissipação, devém das relações de troca de informação com o meio, mas também da produção de entropia *dentro* do sistema⁴². Em outras palavras, longe do equilíbrio, ao adquirir uma condição de metaestabilidade, as condições dos componentes do sistema também mudam, implicando em outros e/ou novos modos de interação e interdependência (BAR-YAM, 1997,

⁴² Id., 1977, p. 264

p. 12), daí a ideia de produção de ordem através da desordem ou da perda (MORIN, 2005, p. 63). Contudo, as emergências podem aparecer de diferentes modos, atreladas ou não à estrutura interativa e ao processo de auto-organização, como no caso das células de Bénard. Porém, inevitavelmente, a produção de emergências e respectivas qualidades estarão atreladas aos regimes de metaestabilidade que o sistema exhibe.

Para Simondon, a condição de equilíbrio metaestável é a condição própria da ontogênese, ou seja, a condição para o processo de formação do ser individuado, pois “é enquanto o sistema está em estado de equilíbrio metaestável que ele é modulável pelas singularidades e é o teatro do processo de amplificação, de soma, de comunicação (SIMONDON, 2020a, p. 76). Em sua *Teoria da Individuação*, o autor debate sobre o papel que a relação entre forma e matéria exercem na gênese do indivíduo – seja objeto físico ou ser vivo. Defende que, embora exista a tendência em colocar o princípio da individuação sobre a matéria ou sobre a forma, uma vez que são preexistentes e anteriores ao indivíduo, este só ocorre por meio de operações *entre* matéria e forma no *dever* do processo de tomada de forma, possibilitadas por um regime energético do sistema de individuação, evidenciando, assim, o papel da singularidade. Segundo o autor,

A tomada de forma, mesmo que formas implícitas já preexistam, só pode ser efetuada se matéria e forma forem reunidas em um único sistema por uma condição de metaestabilidade. Essa condição, nomeada ressonância interna do sistema, institui uma relação alagmática no curso da atualização da energia potencial (SIMONDON, 2020a, p. 76).

Antes do processo de tomada de forma, irreversível, *a matéria* é um campo ou sistema cujas “energias potenciais que se acumulam constituem uma metaestabilidade favorável às transformações” (SIMONDON, 2017, p. 216). Já a noção de *forma* é substituída pela noção de informação, porém, não mais como um objeto que é transmitido de modo reversível, senão como uma orientadora. Assim, a forma pode ser entendida, aqui, como uma *tensão de informação* trazida por um germe estrutural. “A tensão de informação é a propriedade que possui um esquema de estruturar um domínio, se propagar através dele, de ordená-lo”⁴³. Desse modo, a matéria abriga *propriedade positiva*, energia potencial disponível, que lhe permite ser modelada. E a forma é a tensão provocadora e que intervém como limite da atualização da energia da matéria. “Não é no instante infinitamente curto que forma e matéria se diferem, mas no *dever*”⁴⁴. Assim, uma informação incidente no contexto de tal metaestabilidade se torna um

⁴³ Id., 2017, p. 213

⁴⁴ Id., 2020, p. 47

germe disparador de um processo de amplificação de uma singularidade. “O indivíduo se constitui e existe no limite de si mesmo; ele sai de uma singularidade. Forma e matéria se comunicam através da singularidade, essa relação constitui o meio – sistema energético constituinte – uma vez que existe uma condição de ressonância interna – canal de comunicação”⁴⁵. Assim, o indivíduo é o *ser da relação*, ele é interface das operações, o *meio do ato alagmático*^{46 47}. Segundo Simondon,

O que é essencial e central é a operação energética, supondo potencialidade energética e limite de atualização [...] nem a forma nem a matéria bastam à tomada de forma. O verdadeiro princípio de individuação é a própria gênese se operando, isto é, o sistema devindo enquanto a energia se atualiza [...] O que faz com que um ser seja ele mesmo, diferente de todos os outros, não é nem sua matéria nem sua forma, mas a operação pela qual sua matéria toma forma em um certo sistema de ressonância interna (SIMONDON, 2020a, p. 53).

Contudo, vislumbra-se a complexidade das correlações que permeiam o fenômeno emergente. Entende-se que, ao passo que as dinâmicas nos permitem uma abordagem das estruturas emergentes em nível macro, observável – e, em nosso caso, audível –, a noção de metaestabilidade nos permite abordar as condições energéticas que possibilitarão a emergência. Estamos longe da pretensão de solucionar o enigma que envolve a constituição das emergências. Ao contrário, buscamos estratégias para utilizar o conceito atrelado ao fenômeno, de modo que, como veremos, nos ajudará a delinear a própria estrutura do ecossistema audível.

3.6 NOÇÕES SOBRE RESSONÂNCIAS

Encontramos a noção de ressonância, em Simondon e em Prigogine, como sendo a condição da *irreversibilidade* dos processos. A ressonância é o efeito e causa da própria atualização da energia potencial que desencadeia os processos irreversíveis ao longo do processo de tomada de forma. No campo da física, Prigogine aponta para importância das ressonâncias em um sistema dinâmico, tal como foram evidenciadas na teoria de sistemas não-integráveis de Henri Poincaré, chamando atenção para as *interações mútuas* existentes entre as

⁴⁵ Ibid., p. 76

⁴⁶ Ibid., p. 569

⁴⁷ Na teoria de Simondon, estrutura e operação são complementos ontológicos, sendo o primeiro, o resultado de uma construção, e o segundo, o que faz uma estrutura aparecer ou o que modifica uma estrutura. O *ato* contém estrutura e operação de uma só vez, sendo que o *ato alagmático*, por sua vez, refere-se à relação entre duas operações, diretamente ou através de uma estrutura. Portanto, a Alagmática, em Simondon, é a teoria das operações. Para detalhes ver (SIMONDON, 2020a, p. 559-571).

partículas que, até então, eram ignoradas a título de erro matemático. Segundo Prigogine, um sistema dinâmico integrável no sentido de Poincaré,

É um sistema cujas variáveis podem ser definidas de tal maneira que a energia potencial seja eliminada, ou seja, de tal maneira que seu comportamento se torne isomorfo ao de um sistema de partículas livres, sem interação” (...). Em um mundo isomorfo a um conjunto de corpos sem interação, não há lugar para a flecha do tempo, nem para a auto-organização, nem para a vida. Mas, Poincaré não só demonstrou que a integrabilidade se aplica apenas a uma classe reduzida de sistemas dinâmicos, como também identificou a razão do caráter excepcional dessa propriedade: *a existência de ressonâncias entre os graus de liberdade do sistema*” (PRIGOGINE, 2011, p. 42).

As oscilações entre as partículas mostram que existe uma frequência para cada grau de liberdade do sistema, de modo que quando encontram ressonância umas nas outras, as oscilações se amplificam – assim como no meio acústico. Portanto, Prigogine defende uma dinâmica das correlações, de distribuição não-localizada⁴⁸, o que significa uma interação generalizada e contínua de interações persistentes⁴⁹ – e não mais interações transitórias, com início e fim, como nas trajetórias (PRIGOGINE, 2011, p. 123) –, fazendo emergir, assim, *correlações de longo alcance*, ainda que as forças entre as moléculas sejam de curto alcance⁵⁰. Nesse sentido é que, segundo Simondon, “a matéria tomando forma está em estado de completa ressonância interna” (SIMONDON, 2020a, p. 48).

Para Simondon, “a ressonância é a troca de energia e de movimentos num recinto determinado, comunicação entre uma matéria microfísica e uma energia macrofísica a partir de uma singularidade de dimensão média, topologicamente definida”⁵¹. Assim, a operação de atualização da energia potencial, que institui a ressonância interna, opera mediante condições topológicas – ou seja, forma –, e mediante condições energéticas, que por sua vez, estão

⁴⁸ Segundo Prigogine, “a trajetória é caso particular de distribuição localizada, aquela em que a função de distribuição está localizada num só ponto da reta e se desloca ao longo do tempo. Em contrapartida, as funções de distribuição não-localizadas estendem-se por toda a reta” (PRIGOGINE, 2011, p. 123).

⁴⁹ Prigogine chama de interações persistentes um fenômeno de *acoplamento* das relações dinâmicas à medida que a interação entre os graus de liberdade assume propriedades destrutivas e construtivas, como as anulações de fase nas interferências acústicas. Assim, a oscilação dinâmica de um estado ao outro cria *bolhas*, que representam os pontos de ressonância, e que são responsáveis pela manutenção das interações (PRIGOGINE, 2011, p. 132). Todavia, para Simondon, a irreversibilidade da relação entre a realidade incidente – forma, tensão de informação – e a realidade local – matéria, campo energético potencial – repousa sobre a metaestabilidade inicial do receptor *antes* da chegada da informação, garantindo a autonomia energética para o devir da matéria (SIMONDON, 2020b, p. 285). Nesse sentido, Simondon defende que existe um princípio anterior ao acoplamento das dinâmicas, diferentemente de como apontado por Prigogine e Poincaré, em que o acoplamento pressuporia que o receptor, o campo metaestável, estivesse em condição estável no momento da incidência, o que não é o caso. Todavia, acreditamos que a divergência seja meramente teórica devido ao escopo de análise dos respectivos trabalhos.

⁵⁰ Ibid., p. 135

⁵¹ Ibid., p. 49

relacionadas com as capacidades de fluxo de energia por todo o sistema, ou seja, condições energéticas, topológicas e materiais. Nesse sentido, Simondon vai mais à fundo, trazendo o conceito de amplificação para delinear o modo de propagação das correlações *em camadas* – no sentido das correlações de longo alcance de Prigogine, mencionado acima. Para Simondon, a progressão da amplificação é caracterizada pela relação dialética entre três modos de amplificação – que, em certos casos, podem ser entendidos como etapas sucessivas. A primeira, *amplificação transdutiva*, “operação positiva, que se alimenta dela mesma e se propaga pelo resultado instantâneo de seu próprio exercício” (SIMONDON, 2020b, p. 298); uma reação em cadeia, que se propaga gradualmente. É caracterizada por um movimento basculante de passagem da metaestabilidade à estabilidade que muda constantemente de suporte ao avançar. Em outras palavras, a transdução funciona como um boato ou fofoca, em que, ao se propagar, a informação sofre transformações. Assim, diferencia-se da simples transmissão, pois no caso desta última, “o campo atravessado não é receptor, ele não substitui energeticamente a incidência da informação e não muda o regime de equilíbrio” (SIMONDON, 2020b, p. 286). A segunda, *amplificação moduladora*, tem por função regular a propagação da amplificação transdutiva, “dominando-a e a alimentando localmente, para fazê-la produzir e trabalhar em condições regulares” (SIMONDON, 2020b, p. 289). Nesse caso, a passagem de estado metaestável para estável acontece em local fixo⁵², e não ao longo da propagação. Assim, a modulação pressupõe um sistema formado por fonte de energia, entrada e saída do modulador, sendo o modulador “um amplificador sem iteração ou processo de multiplicação, pois ele coloca em jogo uma relação entre termos extremos de uma série energética incidente e de uma série local, ao realizar, num espaço privilegiado, uma equivalência entre esses termos extremos” (SIMONDON, 2020b, p. 290). Assim, a modulação não é uma propagação autocondicionada, mas uma operação localizada. Ou seja, “enquanto a transdução é orientada para o futuro, a modulação é uma vitória do antigo sobre o novo, uma reciclagem da estrutura antiga”⁵³. Por fim, a *amplificação organizadora*, é a compatibilidade entre as duas anteriores, de modo que as decisões sucessivas da transdução não sejam mais puro desencadeamento, mas uma ordenação por meio de autorregulação. Assim, cada decisão leva em conta o efeito de seus precedentes, direcionando a evolução para um estado estável. Segundo Simondon,

A organização corresponde à estabilidade do presente completo, dilatado em momento, etapa que condensa e mantém uma certa dimensão do passado e

⁵² Em nosso caso, podemos assumir que a noção de amplificação moduladora seja correlata à noção de sistema regulador, como a propriedade de retroação em sistemas abertos, definido por Bertalanffy (1973, p. 217-218), embora Simondon não recorra ao termo por questões específicas de sua teoria (SIMONDON, 2020b, p. 289).

⁵³ Ibid., p. 298

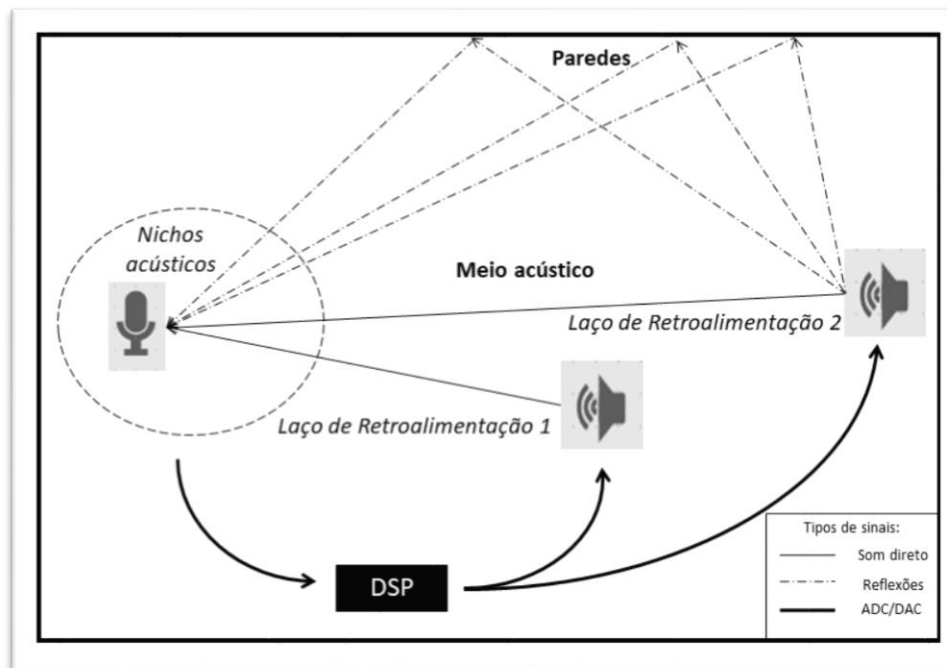
uma certa dimensão do futuro [...] enquanto que a transdução é um impulso instantâneo rumo ao futuro, e a modulação uma iteração fixa do passado sob forma de conservação (SIMONDON, 2020b, p. 299)

Simondon trabalha o detalhamento do processo de amplificação de modo a evidenciar o regime energético presente *entre* as trocas, sendo que a ressonância interna é essencial. Contudo, desconsiderando momentaneamente a complexidade inerente ao processo de amplificação proposto por Simondon e pensando em termos de função sistêmica, uma possível interpretação deste processo está em considerar as duas primeiras amplificações enquanto sistemas de retroalimentação positiva e malha aberta acoplados, respectivamente, e a última como sendo a própria emergência do processo de auto-organização tendendo à estabilidade, portanto, um sistema de retroalimentação negativa de longo prazo. Tal interpretação tem sido elucidativa para a elaboração do modelo de ecossistema audível no Estudo Ecos, como veremos a seguir. Não obstante, a título de conclusão, o debate teórico em torno do conceito de metaestabilidade expõe um quadro de processos interdependentes permeados por estruturas emergentes, sendo as correlações de longo prazo e o processo de individuação, em si, emergências.

3.7 A RETROALIMENTAÇÃO COMO GERADORA DE CONDIÇÃO METAESTÁVEL

Discorreremos até aqui na tentativa de delinear o entorno do conceito de emergências, buscando uma base teórica para entendê-las no contexto do ecossistema audível. Procuraremos agora mostrar como a estrutura conceitual exposta acima aparece na emergência do ecossistema, nos fornecendo a base estrutural para implementação das estratégias de controle que veremos no capítulo 6. Para tanto, abordaremos neste capítulo a composição básica do sistema do Estudo Ecos e o processo de formação das estruturas sonoras.

Figura 3.3 – Laços de retroalimentação acústica-digital



Fonte: o autor.

Consideremos um sistema cujos componentes estão dispostos como na Figura 3.3, que ilustra laços de retroalimentação no ambiente acústico gerando possíveis topologias de retroalimentação⁵⁴. É importante ressaltar que a propagação da onda sonora através dos laços é complexa e não pode ser pensada apenas como um resultado do som direto e dos reflexos primários que atingem o microfone. No entanto, isso nos ajuda a pensar na organização dos alto-falantes e microfones na sala, ajustando-os empiricamente. No trecho digital da trajetória sonora, e entre microfones e alto-falantes existe apenas um sistema regulador, implementado em software⁵⁵. Nenhum som é emitido pelo sistema digital. Em um primeiro instante, ao abrir os canais de entrada e saída, cria-se um canal de comunicação entre ambiente digital e acústico. Ao estabelecer o controle dos níveis dos sinais a um ponto crítico⁵⁶, cria-se um laço que institui um canal de comunicação entre os ambientes acústico e digital, sendo o ponto de partida do ecossistema audível⁵⁷. As flutuações acústicas são a verdadeira *matéria* do ecossistema, já portadora de energia potencial presente, por exemplo, nos modos acústicos e reverberação. É importante notar que estas propriedades não dependem da existência do campo metaestável, ou

⁵⁴ *Topologia de retroalimentação* refere-se às relações profundas que envolvem a formação do espectro audível. É um termo-chave para esta pesquisa, e será conceituado e exemplificado ao longo do texto até o capítulo 6.1, uma vez que o debate sobre a estrutura do ecossistema emergente é substancial para seu entendimento.

⁵⁵ Ver capítulo 4.5

⁵⁶ O ponto crítico é dependente de inúmeras condições dos componentes do sistema. Ver capítulo 4.

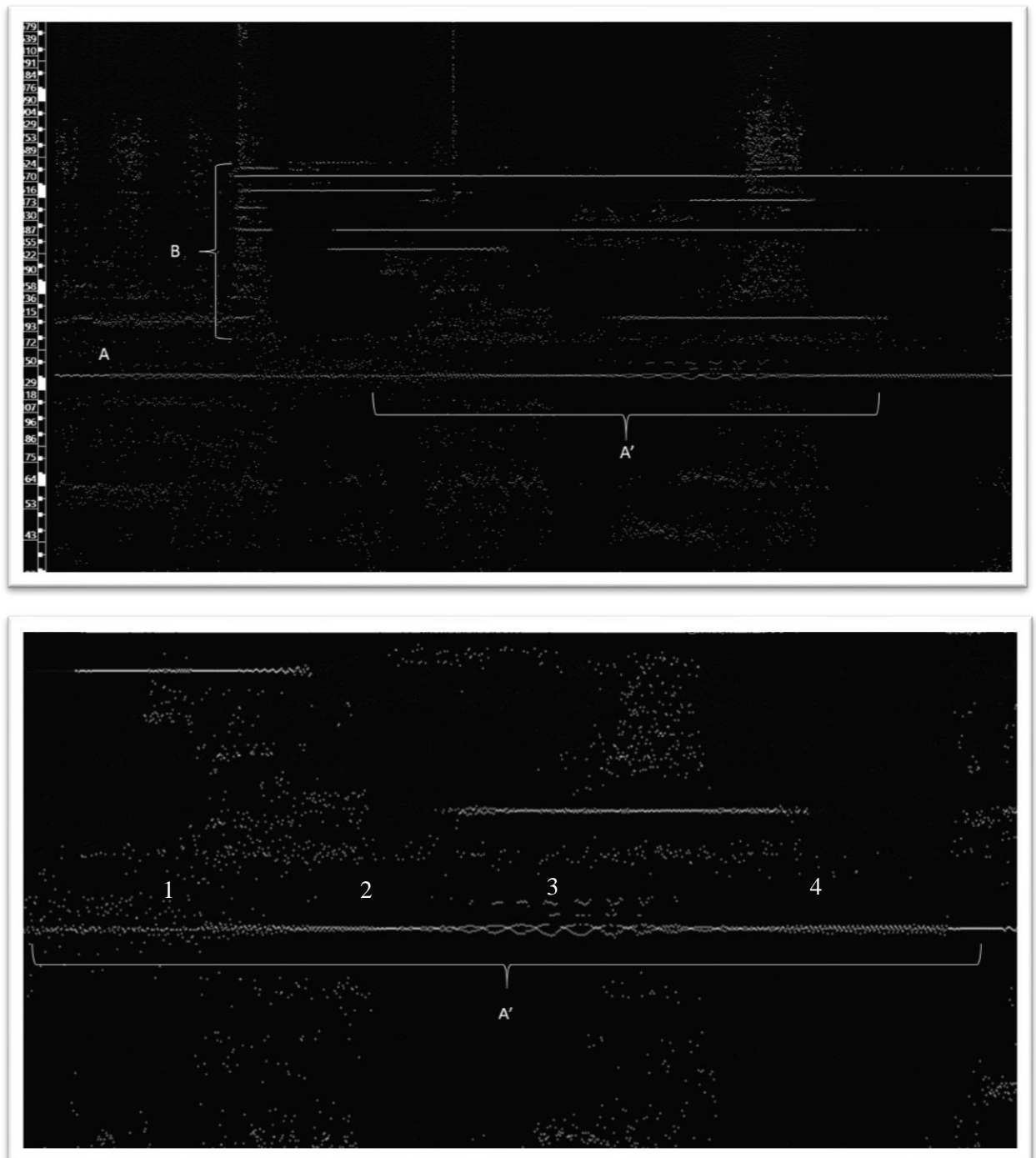
⁵⁷ Iniciando também a diferenciação entre estrutura do sistema e estrutura do ecossistema enquanto emergência. Ver capítulo 3.2.

seja, trata-se de um campo energético existente antes do acoplamento das dinâmicas, assim como defende Simondon (2020b, p. 285). A informação incidente é dada no momento em que o alto-falante emite a informação acústica imediatamente captada pelo microfone em potência suficiente para ser retroalimentada, sendo que a *tensão da informação* é justamente a configuração do laço formando uma *topologia de retroalimentação* que, após estabelecida, funcionará como *parte do molde*. Em um dado nível de energia⁵⁸ suficiente para se estabelecer o laço, mas insuficiente para sustentar uma sonoridade em um âmbito de frequência estável, nota-se o estado de metaestabilidade em seu momento mais dinâmico, em que o ecossistema faz *escolhas* buscando por novos pontos de equilíbrio, como podemos ver na Figura 3.4. Embora as relações sejam mais profundas, é possível visualizar no espectro das estruturas audíveis diferentes movimentos e tensões muito característicos da condição metaestável. Nesse sentido, a continuidade do sinal retroalimentado é responsável por colocar os componentes em condição de *metaestabilidade*, tornando-os sensíveis uns aos outros. Tal sensibilidade é generalizada. Qualidades que antes eram irrelevantes, tornam-se críticas⁵⁹.

A amplificação do germe estrutural, entendido aqui como a topologia de retroalimentação, dá lugar às frequências ressonantes. A emergência da topologia de retroalimentação é justamente a instituição de uma *ressonância interna*; de um acoplamento das dinâmicas entre as flutuações acústicas provocadas pela vibração do alto-falante com as dinâmicas de frequências presentes nas flutuações naturais da acústica da sala. Devido a instituição de uma causação circular em decorrência da retroalimentação, frequências de múltiplas fontes interagem, reforçando-se ou atenuando-se, sendo que os parciais harmônicos gerados provêm de inúmeros acoplamentos dinâmicos.

⁵⁸ Dentro dos ecossistemas audíveis, podemos entender que a noção de energia está atrelada às relações entre a estrutura de ganhos e as dimensões físicas da sala.

⁵⁹ Ver Apêndice B.

Figura 3.4 – Exemplo de um estado de equilíbrio metaestável⁶⁰

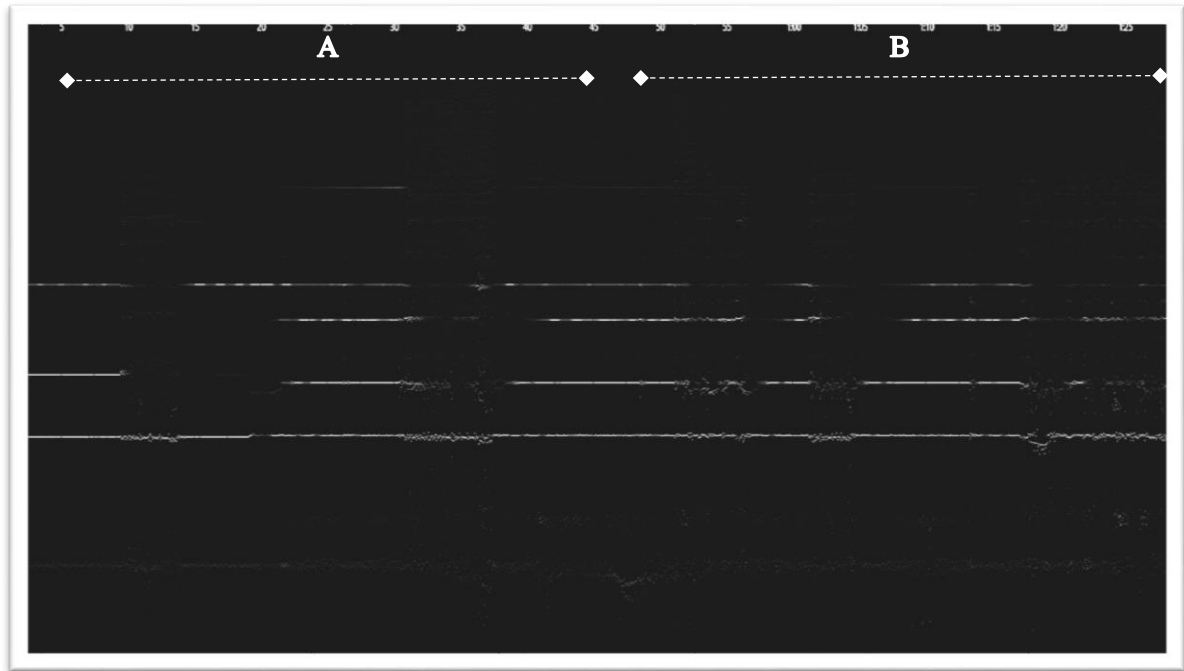
Fonte: o autor. Sonograma de pico de frequências representando um momento em que o ecossistema audível se encontra em estado de equilíbrio metaestável e as frequências surgem das *escolhas* dentre possíveis pontos de equilíbrio. Na parte superior, nota-se em *A* as flutuações ao longo do processo de estabilização das frequências. Em *A'* sublinhamos uma oscilação crescente que surge como uma bolha – uma emergência em si –, e logo após retorna para o eixo de estabilidade. Em *B* podemos notar a emergência de frequências de menor duração, que não conseguem se manter constantes, em contraposição às ressonâncias mais fortes, que conseguem resistir por mais tempo. Na parte inferior, uma aproximação para melhor visualização da estrutura de *A'*, na qual é possível notar variações da estrutura do harmônico, em momentos assinalados por 1, 2, 3 e 4, em direção à estabilização. É importante notar que, como veremos no capítulo 6, conseguimos alcançar estados de metaestabilidade com diferentes configurações de sistema.

⁶⁰ Ver lista de vídeos (THOMASI, 2022)

A noção de amplificação segundo Simondon pode ser elucidativa, se aplicada a este caso. A *amplificação transdutiva*, operação positiva, estaria operando no próprio laço, transformando a energia ao longo dos sistemas de diferentes naturezas: onda mecânica → sinal analógico → informação digital⁶¹. Em acordo com Simondon, “é essa transferência gradual, alimentada energeticamente pela mudança de estado no próprio local onde se produz a transformação” (SIMONDON, 2020b, p. 286). Assim, a ideia de laço indica continuidade, ao contrário de outras situações em que significa simples recursividade. Vale notar que, na constituição do laço, observa-se que o sinal que atravessa o sistema digital torna-se sensível aos fluxos de dados que antes eram irrelevantes – advindos de processamentos paralelos, por exemplo –, e insensível às condições que antes eram primordiais, como o tamanho do *buffer* de entrada e saída cujas diferenças são progressivamente superadas, mostrando que, pelo menos em uma análise superficial, a continuidade do laço se estabelece em relações reais⁶², como mostra a Figura 3.5. Em *A* os ruídos são gerados pelo toque no *mouse pad* do *laptop*. Vale notar que o mesmo não acontece usando dispositivos sem fio, o que corrobora com a ideia de que seja alguma irregularidade na superfície do *laptop*. Em *B* os ruídos foram gerados por um programa de captura de tela rodando em segundo plano. O nível de processamento do patch gira em torno de 25% a 30%. Mesmo sem adentrar em verificações específicas, é notável que a presença do ruído indica uma sensibilidade à fluxos de dados que não existe em outros contextos de uso deste mesmo software, mesmo com níveis de processamento mais altos.

⁶¹ Ver capítulo 4.6

⁶² Procuramos chamar a atenção para a condição singular da retroalimentação sonora em transgredir o meio digital. Na constituição de um laço restrito ao meio digital, a continuidade do sinal retroalimentado é emulada por uma sucessão de *frames*, em que o tamanho dos espaços, a periodicidade e a velocidade de processamento das informações contidas nestes espaços são parâmetros significativos. Ao passo que na retroalimentação acústica-digital, o tempo contínuo do meio acústico aparece como um contraste que sublinha a natureza dos fluxos de processamento digital e incorpora os espaços digitais – *frames* e intervalos entre *frames* – que não mais aparecem como contentores de informação, mas também como características de um meio que funciona como parte de um molde.

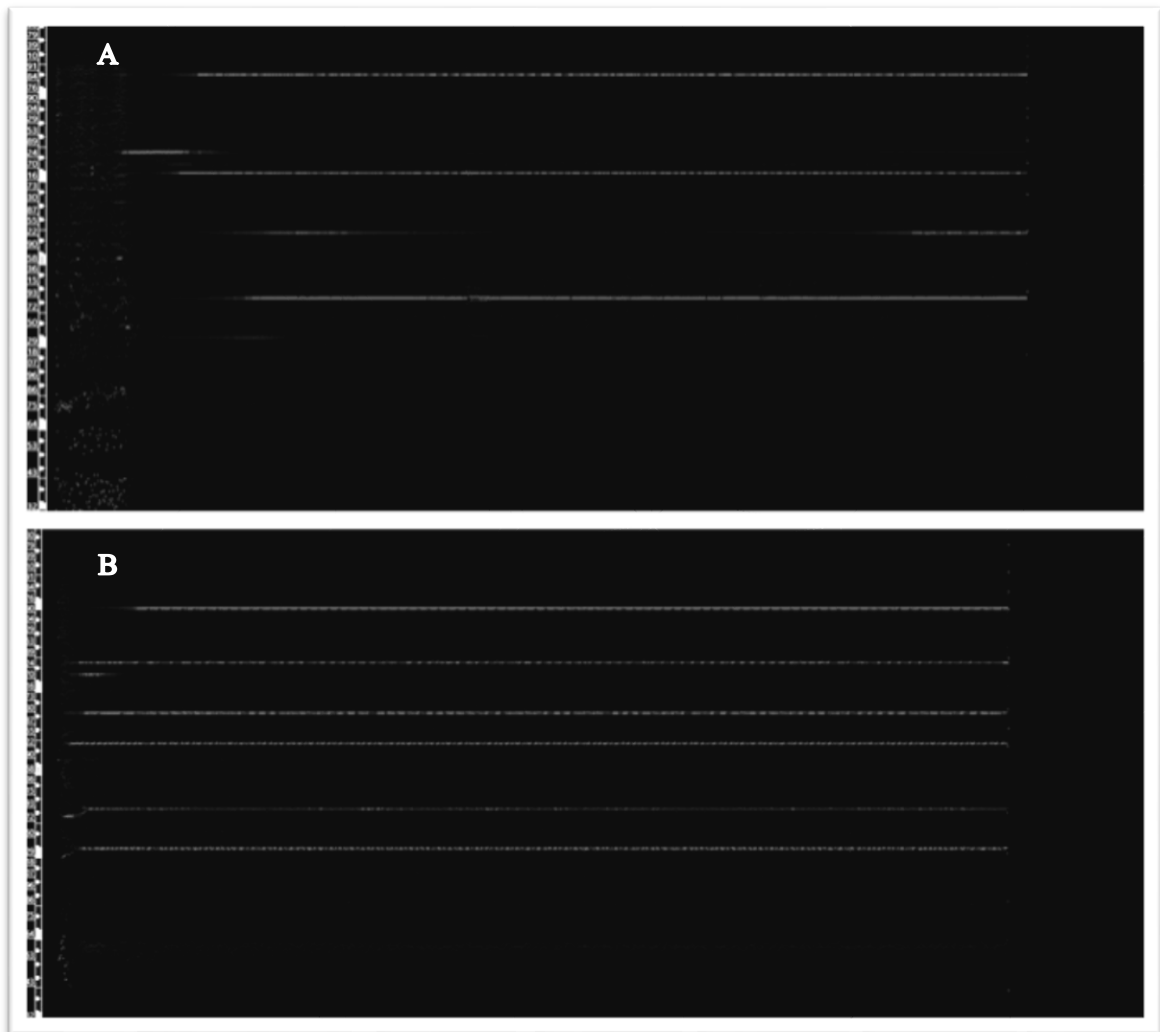
Figura 3.5 – Ruídos gerados por fluxo de dados paralelo⁶³

Fonte: o autor.

A *amplificação moduladora*, por sua vez, se conecta com a amplificação transdutiva em diferentes regiões do ecossistema. Entendemos como componentes moduladores as dimensões físicas da sala, nichos acústicos, disposição e qualidade dos microfones e alto-falantes, qualidade dos cabos, configuração de conversão analógica-digital e processos digitais. Assim, podemos pensar que, ao passo que o sinal retroalimentado se amplifica transdutivamente, na passagem pela membrana do microfone, por exemplo, certas frequências são atenuadas, reforçadas ou mesmo excitadas, como mostrado na Figura 3.6.

⁶³ Ver lista de vídeos (THOMASI, 2022).

Figura 3.6 – Comparativo entre espectros sonoros de diferentes microfones



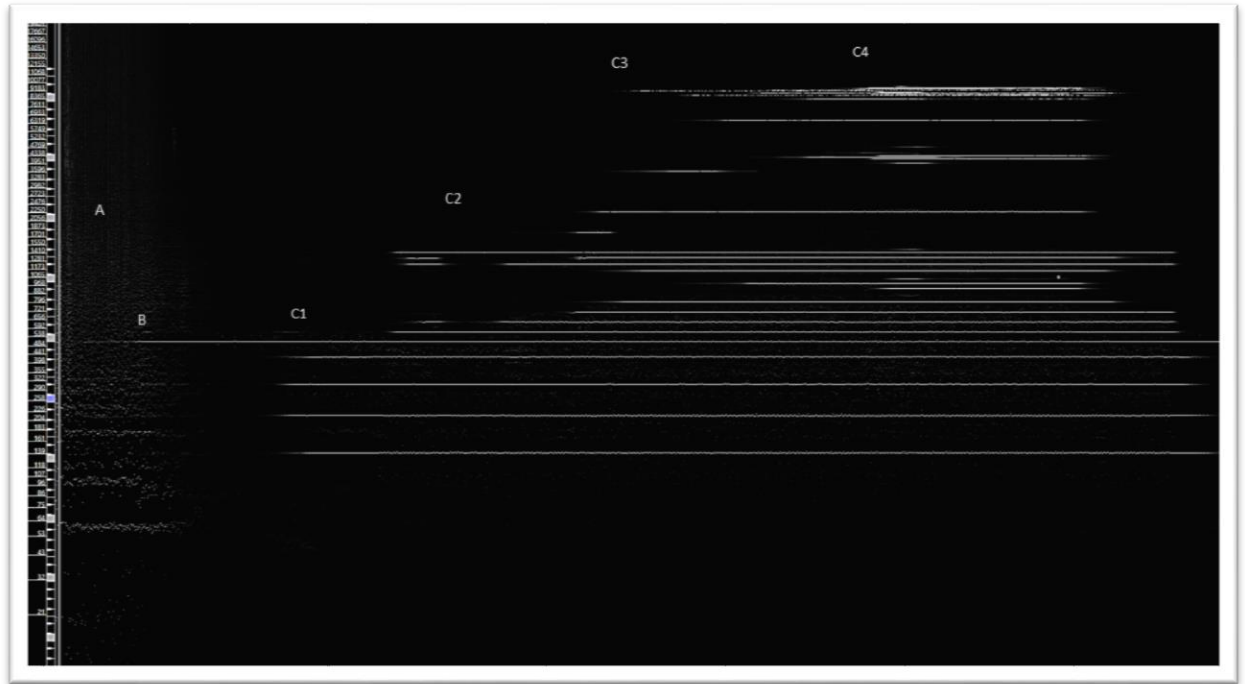
Fonte: o autor. Sonograma de pico de frequência comparando dois espectros gerados por dois microfones condensadores cardioides, A e B, diferentes em modelo e marca. As amostras foram captadas na mesma sala e nicho acústico e exatamente com a mesma configuração de sistema.

O mesmo ocorre com a mudança da topologia de retroalimentação, em que mudam também os agentes moduladores, como nichos acústicos, ondas estacionárias e reflexões: o espectro sonoro se reconfigura significativamente, mesmo mantendo a configuração inicial dos outros componentes do sistema⁶⁴. Desse modo, estabelece-se uma correlação direta entre amplificação transdutiva e moduladora, fazendo da *amplificação organizadora* a própria emergência das frequências sonoras e suas respectivas correlações. A figura 3.7 mostra o surgimento do primeiro parcial harmônico. Aumentando a energia do laço, conseguimos estabilizar a frequência fundamental. Assim, o sistema atinge um novo estado metaestável, estabelecendo novos potenciais. Ultrapassando o novo ponto crítico, surgem novos harmônicos,

⁶⁴ Ver Figura 6.2

superiores e inferiores, correlacionados com o primeiro. Nesse sentido, o primeiro harmônico gerado pelo laço é um componente *atrator*⁶⁵, e orienta as próximas evoluções estabelecendo novas correlações de ressonâncias com outras frequências, tanto originadas pelo laço como já presentes na sala.

Figura 3.7 – Expansão espectral por aumento de energia no laço de retroalimentação⁶⁶



Fonte: o autor. Sonograma de pico de frequência mostrando as formações espectrais à medida que a energia do laço de retroalimentação aumenta. *A* indica o ruído de fundo à esquerda, como partículas desordenadas. Neste nível, a estrutura de ganho dos microfones e alto-falantes é suficiente para manter o sistema em um primeiro estado metaestável, antes da formação do primeiro harmônico. *B*, o momento em que o primeiro harmônico começa a se formar, aparecendo também como uma nova fonte de ordem. Vale notar que, na imagem, as diferenças entre ruídos de fundo (*A*) e harmônicos ressonantes devem-se ao algoritmo escolhido para geração do sonograma, que interpreta regiões de frequência de maior persistência quando comparadas às regiões vizinhas (CANNAM, 2020). Assim, podemos deduzir que a grande quantidade de ruídos em *A* deve-se à incapacidade do algoritmo em estabelecer uma região com uma frequência mais persistente, ao passo que após a formação do harmônico (*B*), o algoritmo privilegia as formações estáveis às instáveis, excluindo da imagem o ruído de fundo.

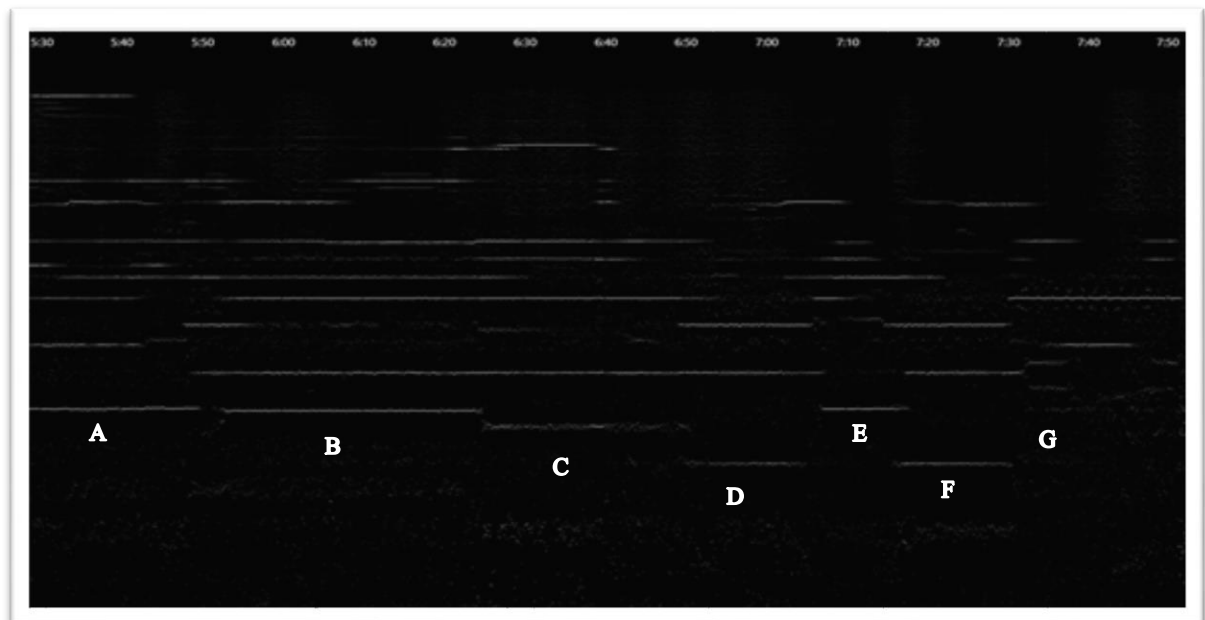
Todavia, mesmo considerando a coexistência entre ruído de fundo e harmônicos ressonantes, podemos interpretar o movimento convergente da desordem de *A* para a ordem em *B* como um movimento real comprovado pela organização do espectro sonoro a partir do primeiro harmônico gerado, formando o que estamos chamando de topologias de retroalimentação. *C* indica o desdobramento espectral através do aumento da energia do laço de retroalimentação. *C1* mostra o surgimento de frequências em bandas inferiores. Como veremos em outros sonogramas, o surgimento de harmônicos acima ou abaixo do harmônico fundamental é uma qualidade da topologia de retroalimentação em específico. *C2* aponta para um aumento de energia de modo que outros harmônicos aparecem e tentam se estabilizar. *C3* indica um momento de maior energia do laço, mostrando saturação harmônica, e *C4* a formação de clusters.

⁶⁵ Segundo Mitchell, um componente “é chamado de atrator uma vez que qualquer condição inicial será, eventualmente, atraída por ele” (MITCHELL, 2009, p. 30).

⁶⁶ Ver lista de vídeos (THOMASI, 2022).

Cada passagem de estado é um *ponto de bifurcação*, sendo que na Figura 3.7 podemos visualizar um histórico de estados em função do aumento de ganho ou energia. Por exemplo, retomando valores anteriores do parâmetro de ganho, o sistema tenderá a produzir as mesmas estruturas de antes, porém, com prováveis variações, pois cada mudança no parâmetro corresponde a um novo *processo de auto-organização*: os acoplamentos dinâmicos se desfazem e o ecossistema começa um novo processo de escolhas de possíveis pontos de estabilidade. Como as condições energéticas, topológicas e materiais do sistema permanecem praticamente inalteradas, como por exemplo, as dimensões da sala, as condições dos equipamentos e a topologia de retroalimentação, transitar pelo histórico de bifurcações é um processo viável para performance, como mostrado na Figura 3.8, cujas diferentes formações espectrais são provocadas por mudanças nas topologias de retroalimentação⁶⁷. Nesse sentido é que grande parte do nosso esforço está em estudar as estruturas emergentes que aparecem no âmbito da organização de frequências no espectro sonoro, colocando o foco sobre: *a) os padrões de dinâmicas que surgem do processo de auto-organização e b) sobre a criação de condições de metaestabilidade e componentes atratores* como um território frutífero para se estabelecer controle indireto e pontos de acesso às estruturas emergentes.

Figura 3.8 – Configurações espectrais formadas por diferentes topologias de retroalimentação⁶⁸



Fonte: o autor. É possível observar no sonograma diferentes configurações espectrais referentes ao que estamos chamando de topologias de retroalimentação, indicadas por A até G, e respectivas dinâmicas estruturais, como veremos nos capítulos 5 e 6.

⁶⁷ Ver capítulo 6.1

⁶⁸ Ver lista de vídeos (THOMASI, 2022).

4 A ESTRUTURA DO ECOSSISTEMA AUDÍVEL NO ESTUDO ECOS

4.1 ECOSSISTEMAS E ECOSSISTÊMICOS

Agostino Di Scipio, em seu emblemático artigo *Sound is the interface: from interactive to ecosystemic signal processing* (DI SCIPIO, 2003), apresenta uma perspectiva ecossistêmica sobre processamento de sinais através de seu trabalho *Interface Ecossistêmica Audível*⁶⁹. Recentemente, o autor enfatizou: “gostaria de me referir a algumas das estratégias de criação sonora envolvidas numa série de obras que tenho composto e revisado repetidamente ao longo dos últimos vinte anos, intituladas *Ecossistêmicos Audíveis*” (DI SCIPIO, 2022, grifo nosso). Segundo Di Scipio, o termo *ecossistêmico* é referente à teoria da cibernética, que estuda sistemas que utilizam processos de retroação como mecanismo de autorregulação e/ou organização. E, em uma visão ampliada, faz correlações com organismos vivos, baseado nas obras de Maturana e Varela, Von Foerster e Edgar Morin (DI SCIPIO, 2003), uma vez que os Ecossistêmicos Audíveis são sistemas abertos ao meio acústico. Meric e Solomos (2009, 2014), por sua vez, referem-se ao trabalho de Di Scipio como *Ecossistemas*, enfatizando, em suas análises, o caráter das emergências, da escuta, das relações com espaço e evolução das sonoridades, enquanto obra musical que desafia os paradigmas de obra comumente aceitos na música eletroacústica. Assim, os autores têm evidenciado, ao que parece, um debate em torno da noção de *ecossistema de performance* – em consonância com autores como Green (2014), Impett (2011), Keller e Lazzarini (2017), Waters (2007), para citar alguns.

Embora os termos possam ter sido usados como sinônimos ao longo da bibliografia, e que em grande parte a distinção entre eles é, de fato, irrelevante, este não é o caso no Estudo Ecos. Ao passo que o enfoque original, de Di Scipio, é o controle de sinais digitais e a produção de estruturas de segunda ordem, em nosso trabalho, o enfoque são *estratégias de controle de estruturas emergentes* – obviamente, por meio de uma noção ampliada de controle –, diferenciando-se por distinguir a estrutura do sistema, em que os sinais digitais fazem parte, da estrutura emergente, que abordaremos por meio de instabilidades e topologias de retroalimentação. Portanto, em nossa proposta, a estrutura do sistema emergente é delineada tal qual a um *ecossistema*: diferentes naturezas, organismos e comunidades, com os seus ambientes físicos e químicos, partilhando o mesmo lugar através de fluxos contínuos de matéria e energia num sistema interativo aberto (RAFFAELLI; FRID, 2010). Esta abordagem metodológica se

⁶⁹ Audible Eco-Systemic Interface

aproxima de uma *eco-acústica*, procurando entender os modos de organização de um ecossistema por meio dos sons que ele produz (FARINA; REID, 2020).

É nesse sentido que se considera que a estrutura do ecossistema audível é aberta, assim como sua organização, diferente de Di Scipio que, em sua proposta, por estar concentrado nos processos de controle de sinais digitais via retroalimentação, considera o sistema como sendo estruturalmente fechado e organizacionalmente aberto (DI SCIPIO, 2003, p. 275). Do mesmo modo, não podemos considerar apenas as instabilidades das sonoridades emergentes, procurando “o que se move dentro daquilo que estamos a ouvir” (MERIC; SOLOMOS, 2014, p. 16), porque os acontecimentos no domínio acústico são apenas uma parte da *estrutura relacional*; são resultados de processos irreversíveis que carregam traços de operações que ocorrem em diferentes níveis e domínios. Ainda, a estrutura do ecossistema audível não pode ser reduzida ao algoritmo digital nem ao espaço físico da sala ou ao timbre do microfone e dos alto-falantes; a estrutura acontece antes e através das interações. A estrutura relacional que sustenta o ecossistema audível no Estudo Ecos *devém* de uma condição de metaestabilidade: a estrutura é uma emergência e, portanto, é irreduzível. Nesse sentido, surge a diretriz-base para estabelecimento de controles para performance com os ecossistemas audíveis: ao alterar a *qualidade das interações*, pode-se alterar o comportamento do sistema, porém, mantendo suas características essenciais. Sob o prisma das emergências, as relações tornam-se a nossa principal interface operacional.

O termo *audível*, por sua vez, faz referência não somente aos processos de controle de sinais que tornam-se audíveis, mas principalmente, aos padrões de emergências que são estudados no âmbito do espectro audível, em contraposição a outras metodologias experimentais que fornecem resultados visíveis – e palpáveis –, como as células de Bénard e as figuras de Chladni, por exemplo. Assim, como consequência, na metodologia proposta no capítulo 5, a escuta exerce um papel fundamental de análise e delineamento com base em padrões de instabilidades.

4.2 INTERAÇÕES E INTERDEPENDÊNCIAS

Embora a ideia relacional percorra parte considerável das poéticas contemporâneas (BOURRIAUD, 2009; SALLES, 1998), além dos paradigmas baseados em teorias de emergências (SOLOMOS, 2013; VAGGIONE, 2008), o modelo dos ecossistemas audíveis adquire questões particulares, mostrando que uma visão genérica sobre as relações não é

suficiente. Assim, estamos diante da noção de *composição de interações*, como definiu Di Scipio (2003, p. 270), mas questionando quais tipos de interações? Em quais condições elas são possíveis? E, principalmente, como tal estrutura interativa aparece ou funciona no ecossistema audível? Dito de outro modo, é necessária uma visão mais profunda que considere *as qualidades das interações* que envolvem os componentes do sistema, por três razões. Em primeiro lugar, pois a maioria dos componentes não opta por interagir. A interação é um comportamento que surge de uma condição especial do sistema, de metaestabilidade, cujas trocas entre os componentes é a própria operação de tomada de forma da qual emerge o ecossistema⁷⁰. Em segundo lugar, como observa Bar-Yam, nem toda interação pressupõe interdependência (BAR-YAM, 1997, p. 12). Por exemplo, ao passo que para o sistema digital o laço de retroalimentação com o meio acústico é vital para os processos de autorregulação e de produção sonora, criando assim, uma relação interativa e interdependente da qual emergem os sons, o meio acústico, que compreende as flutuações acústicas, as ondas estacionárias e o tempo de reverberação da sala, embora interaja quando em condição metaestável, é independente do sistema. Em terceiro lugar, somam-se ao ecossistema componentes de maior autonomia, como o artista que estará interagindo por meio de ferramentas mais ou menos apropriadas, o público que estará interagindo de forma mais ou menos intencional, e eventos provocados por inúmeros componentes que sequer têm consciência da sua influência sobre o ecossistema audível: participantes cotidianos da vida urbana e organização social local, produtores de poluição sonora, movimentos diversos, máquinas, automatismos e internet das coisas. Contudo, a abertura proposta pelo modelo dos ecossistemas audíveis, conectando sistemas artificiais com o mundo vivo através do meio acústico, sublinha relações que são objetos de estudos muito mais amplos que o próprio ecossistema; relações de uma arte que se deixa permear pelos espaços físicos, individuais, políticos e sociais, lidando com altos níveis de emergências (KELLER, 2000; LA BELLE, 2010; LICHT, 2009; WATERS, 2009).

4.3 O PROBLEMA DO ESCOPO AO LIDAR COM EMERGÊNCIAS

Adentrar o estudo da emergência em uma perspectiva relacional torna a descrição nível-por-nível ou a segmentação parte-por-parte da estrutura do sistema uma tarefa quase impossível. Jochen Fromm (2005) aponta para a necessidade de um novo modelo taxonômico para o fenômeno de emergências diante da dificuldade de se estabelecer descrições formais,

⁷⁰ Ver capítulo 3.5

uma vez que as verdadeiras propriedades emergentes são irreduzíveis e não podem ser decompostas. As interações específicas das quais surgem as emergências criam *camadas intermediárias de relacionamentos complexos*, nas quais os aspectos causais se tornam menos explícitos. Nesse sentido, as emergências são vistas como um paradoxo: embora dependam do sistema para emergir, são autônomas e independentes do sistema. De acordo com Fromm,

Os paradoxos aparecem, principalmente, porque somos capazes de ver apenas parte do sistema complexo; consideramos o nível microscópico ou macroscópico, mas não os dois ao mesmo tempo. Ou, olhamos apenas para o sistema ou para o meio, mas não para os dois. Portanto, é difícil entender um sistema complexo com vários níveis e escalas (FROMM, 2005, p. 2, tradução nossa).

Uma vez que a estrutura emergente está vinculada a um processo de ordenação, os níveis hierárquicos dependem também da perspectiva do observador, transformando a tarefa descritiva num problema de escopo e resolução⁷¹. Como observa Bar-Yam, “é importante reconhecer que as propriedades que frequentemente associamos às partes são, na realidade, propriedades relacionais e, portanto, são propriedades do sistema e não das partes” (BAR-YAM, 2004, p. 17). Por esta razão, antes de tudo, é importante distinguir o escopo sob o qual o fenômeno emergente será analisado para evitar a frequente imprecisão conceitual em que cada suposta novidade ou cada processo organizacional é uma emergência.

Jochen Fromm (2005) propõe um modelo de classificação de propriedades emergentes baseado em diferentes tipos de processos de retroalimentação (*feedback*)⁷² e estruturas causais, considerando quatro tipos de emergências – como apresentado na Tabela 4.1. Primeiro, *a emergência simples*, sem retorno descendente, e que pode ser intencional ou não-intencional. Segundo, *a emergência fraca*, que inclui retorno descendente e que pode ser estável ou instável.

⁷¹ Resolução no sentido da fotografia, como ao utilizar o zoom digital para focalizar apenas uma parte da imagem registrada, definindo, assim, um escopo e uma qualidade que depende, por exemplo, da quantidade de pixels presentes na digitalização: sua resolução.

⁷² A título de esclarecimento, os termos *retorno* ou *retroalimentação* também referem-se aos movimentos estruturais que podem ser *descendentes*, propagação de informação do todo para as partes, e *ascendentes*, das partes para o todo. É ligeiramente diferente do sentido que vimos no capítulo 2, que refere-se ao retorno de informação para o sistema, no qual, em termos gerais, a retroalimentação negativa representa uma autorregulação, enquanto a retroalimentação positiva representa um crescimento indefinido. A diferença se dá apenas pela aplicação do conceito de retroalimentação em contextos diferentes – estruturas emergentes e sistemas, respectivamente –, e pode-se gerar confusão uma vez que ambos são complementares. Ou seja, as relações entre partes ou componentes mais simples podem exibir autorregulação sem que estejam relacionados, necessariamente, com a estrutura partes-todo. Assim, por exemplo, poderíamos dizer que um movimento descendente de retroalimentação negativa, – ou uma retroalimentação negativa descendente –, significa que uma informação vinda do todo em direção às partes possui uma função reguladora. Fazemos esta distinção para frisar que, ao falarmos de retroalimentação, não nos referimos a um sistema cujas partes regulam o todo ou no qual o todo regula as partes. Do ponto de vista estrutural das emergências, a retroalimentação indica uma sensibilidade das partes ao todo e vice-versa, uma vez que as relações reguladoras estão distribuídas ao longo da estrutura.

Terceiro, *a emergência com múltiplos retornos*, geralmente com retroalimentação positiva de curto alcance e retroalimentação negativa de longo alcance, sendo capaz de gerar uma emergência adaptativa⁷³, que possui algum nível de aprendizagem. O quarto e mais raro, *a emergência forte e multinível*, que atravessa a linha da relevância, gerando um mundo completamente novo, com interações, regras e propriedades independentes, como a emergência de uma nova vida ou de uma cultura.

Tabela 4.1 - Resumo da taxonomia de emergência de Fromm (2005).

Tipo	Nome	Caráter da emergência	Limites de interação	Tipo de retroalimentação	Salto estruturais-organizacionais	Analogias comuns
1	Emergência simples	(1a) Intencional	Agente→sistema (uma direção apenas)	Sem retroalimentação, apenas comandos absolutos ou restrições	Estático, sem saltos	Propagação de onda; efeito dominó
		(1b) Não-intencional	Agente→agente	Relações causais ascendentes (ponto-a-ponto)	Flutuações. Sem saltos para níveis significantes.	
2	Emergência fraca	(2a) Estável	(Ações diretas) agente↔ agente;	multinível descendente; retroalimentação negativa	Saltos dinâmicos para altos níveis	↓
		(2b) Instável	(Ações indiretas) agente↔meio	multinível, prevalecendo retroalimentação positiva		
3	Múltiplas emergências	(3a) Múltiplas retroalimentações	Agente↔grupo ou agente↔sistema	Multinível descendente, com retroalimentação positiva e negativa	Saltos dinâmicos para altos níveis	
		(3b) Emergências adaptativas	Barreiras de adaptação em sistemas evolucionários	Múltiplos feedbacks no sistema	Saltos quânticos em sistemas complexos adaptativos	
4	Emergência forte	Indenpendência das macroestruturas	Cruza a barreira de relevância	Todos acima, incluindo retroalimentação entre diferentes sistemas	Abertura para evolução de um novo sistema	Emergência da vida; cultura

Fonte: o autor. A taxonomia de Fromm funciona como uma organologia do ecossistema audível, indicando possibilidades de evoluir para novos níveis de estruturas emergentes devido à complexidade do sistema.

No Estudo Ecos, a taxonomia de emergências de Fromm funciona como uma *organologia do ecossistema audível*. Em primeiro lugar, por delinear o perfil da emergência fraca, ajudando-nos, assim, a definir o âmbito da metodologia experimental abaixo do limiar cultural, que pertence aos tipos de emergências mais fortes. Este posicionamento é pertinente, uma vez que no ecossistema audível não estamos observando o fenômeno emergente a partir do exterior, como quando se analisa um organismo vivo ou uma modelagem computacional. Pelo contrário, somos parte do campo operativo do sistema. Isto nos leva a cruzar, naturalmente,

⁷³ Fromm identifica como emergências adaptativas aquelas que exibem ou desenvolvem algum nível de aprendizado em médio ou longo prazo, geralmente atreladas à sistemas complexos adaptativos (FROMM, 2005, p. 16).

os quatro tipos de emergências, por exemplo, ao tomar as estruturas sonoras emergentes por um determinado discurso musical: por estar vinculado a produção cultural e processos cognitivos mais complexos como criatividade e interpretação, saltamos do nível fraco para o nível mais forte, aumentando indefinidamente a complexidade de análise – que, como vimos anteriormente, implicaria em uma grande dificuldade em delinear as estruturas de causas e outros processos correlacionados com a emergência. Assim, restringindo o escopo de observação, podemos nos concentrar em relações mais básicas durante a modelagem do sistema, como as dinâmicas dos espectros sonoros emergentes.

Em segundo lugar, a taxonomia de Fromm lança luz sobre o fenômeno emergente por suas correlações de causas, *integrando* níveis micro e macroestruturais. Segundo Fromm,

Precisamos apenas encontrar e revelar as conexões causais ocultas. A fim de compreender os fenômenos em geral, é possível começar com uma taxonomia grosseira e genérica. Podemos criar uma classificação de acordo com diferentes tipos de retroalimentação e relações causais (FROMM, 2005b, p.2, tradução nossa).

A categorização por processos de retroalimentação nos permite imaginar que tipos de emergência o sistema poderá produzir e que tipos não, mesmo considerando a complexidade gerada pela não-linearidade e assimetria causal. Nesse sentido, acreditamos que parte dos conflitos que rondam o uso funcional das emergências cessam no momento em que categorizamos e delimitamos o escopo de observação – como apontamos no capítulo 3, *qual a função das emergências em um dado sistema?* No Estudo Ecos, nos limitamos aos Tipos 1, 2 e 3a, sendo que grande parte se concentra em emergências do Tipo 2.

4.4. A TAXONOMIA DE EMERGÊNCIAS DE FROMM

Nos parágrafos seguintes, iremos rever brevemente a taxonomia de emergências proposta por Jochen Fromm para fins ilustrativos, resumida na Tabela 4.1, apresentando possíveis exemplos de situações comuns no campo musical – no caso de serem considerados sistemas em si. Acreditamos que uma análise simples é suficiente para sublinhar a complexidade das tipologias, suas limitações, e como a taxonomia proposta por Fromm pode ajudar a delinear modelos para a performance musical em uma perspectiva ecossistêmica, como mencionado no capítulo 2.

O Tipo 1a refere-se a um sistema cujas partes são passivas e pré-programadas e que não interagem umas com as outras, uma vez que não há qualquer retroalimentação. Não há uma

emergência *per se*. O que existe são reações em cadeia. Por exemplo, no sistema de um relógio, cada peça do mecanismo desempenha uma função e, passo a passo, em movimentos sincronizados, o tempo é periodicamente contado à medida que o ponteiro do relógio se move. No entanto, nenhuma das partes está consciente do tempo, minutos ou horas. Se o mesmo sistema for utilizado em um brinquedo, as peças se comportarão da mesma maneira. Além disso, se algumas peças forem retiradas, as outras peças continuarão a funcionar da mesma forma para a qual foram programadas na origem. O mesmo acontece com instrumentos digitais mais comuns ou softwares multipista: nos permitem fazer música porque podemos lidar com suas regras pré-programadas, prevendo certos resultados. Em outras palavras, o seu comportamento é sempre o mesmo até que algo ou alguém altere a sua configuração. É por isso que o Tipo 1a é chamado de *emergência intencional*; não forma um sistema complexo por si só.

Por outro lado, o *Tipo 1b*, não-intencional, exhibe uma relação de dependência entre elementos do nível microestrutural gerada pelas propriedades locais de uma retroalimentação. Existe apenas uma relação direta de movimento ascendente, ponto a ponto, como dominós, avalanches e propagação de ondas. Contudo, estas relações simples podem agregar complexidade e dinâmicas que levam o sistema para estados de instabilidade, obrigando-o a se reorganizar. Podemos também ver este tipo de emergência em alguns casos de música mista cuja parte eletrônica é fixada em suporte⁷⁴, onde os sons eletrônicos são percebidos como extensões dos gestos instrumentais e vice-versa (SIGAL, 2014). Nesses casos, a parte eletrônica, enquanto sistema em si, não pode mudar o seu estado ou se adaptar. Porém, pode desencadear alguma transformação pré-programada ou evoluir através de processos cumulativos *externos à mídia* na qual já está inscrita, tais como efeitos áudio comuns de linhas de atraso e reverberações, por exemplo. Os desencadeamentos são sempre transformações de movimento ascendente, uma vez que a parte da eletrônica que está fixada em suporte é insensível às estruturas emergentes que provoca, ou seja, não existe um movimento descendente do todo para as partes. Vale notar que a parte fixada em suporte não é emergência, a não ser enquanto estratificação do próprio processo de escritura na mídia, como na Micromontagem de Horacio Vaggione⁷⁵, assim como nem todas as sonoridades provocadas pelos processos que são

⁷⁴ Um tipo de mídia que suporta o registro sonoro; fonograma. Por exemplo, fita magnética, disco, codificações digitais como wav e mp3.

⁷⁵ Como mencionado anteriormente, se mudarmos a perspectiva e alargarmos o escopo do que estamos chamando por sistema, teremos relações mais complexas – e possivelmente, conseguiremos tipos de emergências mais fortes. Tomando como exemplo a música mista com suporte fixo, o que emerge como gestualidade musical é muito mais do que contrastes e semelhanças no timbre provocados por efeitos programados: as estruturas emergentes saltam para uma hierarquia de alto nível, se considerarmos os processos cognitivos. Por exemplo, o processo de

desencadeados podem ser consideradas emergências, a não ser enquanto propagação de onda em meio mecânico – som⁷⁶. Como veremos adiante no capítulo 5 e 6, o delineamento das estruturas emergentes, na perspectiva das emergências modeladas, requer uma abordagem mais cautelosa para que as implementações e as técnicas sejam beneficiadas pelo conceito de emergências.

O *Tipo 2*, emergência do tipo fraca, exhibe retorno descendente, do todo para as partes, além da causalidade ascendente, das partes para o todo, o que significa que as microestruturas também são sensíveis às estruturas resultantes superiores. De acordo com Fromm,

No nível microscópico do agente muitas entidades individuais ou agentes interagem localmente com os outros. Desta interação resultam padrões novos e geralmente imprevisíveis que aparecem no nível macro. No nível macroscópico do grupo ou do sistema como um todo, notamos padrões imprevisíveis, estruturas ou propriedades emergentes (FROMM, 2005, p.9).

Nesta categoria existem duas formas de interação: *interação direta*, em que os agentes interagem entre si, e *interação indireta*, em que os agentes interagem alterando o estado do ambiente. É importante notar que, enquanto o Tipo 1b prevê uma relação direta através do movimento de causação ascendente, evidenciando uma interdependência entre as microestruturas, nas emergências do Tipo 2 existem *interações*, que podem ou não estar relacionadas com interdependências, como vimos anteriormente. A partir destas interações, diretas e/ou indiretas, pode surgir uma *emergência fraca estável*, geralmente com retroalimentação negativa descendente que impõe restrições aos agentes; ou uma *emergência fraca instável*, caracterizada por retroalimentações positivas e pela ausência de autorregulação: o sistema evolui até entrar em colapso e, então, atinge um novo estado de ordem, como por exemplo, quebras de bolsas de valores e o efeito celebridade. Não obstante, existem misturas, pontos intermediários e transições entre estas quatro subcategorias. Interações diretas e indiretas podem coexistir sem, necessariamente, criar emergências instáveis. Assim,

estratificação apresentado por Horacio Vaggione, que através da gravação sonora, seleciona encontros específicos entre sons de instrumentos e sons eletrônicos. As estruturas sonoras resultantes da inscrição dos sinais na mídia – um processo irreversível – são emergências de ordem superior; são saliências (VAGGIONE, 2001). Neste caso, não consideramos como sistema apenas um canal de causalidade limitada, como um movimento de ataque-resposta, por exemplo. Ao contrário, existem múltiplos tipos de emergências agrupados, cada um deles com a sua própria evolução temporal – nas palavras de Simondon (2020a), com sua própria individuação. Estamos aqui, claramente, entrando na dimensão cultural e, devido à notável complexidade, seria muito difícil lidar objetivamente com o fenômeno sem generalizar em demasiado o conceito de emergência – correndo o risco de torná-lo vago. Daí a importância para o Estudo Ecos de manter o escopo experimental em estruturas emergentes de tipos mais fracos.

⁷⁶ No sentido das emergências essenciais, como mencionado no capítulo 2.3.

salientamos que existe um vasto gradiente de complexidade entre as possibilidades de emergências do Tipo 2.

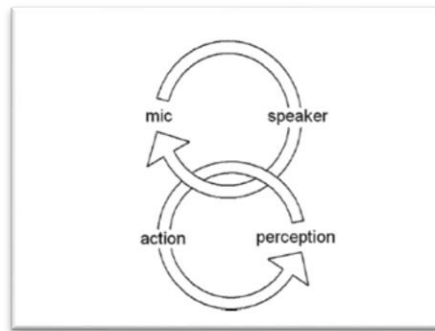
Nos sistemas musicais, o retorno descendente aparece em modelos auto-reguladores. Um exemplo simples, que não resulta em estruturas emergentes, é o compressor de áudio inserido em um ambiente fechado, como em um *software* multipista: em dada configuração, à medida que o sinal de entrada aumenta, a saída diminui. Em contraste, o controle de retroalimentação proposto pelos Ecosistêmicos Audíveis, de Agostino Di Scipio (2006), que possui uma estrutura semelhante, porém, em um sistema aberto e utilizando rastreadores de envelope⁷⁷ em dois microfones para autorregulação, resulta em um sistema altamente sensível a perturbações acústicas, onde as frequências sonoras aparecem como macroestruturas emergentes do processo de auto-organização. Neste caso, existem interações diretas entre as amplitudes do sinal de entrada e os próprios algoritmos – em parte, exibindo interações de Tipo 1b – e interações indiretas quando as flutuações acústicas e/ou o processamento do sinal digital alteram o estado interno do sistema. Neste sentido, qualquer evento, arbitrário ou aleatório, pode levar o sistema a se reconfigurar, gerando, portanto, relações complexas.

O *Tipo 3* refere-se a sistemas com múltiplas emergências devido a vários modelos de retroalimentação simultâneos. As relações entre retroalimentação positiva e negativa são semelhantes às do Tipo 2, mas inseridas em um contexto mais complexo, no qual o sistema pode ser capaz de aprender ou se reprogramar de acordo com análises de longo prazo. Considerando o exemplo da música mista discutido acima, a emergência saltaria do Tipo 1 para o Tipo 3 ao incluirmos a retroalimentação da relação ação-percepção do componente humano – ver Figura 4.1. Como observa Di Scipio,

Em um ciclo típico de 'ação-percepção', cada efeito torna-se uma causa, cada causa pode revelar uma série de efeitos causais a outros efeitos. Abre-se toda uma ecologia de ação (termo de Edgar Morin) no domínio específico, o que exige que os agentes atuem de forma responsável no presente, a fim de não prejudicar ações futuras (DI SCIPIO, 2014, p. 88)

⁷⁷ Dispositivo utilizado para detectar variações de amplitude, gerando um sinal de controle relacionado com estas variações.

Figura 4.1 – Laços de retroalimentação acoplados em *Modes of Interference*, de Agostino Di Scipio.



Fonte: Di Scipio (2010)

O *Tipo 3a* está relacionado com a *emergência por múltiplas retroalimentações* e é caracterizado por uma combinação de retroalimentação positiva de curto alcance e retroalimentação negativa de longo alcance. Por exemplo, a formação de padrões biológicos como as listras das zebras, que resultam da ativação – retroalimentação positiva – e inibição – retroalimentação negativa – das células que produzem pigmentação⁷⁸. Já o *Tipo 3b* é um nível mais elevado, que se refere a *emergência adaptativa* e evidencia propriedades de aprendizagem mais robustas. Por exemplo, a elaboração de uma nova teoria, em que os velhos paradigmas funcionam como barreiras que regulavam e restringiam o desenvolvimento de um pensamento específico. Ou ainda, as catástrofes ambientais que extinguem certas espécies obrigando outras a se adaptarem. Segundo Fromm, “cada barreira mental é como uma pequena catástrofe cognitiva, que resulta numa nova visão e numa avalanche de atividades neurais se um obstáculo for subitamente ultrapassado” (FROMM, 2005, p. 17). Neste sentido, podemos imaginar o próprio processo criativo como um ecossistema cheio de emergências adaptativas (MCCORMACK, 2007). Por fim, o *Tipo 4*, referente à emergência forte e superveniente, está relacionado com um vasto escopo que vai desde o desenvolvimento cultural ou social – como a emergência da cultura do áudio e a vertente de pensamento musical baseada em retroalimentação acústica – até à emergência da vida. Face à notável complexidade, a análise do Tipo 3b e do Tipo 4 está muito além da capacidade e do escopo do presente trabalho. Contudo, fica explícito que a abrangência de cada categoria abordada acima é vasta. Mesmo uma categoria de correlação causal mais simples merece uma análise e discriminação cuidadosa que pode ser feita apenas no contexto do sistema de análise em específico. Para trabalhos

⁷⁸ No Estudo Ecos temos explorado as propriedades de ativação-inibição e a complexidade agregada por múltiplas retroalimentações através da técnica de criação de planos de retroalimentação, como veremos no capítulo 6.

futuros, acreditamos ser necessário um maior detalhamento das tipologias que percorrem os Tipos 2 e 3a.

4.5 DA IMPLEMENTAÇÃO DO CONTROLE DE RETROALIMENTAÇÃO ACÚSTICA-DIGITAL

Existem questões analíticas e técnicas em torno da implementação do modelo Ecos que não podem ser pensadas separadamente. O quadro teórico elaborado no Capítulo 3 destaca a profundidade do pensamento estrutural na perspectiva ecossistêmica. O primeiro desafio foi elaborar um método de controle de retroalimentação sonora que considerasse a função das emergências enquanto propriedade comportamental e estrutural do ecossistema. O controle de retroalimentação sonora é a base do desenvolvimento deste estudo, bem como da implementação das estratégias de controle e do Instrumento Espacial como um todo. Após implementado um *patch*⁷⁹ de controle de maior estabilidade (THOMASI, 2021a) conseguimos traçar correlações teóricas mais objetivamente e, a partir daí, desenvolver a implementação de estratégias de controle pertinentes à natureza do ecossistema audível. Nesse sentido, recorremos, mais uma vez, à Teoria de Simondon para sublinhar a necessidade especial deste dispositivo de controle em lidar com as *formas implícitas*, ao invés de formas externas, impostas arbitrariamente. Segundo Simondon, “a operação técnica mais integra as formas implícitas do que impõe uma forma totalmente estranha e nova a uma matéria que permaneceria passiva diante dessa forma” (SIMONDON, 2020a, p. 67). Assim, a implementação de um controle de retroalimentação, enquanto *operador*, precisa considerar a matéria como um componente ativo, ou seja, ao mesmo tempo em que o operador impõe restrições, ele se adapta às nuances da matéria: ele é sensível às flutuações acústicas. Sem esta consideração, provavelmente estaríamos propondo controles e técnicas considerando o sinal de entrada como um sinal de um oscilador comum, em que técnicas habituais de síntese e modelagem sonora poderiam ser impostas, porém, transformando a matéria em um componente genérico e mantendo o pensamento linear de causa e efeito. Contudo, considerar o sinal de entrada do *patch* como a fonte sonora é ignorar toda a estrutura do ecossistema. O *patch* funciona apenas em contato contínuo com a sala por meio dos microfones e alto-falantes. A topologia da retroalimentação, que está em constante estado de individuação, é o que poderíamos chamar como a verdadeira

⁷⁹O modelo de controle de retroalimentação foi implementado em software MAX/MSP, um ambiente de programação voltado para modelagens na área da computação musical.

fonte sonora. Não obstante, durante o desenvolvimento e implementação do modelo de controle de retroalimentação tentamos evitar duas armadilhas comuns na área da música computacional. Primeiro, a de criar um sistema evolutivo ou auto-regulador que não seja capaz de se legitimar no sentido estético da experiência *per se*. Segundo, de criar um pacote de processamentos sonoro-digitais sem vínculo com um pensamento de estruturação musical que seja pertinente à sua natureza⁸⁰.

Parte significativa dos modelos de controle de retroalimentação acústica disponíveis são desenvolvidos para suprimir ou impedir a retroalimentação, como os que são pensados para uso em equipamentos de sonorização (HANSLER; SCHMIDT, 2004; TROXEL, 2005). Embora as técnicas utilizadas sejam próximas, o modelo Ecos segue para uma direção oposta. Primeiramente, e o mais óbvio, porque o ecossistema audível depende da *manutenção da retroalimentação positiva* para existir. Em segundo lugar, pois a sonoridade final que pretendemos explorar musicalmente é uma *emergência de todo o Instrumento Espacial*, ou seja, equipamentos, software e sala – e o que ela contém. Nesse sentido, o sinal que passa pelo *patch* de controle carrega apenas uma parte do que é ouvido, como mostra a Figura 4.2. Embora uma parte essencial do espectro de frequências permaneça, as dinâmicas audíveis – nuances e variações tonais localizadas – são, em sua maioria, *site specific*. Por um lado, essa característica nos dá liberdade para trabalhar com uma margem maior de qualidades de sinal digital, uma vez que não pensamos em transmissão de informação, mas em manutenção do ecossistema. Por outro, nos impede de utilizar técnicas comuns, uma vez que torna o sistema menos responsivo – ou a matéria mais passiva.

A este respeito, estabelecemos cinco diretrizes para a implementação do controle de retroalimentação que se estendem ao Instrumento Espacial como um todo. As três primeiras levam em conta o controle do sinal retroalimentado e o equipamento envolvido, enquanto as duas últimas estão mais relacionadas com questões de performance e relações com a estruturação musical, portanto, com a modelagem do Instrumento Espacial⁸¹. São elas:

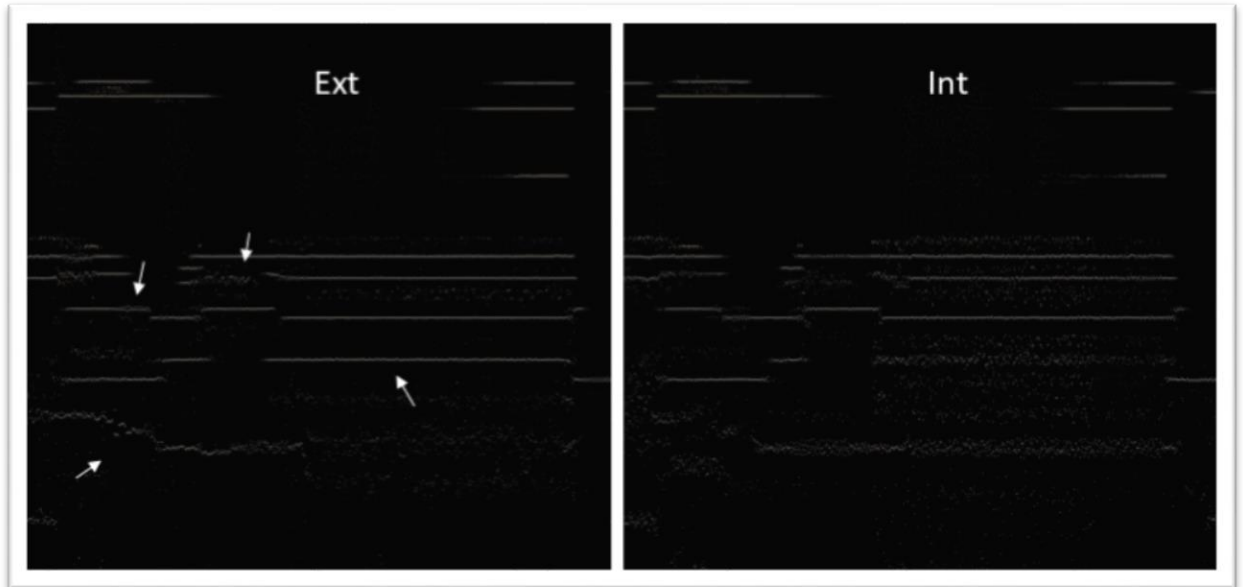
- a) *preservar a sensibilidade às flutuações acústicas*. Como mencionado anteriormente e no capítulo 3, a verdadeira matéria do ecossistema audível são as flutuações acústicas, cuja atividade acaba por definir o próprio perfil de comportamento do ecossistema, uma vez que os ambientes acústico e digital estão conectados de modo contínuo. Neste sentido, em nossos experimentos, conseguimos implementar um sistema altamente

⁸⁰ Para detalhes acerca deste debate, veja Thomasi (2016a).

⁸¹ Para detalhes sobre os objetos utilizados nas implementações dos *patches*, ver Apêndice C.

sensível, capaz de trabalhar dentro de uma faixa dinâmica considerável – ver Figura 4.3 –, sem compressão ou saturação de áudio – ver Figura 4.4;

Figura 4.2 – Sonograma comparativo entre registro externo e interno.



Fonte: o autor. À esquerda, a gravação feita no ambiente acústico com um gravador de mão, que chamamos de gravação externa. E à direita, a gravação feita diretamente do *patch* de controle no software MAX/MSP. Mesmo levando em conta as distorções na digitalização da imagem do sonograma e a influência das características do microfone do gravador de mão e sua posição na sala, essa comparação é um modo de ilustrar que o som emergente do ecossistema possui nuances que só podem ser acessadas *in loco*.

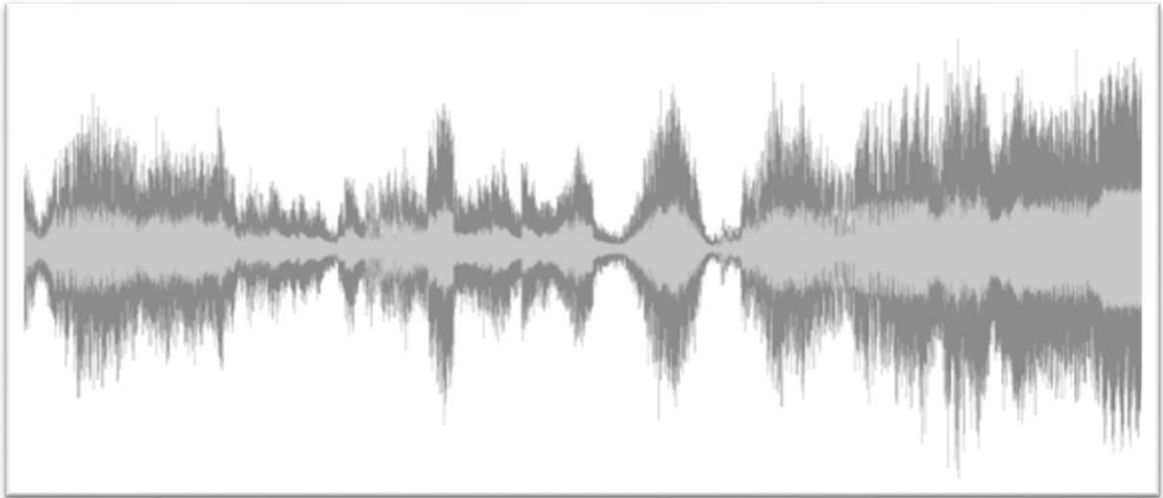
- b) *preservar o papel da retroalimentação acústica e sua relação com as estruturas sonoras*. Os harmônicos audíveis são como a materialização da forma incidente: laço e respectiva topologia. Assim, considera-se o laço formado pela retroalimentação como a base estrutural do ecossistema audível, sendo esta, ao nosso ver, a principal relação a ser estudada na elaboração de estratégias de controle. Como podemos ver nos sonogramas, o dispositivo de controle implementado é capaz de preservar as nuances e a continuidade do laço de retroalimentação de modo a permitir a expansão espectral em função do aumento da energia do sistema. Em outras palavras, estamos lidando com uma estrutura que só foi revelada porque a retroalimentação positiva foi estabilizada, e não suprimida ou transformada de maneira forçada. Pelo contrário, a positividade da propagação é estabilizada através de sua própria modulação, criando restrições ao nível da informação ao longo do processo de tomada de forma e preservando, assim, a

continuidade do sinal⁸². Na Figura 4.3 podemos visualizar a continuidade do sinal mesmo em amplitudes mais baixas;

- c) *cuidado com o equipamento, a qualidade do áudio e a usabilidade em situações de performance*. Preservar a integridade do equipamento de áudio, microfone e alto-falante, e evitar artefatos indesejáveis como o *offset* de conversão digital, muito comum em situações de retroalimentação positiva, é um cuidado técnico essencial. Assim, a preservação do sinal retroalimentado prevê a manutenção da oscilação entre fases e assegura que o sinal não chegue ao nível máximo de amplitude suportada. Segundo TROXEL (2005), a retroalimentação acústica é sempre uma questão de fase e magnitude. Vale notar que, ao atingir o nível máximo, o sistema chega a um estado de estabilidade, dificultando novas evoluções e, conseqüentemente, tornando-se insensível. Nossos experimentos mostram que o modelo Ecos é capaz de garantir que o sinal da retroalimentação não atinja o nível máximo por meio do controle da relação sinal/ruído, como mostra a Figura 4.4. Assim, nos permite também configurar rapidamente os microfones e alto-falantes em salas de diferentes dimensões, uma vez que o sistema se autorregula, bem como controlar a intensidade geral com controles simples na estrutura de ganhos, o que melhora a usabilidade em situações de performance musical. As explorações de nichos acústicos e outros tipos de performance também são enfatizadas, uma vez que se pode lidar diretamente com o microfone durante a performance;

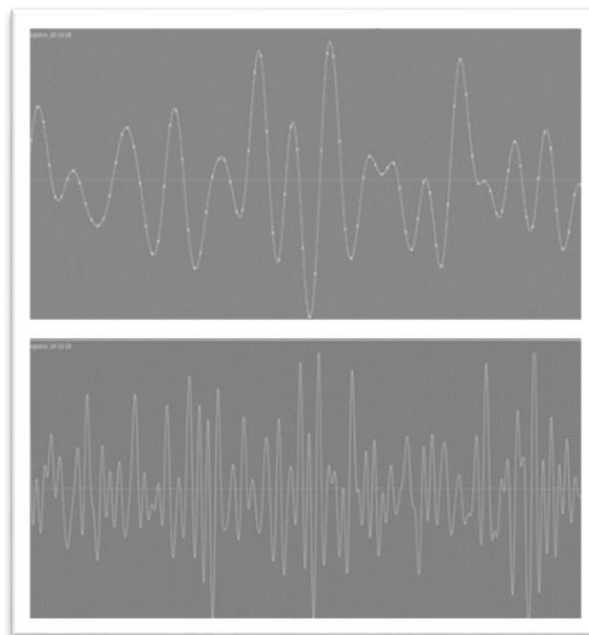
⁸² Ver capítulo 3.7

Figura 4.3 – Representação em forma de onda do sinal retroalimentado.



Fonte: o autor. Forma de onda mostrando diferentes níveis de amplitude do sinal retroalimentado. A parte central da forma de onda mostra a densidade e a continuidade do sinal do laço de retroalimentação mesmo em amplitudes mais baixas.

Figura 4.4 – Sinal retroalimentado livre de saturação ou compressão



Fonte: o autor. A forma de onda mostra que, mesmo em amplitudes próximas ao nível máximo do digital, 1 e -1, o sinal retroalimentado não exibe saturação ou compressão, nem indícios de erros de *offset* na conversão digital.

Na parte de cima, um zoom ao nível da taxa de amostragem, e abaixo, a forma de onda na duração de cem milissegundos.

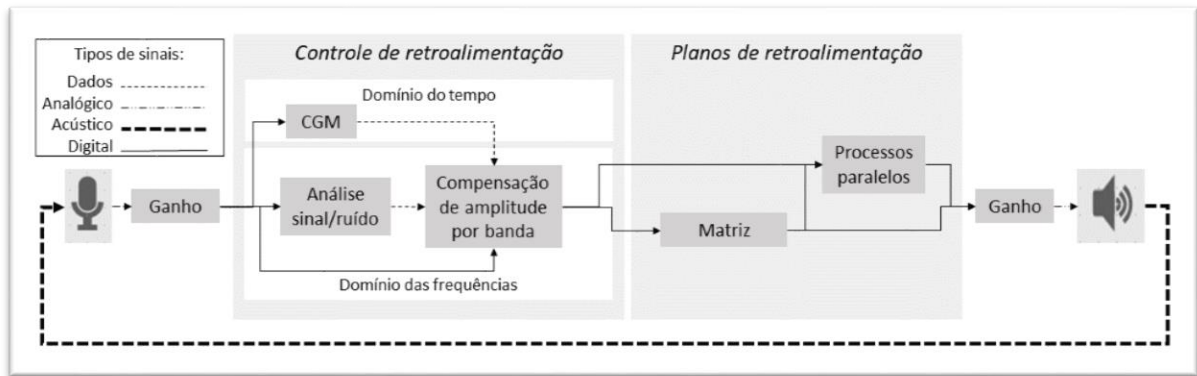
- d) *balancear o peso de processos arbitrários na formação de estruturas sonoras emergentes para permitir saltos estruturais.* Como mencionado anteriormente, existem razões técnicas e estéticas para preservar as formas implícitas, de modo a não sobrepor o comportamento natural do ecossistema com técnicas clássicas de modelagem sonora,

tais como geradores de envelopes, bancos de filtros e síntese por *wavetable*. As técnicas clássicas funcionam de maneira bem diferente no ecossistema audível, pois os processos, quando inseridos no laço, tornam-se iterativos. Por exemplo, modulações por filtros ressonantes e oscilações periódicas tornam-se pontos de atração, e podem provocar o surgimento de novas frequências. Da mesma forma, a inserção de uma síntese subtrativa ou técnica de modulação por anel em série no laço – considerando o laço de retroalimentação como um gerador de som comum – torna o sistema insensível. Neste sentido, um sistema insensível é incapaz de fazer saltos estruturais. No primeiro momento, esta foi uma consideração desafiadora, pois exigiu uma nova concepção de controle e de performance;

- e) *estabelecer correlações com pensamento estrutural em música*. A estabilização imediata da retroalimentação e a capacidade de manutenção do sistema no ponto crítico e região de metaestabilidade proporcionam a geração de um material espectral complexo, dinâmico e relativamente controlável, além de rápida adaptação a diferentes ambientes acústicos. Assim, tem sido possível estabelecer uma estrutura teórica para lidar com estruturas sonoras emergentes em situações de performance, trazendo a escuta como um balizador essencial, como veremos no capítulo 5.

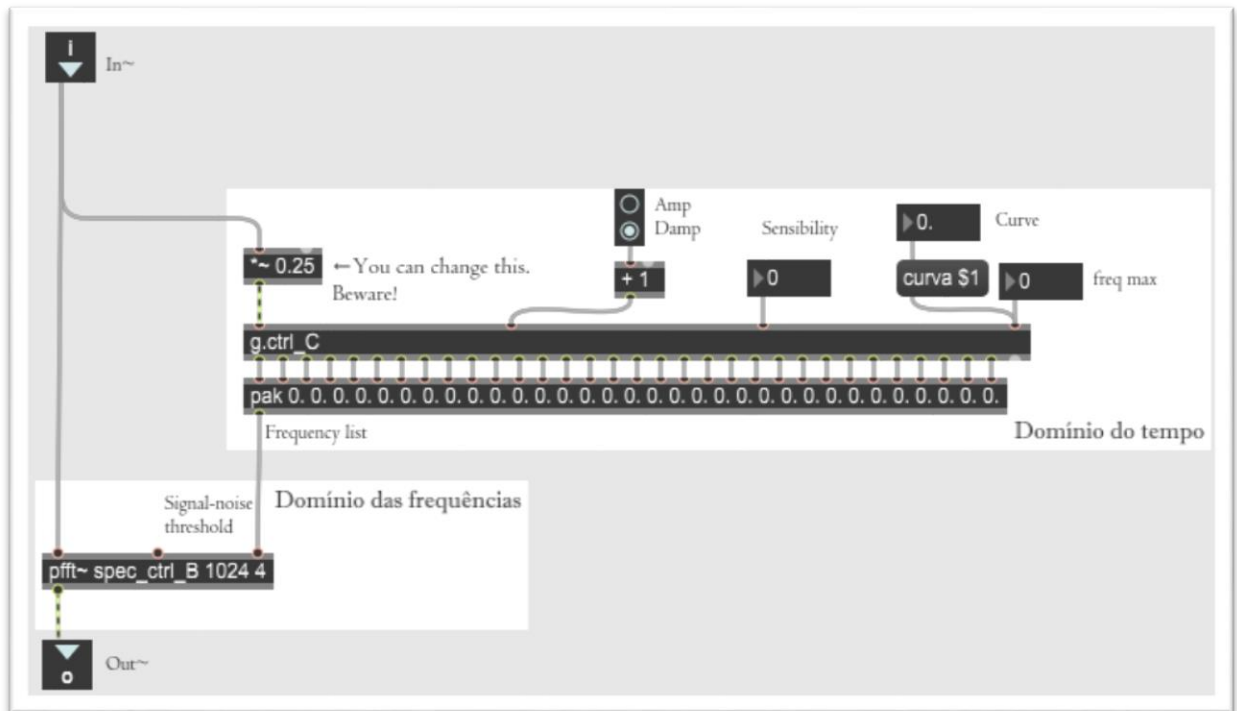
Para tanto, desenvolvemos um dispositivo digital de controle da retroalimentação acústica, construído em *patch* MAX/MSP (THOMASI, 2021a), baseado em um banco de filtros auto-reguladores, que chamamos por *Controle de Ganhos Multibanda* (CGM). Neste sentido, cada filtro e componentes correlatos são considerados como um agente que, por meio de regras simples, interage com os outros agentes e com o meio (WILENSKY; RAND, 2015). Em suma, trata-se de um sistema que acopla operações no domínio de tempo e frequência, composto por dois estágios, como mostram as Figuras 4.5, 4.6 e 4.7. No primeiro estágio o sinal retroalimentado é estabilizado com base em técnicas de filtragem espectral (SETTEL; LIPPE, 1994), assegurando que não se atinja o nível máximo de amplitude; e no segundo estágio, o controle de ganhos multibanda, baseado em técnicas de controle de resposta de amplitude (DISCIPIO, 2006; DUDAS; LIPPE, 2006), envia informações dos perfis de amplitude por banda espectral no domínio do tempo para o processo atuando no domínio da frequência. Atuando em conjunto, eles são capazes de controlar o sinal retroalimentado através da relação sinal-ruído e regulando os ganhos em diferentes bandas espectrais simultaneamente, como mostrado na figura 4.8.

Figura 4.5 – Esquema do mecanismo de controle de retroalimentação



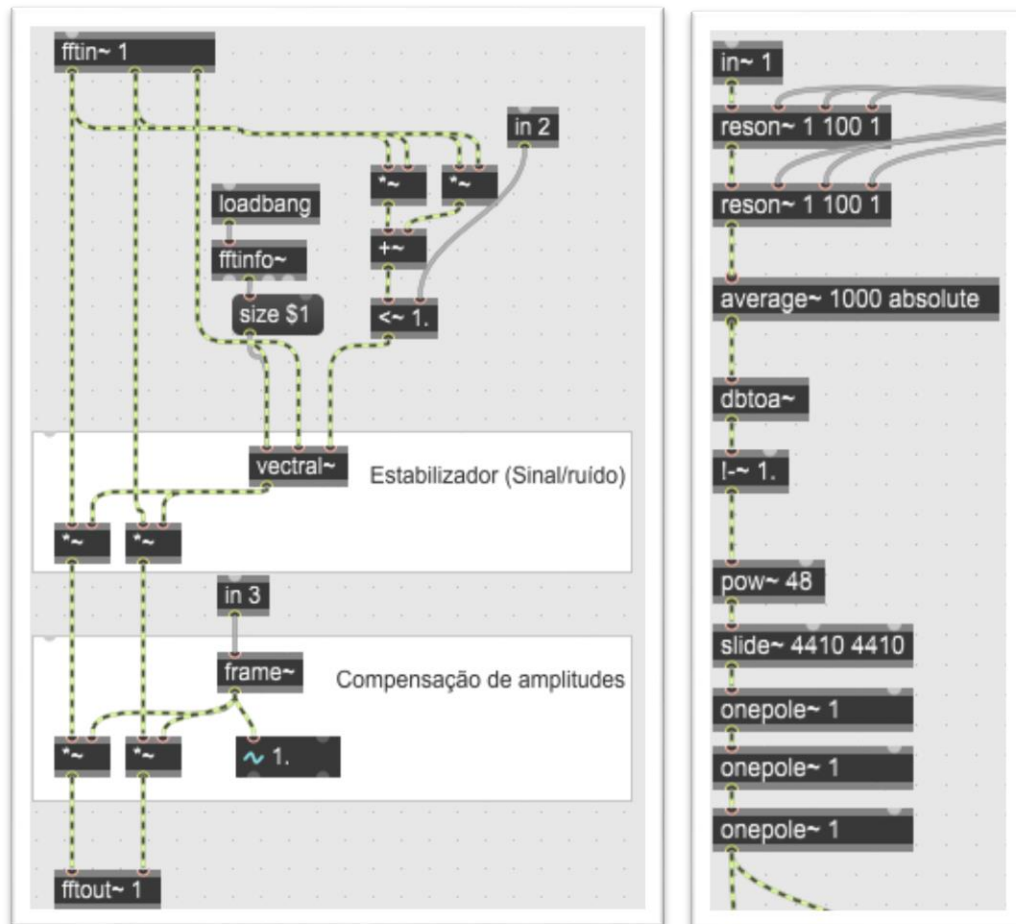
Fonte: o autor. Os dados coletados no domínio do tempo regulam o sinal digital processado no domínio da frequência, estabilizando o laço de retroalimentação positiva. À direita, em planos de retroalimentação, estão a Matriz que é responsável pelos caminhos dos sinais de entrada e saída e os processos paralelos que são utilizados como outras estratégias de controle das estruturas emergentes, como veremos no capítulo 6.

Figura 4.6 - Patch de controle de retroalimentação acústica.



Fonte: o autor. No domínio do tempo, o sinal de entrada inscreve o perfil de amplitudes através de filtros ressonadores distribuídos por 32 bandas de frequência, como um *vocoder* (DUDAS; LIPPE, 2006). As amplitudes são enviadas em lista para o *patch* no domínio das frequências que está, de fato, modulando o sinal. Em geral, a análise das amplitudes trabalha com altos ganhos nos filtros ressonadores e baixo ganho no sinal de entrada, conseguindo assim, maior sensibilidade à pequenas flutuações do sinal.

Figura 4.7 – Interior do *patch* de controle de retroalimentação acústica.



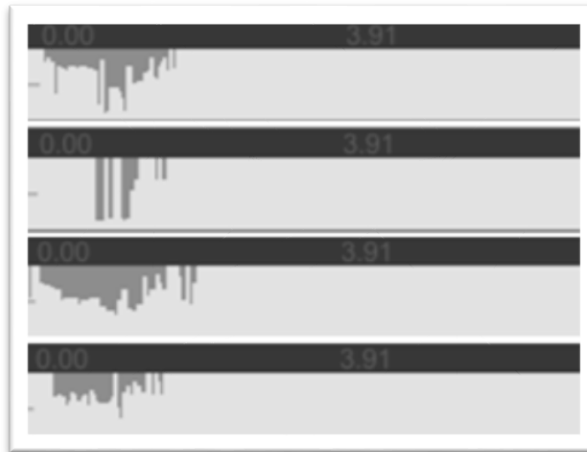
Fonte: o autor. À direita, o algoritmo de rastreamento de perfil de amplitude por banda de frequência no domínio do tempo. O objeto *reson~* é um filtro ressonante passa-banda que implementa a equação $y[n] = a_0 * (x[n] - r * x[n-2]) + b_1 * y[n-1] + b_2 * y[n-2]$, onde r , b_1 e b_2 são parâmetros calculados a partir da frequência central e Q (CYCLING74, 2022)⁸³. Aqui está sendo usado como um tipo de sensor para variações de sinal em dada banda de frequências. Em seguida, o sinal do filtro é escalado como em um rastreador de envelope comum (DI SCIPIO, 2006). O *patch* possui 32 cópias deste algoritmo que diferem apenas na configuração do filtro da entrada, cuja distribuição das frequências centrais é dada arbitrariamente na configuração do *patch*. À esquerda, o algoritmo dentro do objeto *pfft~* é encarregado do processamento espectral de áudio através de análise e re-síntese em tempo real por Transformada de Fourier de curta duração (STFT – *Short Time Fourier Transform*).

Primeiramente, o sinal passa pelo estabilizador que atenua a frequência ressonante, assegurando que sua amplitude não chegará ao nível máximo. O objeto *vectral~* funciona como um rastreador de envelope de cada *frame* do sinal de entrada – no caso, 1024 frames. Em suma, quando o valor do sinal do respectivo *frame* é superior ao limite estipulado, ele é atenuado, como em um mecanismo comum de redução de ruídos (SETTEL; LIPPE, 1994), com a diferença de que aqui o que passa é o ruído. É possível utilizar interpolações entre um *frame* e outro, alterando o modo como o objeto irá atenuar os sinais de magnitude e fase do sinal principal, como veremos no capítulo 6. Em seguida, as amplitudes medidas pelo controle de ganhos multibanda são enviadas para o objeto *frame~*, responsável pela conversão da lista no domínio do tempo para o objeto *pfft~*, e por mapear as amplitudes para as respectivas bandas no domínio das frequências. Assim, o sinal retroalimentado passa diretamente pelos algoritmos digitais, que modulam as amplitudes no domínio das frequências respondendo às próprias flutuações do sinal de entrada⁸⁴.

⁸³ Detalhes em <https://docs.cycling74.com/max8/refpages/reson~>, acesso em março de 2022.

⁸⁴ Ver detalhes sobre objetos utilizados no Apêndice C.

Figura 4.8 – Controle de ganhos multibanda em diferentes momentos.



Fonte: o autor. Quatro momentos diferentes do controle de ganhos multibanda. As amplitudes de diferentes bandas espectrais, de 20Hz a 11.025Hz, se autorregulam simultaneamente. Os gráficos apresentados na figura são representações de diferentes perfis de atenuação de amplitude no domínio das frequências, estocadas em um *buffer* de memória exclusivamente para visualização. O eixo vertical representa o nível de amplitude.

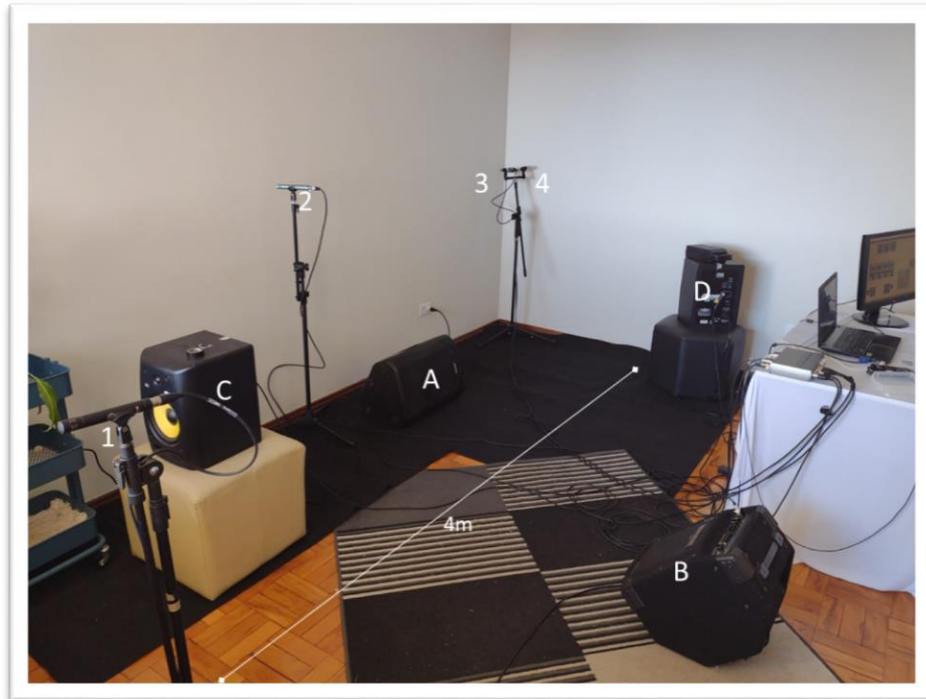
O interessante é que, estando inseridos em laços, os filtros que reagem às amplitudes dos sinais de entrada criam uma tensão inversamente proporcional: o sinal de entrada do *patch*, que cresce positivamente, empurra o sinal de controle em direção ao nível 0, enquanto que o sinal de controle faz força em direção ao seu ponto de equilíbrio, o nível 1. Em outras palavras, em um contexto comum, sem retroalimentação, trata-se de um sistema de malha aberta para controle de ganho, que atenua o sinal após um certo limite e tende a fechar o canal de comunicação caso o sinal de entrada atinja ou ultrapasse o nível máximo. Porém, ao criar uma retroalimentação, o controle passa a interpretar os resultados de suas próprias ações: ao fechar o canal de comunicação, o sinal diminui, causando a abertura do canal de comunicação que, por sua vez, provoca o aumento do sinal e assim por diante. Assim, estabelece-se um equilíbrio entre o sinal de entrada e o sinal de controle que é permeado pela não-linearidade do meio acústico.

4.6 DA IMPLEMENTAÇÃO DO INSTRUMENTO ESPACIAL

O Instrumento Espacial é a interface de performance com o ecossistema audível. O termo *espacial* refere-se à sua dependência do espaço físico. É um instrumento de natureza híbrida, composto por: a) uma parte digital, que consiste no *patch* de controle de retroalimentação, citado acima, e outros processos paralelos implementados como parte das estratégias de controle, chamados de planos de retroalimentação, b) uma parte analógica, que consiste basicamente em microfones e alto-falantes; e c) uma parte acústica, que consiste nas

dimensões físicas e qualidades acústicas da sala e no modo como os microfones e alto-falantes estarão distribuídos na mesma. Nenhuma das partes produz som de forma independente. As três partes são conectadas pelo laço de retroalimentação do qual emergem as sonoridades. A Figura 4.9 mostra a configuração do Instrumento Espacial que estamos utilizando atualmente, com quatro microfones e quatro alto-falantes, e uma sala de tamanho médio.

Figura 4.9 - Instrumento Espacial, perspectiva do meio acústico.



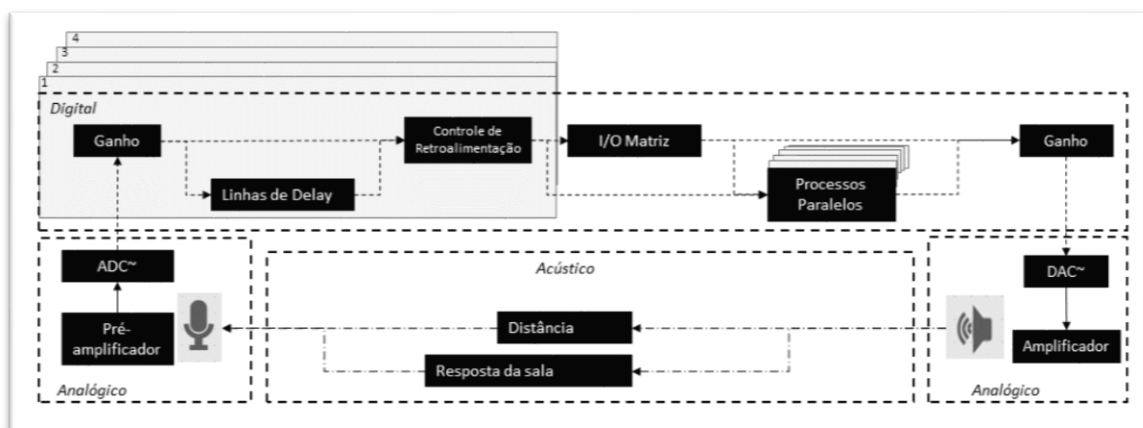
Fonte: o autor. Os números indicam as entradas e as letras indicam as saídas. Esta versão do Instrumento Espacial foi montada para a gravação da performance *Ecos n.2* apresentada como recital/palestra no Simpósio Internacional de Música Nova, SiMN, 2021 (THOMASI, 2021b).

Na prática, a abertura ao ambiente acústico é o que transforma este sistema em um ecossistema. Neste caso, o ambiente acústico atua como uma abertura para iterações contínuas não-lineares (DI SCIPIO, 2003, p. 273). Assim, mesmo o material sonoro mais simples, como um som senoidal, torna-se rico e interessante, musicalmente falando. Do mesmo modo, processamentos de sinais quase triviais como simples linhas de atraso e controles de ganho tornam-se capazes de mudar todo o comportamento do ecossistema. Nenhuma das características dos componentes do sistema é neutra. O posicionamento dos microfones, a resposta de frequência, as características dos alto-falantes, as configurações dos processamentos digitais, o tempo de reverberação da sala, o tamanho das superfícies físicas e sua localização no espaço da sala, quantas pessoas estão na sala e o que estão fazendo, entre muitas outras, podem provocar mudanças significativas nos espectros sonoros emergentes. Isto

deve-se à iteração contínua que torna o sistema sensível às condições iniciais: pequenas mudanças levam a grandes resultados, como no Efeito Borboleta de Edward Lorenz.

No laço de retroalimentação cada ponto pode ser um ponto inicial. Ou seja, a forma como alguns componentes modulam o sinal é mais importante do que a ordem dos componentes. Neste sentido, a implementação de uma estrutura de ganhos e respectivos controles foi fundamental. Primeiro, porque o ganho não tem um impacto simples em termos de aumentar ou diminuir o volume de som. Ao contrário, quanto maior o ganho, maior a energia que circula pelo sistema, o que corresponde a um aumento do conteúdo harmônico que resulta em expansão e transformações espectrais. A segunda questão é que o controle de ganhos não está centralizado em uma única unidade de controle, mas distribuído por todo o sistema, ou seja, o controle de um está relativamente atrelado ao controle do outro: cada sinal e cada laço de retroalimentação criado gera sua própria estrutura de ganhos e interage diretamente com os outros laços que já estão ativos.

Figura 4.10 - Esquema da estrutura de ganhos elaborada.



Fonte: o autor. Principais componentes que impactam o fluxo de energia do laço de retroalimentação. O controle de retroalimentação funciona independentemente para cada entrada de microfone.

Como mostrado na Figura 4.10, a estrutura de ganhos tem o seguinte caminho: no domínio analógico, a) um sinal é captado pelo microfone, sendo o pré-amplificador do microfone o primeiro nível de ganho; b) a qualidade da conversão analógica para digital, que interfere diretamente na quantidade e qualidade do sinal capturado, e da mesma forma, a qualidade da conversão digital-analógica e; c) o ganho dos amplificadores dos alto-falantes. No domínio digital, a) o controle de ganho, na entrada no *patch* do software MAX/MSP; b) as

linhas de atraso, nas quais para cada cópia é necessário um controle de ganho específico⁸⁵; c) a Matriz de entrada/saída (I/O) que gerencia todo o encaminhamento do sinal e tem um impacto direto em todos os ganhos individuais; d) o controle de saída máster que envia o sinal para o conversor digital-analógico.

Ainda, no ambiente acústico, participam da estrutura de ganhos: a) a distância entre microfones e alto-falantes, já que quanto mais próximo, maior o ganho, e vice-versa e; b) a capacidade de resposta da sala, já que uma sala morta responderá com um conteúdo harmônico e intensidades totalmente diferentes de uma sala mais reverberante. Entretanto, não há uma regra formal, pré-determinada, para estabelecer a estrutura de ganhos, pois ela está mais relacionada às qualidades que cada componente exibe no ecossistema, variando de lugar para lugar e de equipamento para equipamento. Assim, a escolha do posicionamento do microfone é essencial, mas só é alcançada através de tentativa e erro. Por exemplo, por estarmos procurando nichos acústicos interessantes, com harmônicos, padrões de frequências, batimentos e defasagens naturais, colocar os microfones nos cantos ou apontados para superfícies como paredes, janelas ou outro material reflexivo, absorvedor ou ressonante é muito viável. Em outras palavras, toda a riqueza do meio acústico e as qualidades dos equipamentos tornam a capacidade timbrística do ecossistema mais ou menos interessante.

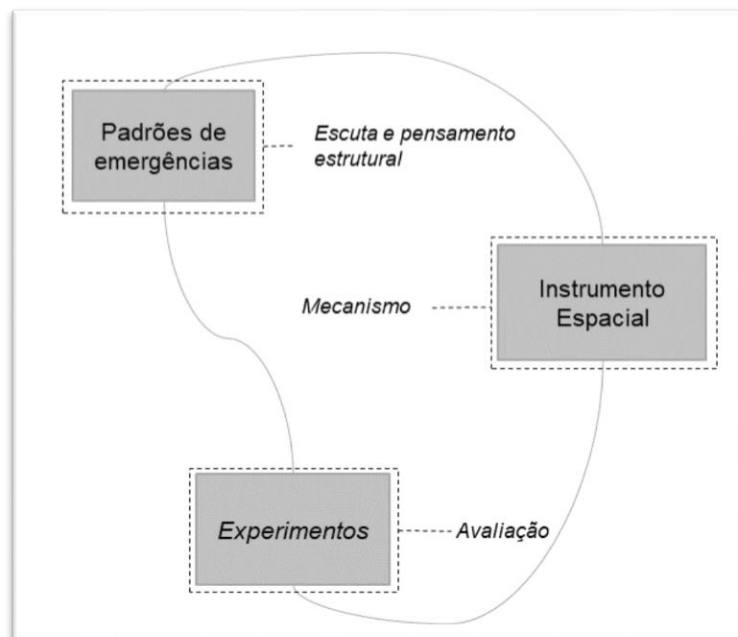
⁸⁵ Na configuração atual do Instrumento Espacial, a parte inicial da estrutura de ganhos, a e b, é exclusiva para cada microfone, sendo composta, portanto, por quatro cópias do mesmo *patch* representadas na Figura 4.10 pelas abas superpostas.

5 METODOLOGIA MICRO-MACRO

5.1 DO MÉTODO E DA ESCUTA

O Estudo Ecos é um tipo peculiar de pesquisa. Como aponta Assis, a pesquisa artística lida com uma *problematização na e através* da prática (ASSIS, 2018, p.110). Embora estejamos lidando com teorias de áreas científicas que ainda pouco consideram a pesquisa em música⁸⁶, estas mesmas teorias, como temos mostrado, estão servindo de suporte para delinear um tipo de pensamento estrutural e para implementarmos um modelo de performance com ecossistemas audíveis. Para além de correlações teóricas, nosso sistema experimental é, em si, um sistema autorregulado que se realimenta positivamente: a avaliação dos resultados alimenta a implementação do sistema que, por sua vez, alimenta a elaboração da estrutura teórica que retorna para a avaliação e assim por diante – ver Figura 5.1.

Figura 5.1 – Sistema experimental que envolve o Estudo Ecos.



Fonte: o autor. A elaboração de uma estrutura teórica baseada em padrões de emergência acontece concomitantemente com a implementação do Instrumento Espacial e a avaliação experimental. As três partes são interdependentes, de modo que o produto de um se torna o material de entrada do outro.

⁸⁶ Em toda nossa revisão bibliográfica poucos autores mencionaram correlações com a música, e quando fizeram, fora superficialmente. Mesmo em levantamento bibliográfico exaustivo sobre teorias de emergências (BAGGIO; PARRAVICINI, 2019) é difícil encontrar menção à pesquisa em música ou artes.

Todavia, ao longo do processo de recontextualização de conceitos, algumas inconsistências podem surgir. Comentaremos três. Em primeiro lugar, o ecossistema audível é um objeto de estudo incomum tanto para a área da música quanto para as outras áreas que lidam com teorias de emergência. Na perspectiva da área musical, ao passo que o vínculo com o espaço físico enquanto material constituinte e modulador aproxima o ecossistema audível de instalações sonoras como *Times Square (1977)*, de Max Neuhaus, também o diferencia da grande maioria dos instrumentos musicais, dentre os quais o mecanismo gerador de som é desvinculado do meio acústico – o que agrega controle, unidade e portabilidade ao sistema. Os trabalhos de Alvin Lucier são muito elucidativos para este projeto. O instrumento criado em *Music for a Long Thin Wire (1977)* também possui uma relação constituinte com o espaço físico e flutuações acústicas, porém, o gerador de som ainda é uma corda vibrando. Ambos os exemplos são abordagens que trazem à tona a experiência *in loco*, uma ecologia do som, como nos trabalhos de Hildegard Westerkamp (DUHAUTPAS; SOLOMOS, 2014), chamando atenção para uma *escuta ativa*, que envolve não apenas os ouvidos, mas toda a interação do corpo-ouvinte com o meio – incluindo a permanência no meio, no sentido mesmo de *Deep Listening*, de Pauline Oliveros (2005). Podemos dizer que performances como *Oher*, de Robin Hoffman (2006), são muito pertinentes ao ambiente sonoro dos ecossistemas audíveis, e poder-se-ia explorar um discurso musicalmente rico apenas com os movimentos das mãos nas orelhas e com o andar pela sala, interagindo nos espaços em torno dos microfones, que chamamos de nichos acústicos. Porém, nossa proposta de estratégias de controle pretende mergulhar na *produção de estruturas emergentes*; estudar a consistência da estrutura do ecossistema, o que nos puxa para uma área mais técnica, esbarrando, assim, em outras áreas que estudam teorias de emergências. Em nossa busca por referências na área da acústica e nas ciências da complexidade, notamos que as ressonâncias acústicas e a modelagem computacional são sempre vistas como distintas. Não obstante, os sons não aparecem na bibliografia ‘mais científica’ como entidades contínuas, como nos trabalhos musicais citados acima, mas como eventos com trajetórias definidas. A microfonia, por sua vez, que seria a portadora da sonoridade com potencial para continuidade, é sempre indesejada; é o erro que precisa ser suprimido ou evitado. Assim, podemos supor que os grandes estudos sobre estruturas emergentes *nunca* estudaram os ecossistemas audíveis ou algum trabalho artístico correlato.

Em segundo lugar, embora alguns autores considerem o conceito de emergência, em certos momentos, como sendo intercambiável com o conceito de auto-organização (FROMM, 2006, p. 1), e bifurcação (HOOKER, 2011, p. 209), considera-se que tal escolha seja pertinente

ao escopo de suas análises, onde a diferenciação é aparentemente irrelevante ou puramente teórica. Entretanto, no Estudo Ecos, a diferenciação entre estruturas emergentes, auto-organização e bifurcação é pertinente. Obviamente, como mencionamos no capítulo 3, os processos se entrelaçam e a complexidade das correlações torna impensável uma sistematização objetiva das causas. Por outro lado, do ponto de vista da performance musical, nosso principal método experimental, participamos ativamente dos processos de auto-organização do ecossistema ao lidar com a manipulação e a experiência *in loco*. Em outras palavras, o intérprete-pesquisador é parte do ecossistema (KELLER; CAPASSO, 2006; MCCORMACK, 2007). Este contexto nos permite diferenciar ou, pelo menos, perceber com mais relevância alguns padrões emergentes: alguns deles tomam forma no momento da performance, notadamente no âmbito sonoro. Sobre estes é que se debruça nosso trabalho. Mas outras emergências são notadas ao longo do desenvolvimento das técnicas e mecanismos de controle: *emergências de longuíssimo prazo*, das quais o próprio Estudo Ecos devém. Em outras palavras, não estamos tentando diferenciar componentes *após* a mistura, mas *ao longo* do processo de mistura. Poder-se-ia dizer que este processo é equivalente ao da observação de um experimento químico ou físico, como as células de Bénard ou as figuras de Chladni. No entanto, a menos que o observador esteja mergulhado no líquido, sentindo o fluxo de transmissão de calor atravessar seu corpo; ou a menos que esteja deitado na placa ressonante com as areias e as vibrações atravessando seu corpo, tal afirmação seria equivocada. Esta é uma das razões pelas quais os ecossistemas audíveis são um caso tão especial para a pesquisa sobre estruturas emergentes. Segundo Di Scipio, “construímos uma natureza; não reproduzimos ou modelamos um segmento de uma natureza existente” (DI SCIPIO, 2011, p. 104).

Em terceiro lugar, ao procurar nas teorias de emergências pistas para um pensamento estrutural em música, buscamos definições por meio de *nexos operatórios* antes de se tentar estabelecer *nexos de identidade* (SIMONDON, 2020a, p. 569). Segundo Simondon, o “método analógico supõe que se possa conhecer definindo estruturas pelas operações que as dinamizam”⁸⁷. Olhar as sonoridades pelo ângulo das emergências nos tem mostrado não apenas a relevância de boa parte da literatura que lida com as relações de identidades sonoras⁸⁸ – considerando as pertinências dentro das respectivas bases teóricas –, mas também tem evidenciado uma lacuna teórica quando a proposta é pensar as sonoridades *antes* que saltem para o nível superior das identidades, ou seja, pensar as sonoridades por suas dinâmicas. Este

⁸⁷ Ibid., p. 565

⁸⁸ Ver capítulo 2

parece ter sido o esforço de Pierre Schaeffer ao propor uma escuta reduzida às formas sonoras; “ouvindo formas sonoras, sem qualquer outro objetivo que não seja ouvi-las melhor, para que possamos descrevê-las através da análise do conteúdo de nossas percepções” (SCHAEFFER, 2017, p. 66). Ao delinear os limites entre som, causa e fonte, que à época eram percebidos como objetos imbricados – ou, intercambiáveis –, forneceu um pensamento sistêmico que desmembrava a entidade produtora de som musical em partes independentes: sons, instrumento e suporte, de onde surge a noção de som enquanto um objeto portador de propriedades autocontidas; objeto próprio de ser acessado pela escuta. Segundo Schaeffer, “ao fazer isso, o objeto [sonoro] nos obriga a ouvi-lo, não por referência, mas tal como ele é, em toda a realidade de sua substância” (SCHAEFFER, 2012, 165). Schaeffer promoveu a *escuta* à instrumento de pesquisa em música em uma época em que os músicos buscavam a legitimação de seus métodos em modelos matemáticos. Segundo Schaeffer, “um método experimental em música significa escuta”⁸⁹. Como sabemos, Schaeffer estava amparado pelos *instrumentos concretos*, com os quais foi possível experimentar, modelar e avaliar, dando início, então, à elaboração do seu Tratado. Ao definir tipos de escuta, nos parece que Schaeffer buscava adequar seu instrumento de pesquisa à complexidade do som enquanto emergência, cercando-o por vários ângulos. Porém, ao sistematizar um vocabulário para as propriedades e comportamentos concretos dos sons, abriu um novo campo de referências abstratas e de metáforas. As formas sonoras, então discutidas sob aspectos de matéria e forma, pareciam partir do pressuposto de que o som simplesmente existe; de que ele é o ponto de partida, o momento em que se encerra a acústica e se inicia o *vir-a-ser* musical. Segundo Schaeffer, “corpos sonoros e manipulações físicas por um lado, objeto sonoro e objeto musical por outro. Vê-se que uma morfologia do sonoro, uma aculogia⁹⁰ por assim dizer, precede o musical: já não é mais a acústica, e ainda não é música” (SCHAEFFER, 2007, p. 71). Embora, ao nosso ver, o trabalho de Schaeffer seja, ainda hoje, um dos mais notáveis na história da música eletroacústica, é evidente que ele estava diante do dilema das emergências: lidar objetivamente com algo que existe em devir.

Lidar com emergências em música, assim como em outras áreas, “embora pareça misterioso, não há nada de místico, mágico ou pseudo-científico”, assim como afirma Fromm (2005, p. 1). Não podemos estudar as emergências de modo passivo ou intermediado

⁸⁹ Ibid., p. 162

⁹⁰ Segundo Sousa Dias, trata-se de um neologismo forjado por Pierre Schaeffer para designar uma nova disciplina baseada no Solfejo Experimental. Em suma, é o estudo da *possibilidade* de traços distintivos nos sons percebidos da emergência para uma organização musical (SOUSA DIAS, 2007 *apud*. SCHAEFFER, 2007, p. 10).

unicamente por teorias. Em certo sentido, somos muito inspirados pelo método de Pierre Schaeffer: estamos desenvolvendo o Instrumento Espacial para experimentações concretas e uma estrutura teórica para suporte à escuta – o instrumento de pesquisa genuinamente musical. Porém, não propomos abordar as sonoridades enquanto sistemas autocontidos, mas enquanto emergências que são. Assim, conseqüentemente, não nos situamos em um território intermediário, pré-musical, ou então iríamos contra nossa própria concepção de escuta ativa – embora a ideia de aculogia reflita muito do contexto interdisciplinar que se encontra o Estudo Ecos. Conhecer as estruturas por suas operações, assim como propõe o método analógico de Simondon, nos leva a mover o foco que está sobre as sonoridades, enquanto espectromorfologias (SMALLEY, 1997; YOUNG, 2005), para as *relações subjacentes*. Trata-se de uma perspectiva estrutural-qualitativa, mas que também não deve ser confundida com tipologias de timbre.

Este, por sua vez, “um espaço de relações entre eventos sonoros” (HAJDA, 2007), definido também como uma “propriedade perceptual da fusão de um determinado evento auditivo” (MCADAMS; GOODCHILD, 2017, p. 129) é, ao nosso ver, uma emergência de alto nível, podendo ser categorizado no Tipo 3b da taxonomia de Fromm (2005). A ideia mais recente de intervalo tímbrico, como *um vetor* nesse espaço complexo de relações que permeiam o evento sonoro, evidencia, de um modo geral, dois aspectos do espaço tímbrico. De um lado, a tendência que temos em agrupar perceptualmente eventos sonoros que surgem da mesma fonte (BREGMAN, 1994), dando suporte para a elaboração de uma tipologia de timbres baseada no conceito de agrupamento perceptual (MCADAMS, 2013). De outro lado, parte-se da premissa de que, determinadas as dimensões do espaço tímbrico, o evento sonoro pode ser fragmentado e transformado em um conjunto de atributos auditivos, como brilho, rugosidade, qualidade de ataque, inarmonicidade e densidade espectral, diferenciando entidades acústicas estáticas, como a centroide espectral, de entidades acústicas dinâmicas, como os ataques e fluxo espectral (MCADAMS; GIORDANO, 2016). Contudo, enquanto o primeiro aborda o fenômeno emergente de um processo cognitivo, o segundo discrimina uma estrutura de padrões emergentes observáveis, audíveis e acessíveis por descritores de áudio – modelagens computacionais. Em ambos os casos, o que está em evidência não são as dinâmicas do processo de tomada de forma, mas diferentes faces da emergência e dos processos de auto-organização. Na análise aqui conduzida, tanto as espectromorfologias quanto as tipologias de timbre lidam com padrões de emergências de alto nível, e se confrontam com a complexidade de tais fenômenos ao olharem para as sonoridades em si. Portanto, a metodologia proposta, no que

tange a análise aural e respectiva estrutura teórica, é direcionada para as instabilidades aparentes na esfera audível da macroforma e para as condições de metaestabilidade, sendo esta última portadora dos princípios de individuação, como mencionado no capítulo 3. São estruturas de base, embora salientes, que funcionam como orientação para lidarmos com a estrutura do ecossistema audível, e não como modelos de classificação de sonoridades – apesar de ambas aparecem imbricadas em certos momentos.

5.2 UMA PERSPECTIVA MULTINÍVEL

Considerando a estrutura de uma emergência no ecossistema audível, é difícil saber exatamente o quê do nível macroestrutural está retornando para o nível microestrutural e qual sua relação com a organização dos níveis inferiores, pelos dois motivos mencionados anteriormente: assimetria causal e o problema de escopo e resolução. Pode-se dizer que as flutuações acústicas fazem com que o algoritmo digital se adapte. Na verdade, é o que conseguimos perceber de imediato. Mas, o movimento de retorno descendente é mais profundo que isso. O fluxo de informações que retorna carrega rastros qualitativos das diferentes camadas da estrutura multinível. O microfone, por exemplo, não é apenas um ‘observador’, mas um operador. Ele contém um conglomerado de componentes de baixo nível que, no momento em que é inserido no laço formador do ecossistema, forma em si um sistema cujas *combinações entre as partes produzem qualidades*. Por exemplo, qualidade de movimento do diafragma, características do campo eletromagnético, qualidade de isolamento da cápsula, qualidade de conectores de saída, e conseqüentemente, qualidade de transmissão do sinal, entre outros⁹¹, de modo que a qualidade da informação analógica que é enviada para a digitalização *é o resultado de um trabalho coletivo*⁹². O mesmo acontece com a resistência física dos outros equipamentos, qualidades da sala, a qualidade das conversões analógico-digitais, a posição dos microfones e dos alto-falantes, entre tantos outros componentes de baixo nível que informam e são informados continuamente pelas macroestruturas. Todavia, se de um lado, a quantidade de componentes e a assimetria das correlações geram estruturas mais complexas a cada nível

⁹¹ Para detalhes, ver Eargle (2005).

⁹² Este é um caso que poderíamos classificar como o Tipo 1a da taxonomia de Fromm (2005), em que o sistema não produz emergências por si mesmo, somente quando inserido em um contexto mais complexo. No caso, as qualidades supracitadas só aparecem enquanto emergência quando consideramos o microfone como parte do ecossistema audível. Ou ainda, a título de exemplo, quando o microfone é usado para algum tipo de processo criativo que explore o âmbito tímbrico ou de responsividade de seu sistema; ou também como parte de um esquema de captação que almeja captar certo timbre ou sonoridade como uma singularidade, por exemplo.

emergente, de outro, não é preciso descrever toda a complexidade que envolve a emergência, mas entender como as causalidades no baixo nível do sistema influenciam as interações de nível micro e, conseqüentemente, como elas aparecem no nível macro⁹³. Ou seja, parte-se de ações diretas em componentes já conhecidos – nesse caso, através do Instrumento Espacial –, e observa-se indiretamente o ecossistema emergente através de referências no nível microscópico juntamente com o nível macroscópico. De acordo com Fromm,

Só podemos gerar sistemas complexos que se auto-organizam com propriedades emergentes de forma direta e objetiva, se olharmos para o nível microscópico e macroscópico (para padrões, propriedades e comportamentos locais e globais); se examinarmos as dependências causais em diferentes escalas e níveis e se considerarmos a congregação e composição dos elementos, bem como suas possíveis interações e relações. Um sistema complexo só pode ser compreendido em termos de suas partes e das interações entre elas, se considerarmos os aspectos estáticos e dinâmicos (FROMM, 2006, p. 8, tradução nossa).

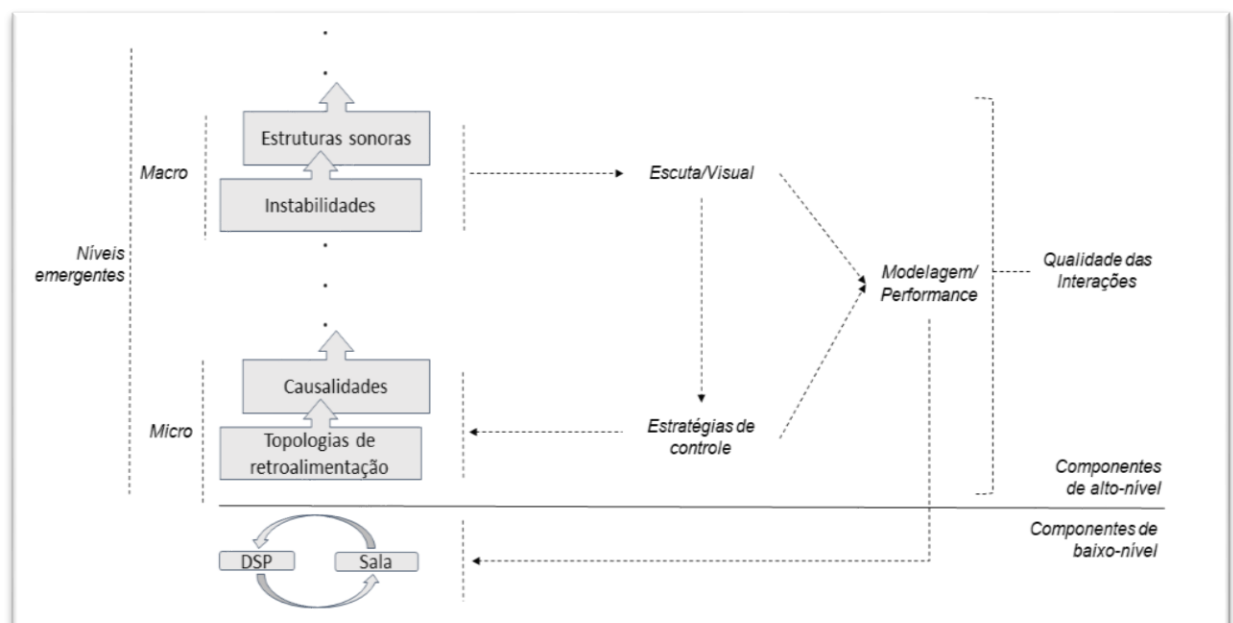
A Figura 5.2 permite uma melhor visualização das correlações entre os níveis estruturais e os padrões de emergências como considerado nesse estudo. Ao nível da microestrutura, existem *padrões que definem a base de relacionamento* das interações, baseados na ideia de topologias de retroalimentação, sendo que a maioria das estratégias de controle está focada nesta região. Ao nível da macroestrutura, *tipos de instabilidades* ajudam a delinear os comportamentos dinâmicos que permeiam as sonoridades. A ordem linear em que os padrões aparecem na figura não significa que eles acontecem um após o outro, mas que existe uma interdependência entre eles. Por exemplo, as correlações causais só podem ser pensadas uma vez definida a topologia de retroalimentação, e as estruturas sonoras são consideradas de acordo com seu perfil de instabilidade antes de outras propriedades morfológicas, pois opera-se em um plano de emergências anterior às identidades sonoras. Entretanto, essa perspectiva só é válida porque as emergências são observadas através do prisma dos *padrões de emergências*. Essa distinção é importante.

Segundo Winning e Bechtel (2019), ao passo que as emergências enquanto fenômeno possuem uma relação ontológica com seus constituintes, as emergências enquanto padrões são conceitos abstratos que fornecem uma visão genérica para analisar o fenômeno, descartando seu caráter ontológico, tais como as estruturas dissipativas de Prigogine, a geometria fractal de Mandelbrot, a teoria do caos, a teoria da catástrofe, as redes neurais e os algoritmos genéticos. Assim, a título de exemplo, se mudarmos o ângulo e olharmos a emergência pelo prisma das

⁹³ Nota-se aqui a diferenciação entre elementos de baixo nível dos componentes dos níveis emergentes.

estruturas sonoras, ao invés das dinâmicas, teremos outros padrões de análise: em seu nível microtemporal, o campo granular (KELLER; TRUAX, 1998; ROADS, 2001); e em seu nível macro, a espectromorfologia (SMALLEY, 1997) ou a pregnância da forma sonora (VAGGIONE, 2008). Contudo, esta dupla perspectiva – que poderia ser desdobrada em inúmeras – é uma evidência de que cada componente da emergência tem sua própria dimensão estrutural, que o surgimento do todo é um processo multidimensional e, portanto, que a definição de um escopo de análise é primordial.

Figura 5.2 - Fluxograma dos padrões de emergência como aparecem no modelo teórico do Estudo Ecos.



Fonte: o autor

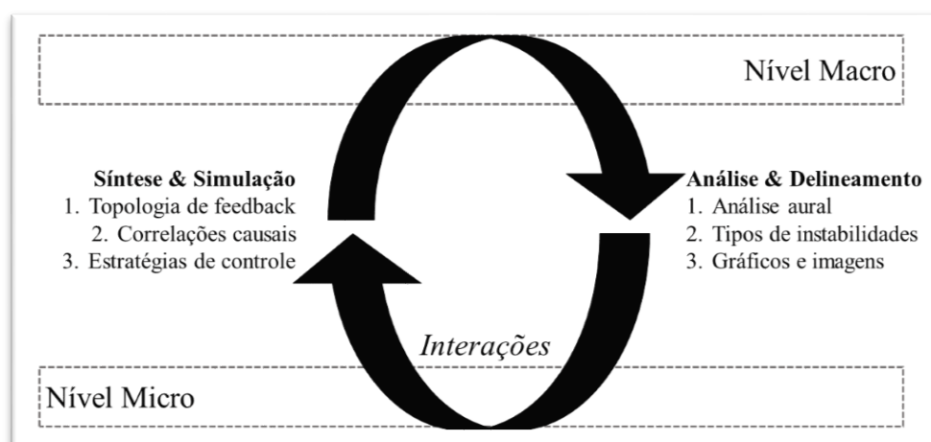
Desse modo, nossa metodologia de modelagem, experimentação e observação considera os níveis micro e macroestruturais simultaneamente, combinando as abordagens descendente, todo para partes, e ascendente, partes para todo, permitindo-nos enxergar “as partes estáticas e as interações dinâmicas entre elas, juntamente com os estados macroscópicos do sistema e os estados microscópicos dos constituintes” (FROMM, 2006, p. 8). Tal necessidade vai ao encontro da *Microanálise Sintética*, proposta por Auyang (1998), onde análise e síntese se tornam um único processo no qual a síntese precede e segue a análise. De acordo com Auyang,

A abordagem não permanece no topo como o holismo exige, nem faz uma viagem só de ida a partir da base como o micro reducionismo estipula. Ao invés disso, combina as perspectivas ascendente e descendente, fazendo uma viagem de ida e volta, do todo para suas partes e vice-versa (AUYANG, 1998, p. 57, tradução nossa).

A Figura 5.3 ilustra o esquema de Auyang adaptado para o Estudo Ecos. À direita, o processo descendente, de análise e delineamento, referindo-se ao momento em que as possibilidades são esboçadas. É composto de 1) análise aural que envolve níveis micro e macro em detalhes relevantes de uma só vez; 2) tipologias de instabilidades enquanto possíveis padrões de emergência no nível macro (HOOKER; 2011; SCHMIDT, 2019, 2011; 2008) e; 3) sonogramas e outros suportes visuais. À esquerda, o processo ascendente, de síntese e simulação, onde são implementadas modificações em elementos de baixo nível para executar os experimentos. Esta fase compreende em, 1) a topologia de retroalimentação e a organologia do sistema como um todo, com base na taxonomia de Fromm (2005); 2) as quatro categorias de correlação causal (PESSOA JR., 2006), ajudando-nos a sublinhar os diferentes modos de relacionamento que os componentes de baixo-nível podem causar ao longo das estruturas de interação; e 3) a implementação propriamente dita das estratégias de controle, elaboradas com o Instrumento Espacial. Na figura 5.3, as interações estão acima do nível micro porque são concebidas indiretamente. Isso significa que temos apenas controle indireto, ou seja, influenciando a forma como os componentes do micro nível irão interagir entre si. Nesse sentido, as estratégias de controle debruçam-se sobre as *qualidades das interações*. Como é o caso das topologias de retroalimentação, que são capazes de modificar as correlações causais em nível micro e gerar impacto estrutural perceptível no nível macro. Todas as ações nas topologias são feitas por meio de controles de entrada e saída de sinal e da estrutura de ganhos, como veremos no capítulo 6. Assim, através dos experimentos, conseguimos deduzir correlações de causas ao longo da estrutura da emergência, uma vez que interagimos com o laço de retroalimentação de diferentes modos – via nichos acústicos⁹⁴, meio digital, ou reorganizando a disposição dos equipamentos na sala –, e conseguimos analisar as dinâmicas em detalhes por meio da escuta. As deduções são transformadas em mecanismos de controle e a assertividade do respectivo mecanismo implementado é tida como prova positiva de que as correlações esboçadas são pertinentes.

⁹⁴ Ver capítulo 6.1

Figura 5.3 - Processo iterativo de duas fases da Microanálise Sintética, de Auyang (1998), adaptado ao Estudo Ecos.



Fonte: o autor

Jochen Fromm aponta a desvantagem do método da Microanálise Sintética para a modelagem de sistemas porque se baseia na “inteligência humana, criatividade e experiência, e necessita de constante intervenção manual, observação e consideração” (FROMM, 2006, p. 9). Ainda, aponta para uma fraqueza metodológica, pois se baseia na aplicação do método científico por um único cientista. Entretanto, no Estudo Ecos, não estamos tratando de um modelo artificial, mas de um sistema verdadeiro, de natureza híbrida, que engloba os ambientes acústicos e digitais com as singularidades da performance artística. Neste sentido, o que Fromm aponta como desvantagens, aqui são consideradas como vantagens⁹⁵.

Contudo, a fim de lidar com a complexidade dos processos emergentes em um sistema de retroalimentação, recorreremos à metodologia micro-macro como suporte para a) a modelagem de componentes de baixo nível prevendo o desenvolvimento de estratégias de controle, e b) a análise das estruturas de nível macro através de análise aural baseada em tipos de instabilidades, como discutiremos nas próximas duas seções.

5.3 TOPOLOGIAS DE RETROALIMENTAÇÃO E CORRELAÇÕES CAUSAIS: SÍNTESE E SIMULAÇÃO

No pensamento complexo a noção de controle está geralmente associada à direcionalidade ou orientação para um objetivo, adquirindo uma concepção ampla que inclui

⁹⁵ Curiosamente, o mesmo é válido para outras instâncias do Estudo Ecos. A busca por instabilidades – ao explorar as singularidades acústicas, do equipamento, diferentes posicionamentos de microfones e alto-falantes, e o próprio uso da retroalimentação positiva – está no coração do ecossistema audível e bem longe dos objetivos comuns da engenharia acústica e de áudio.

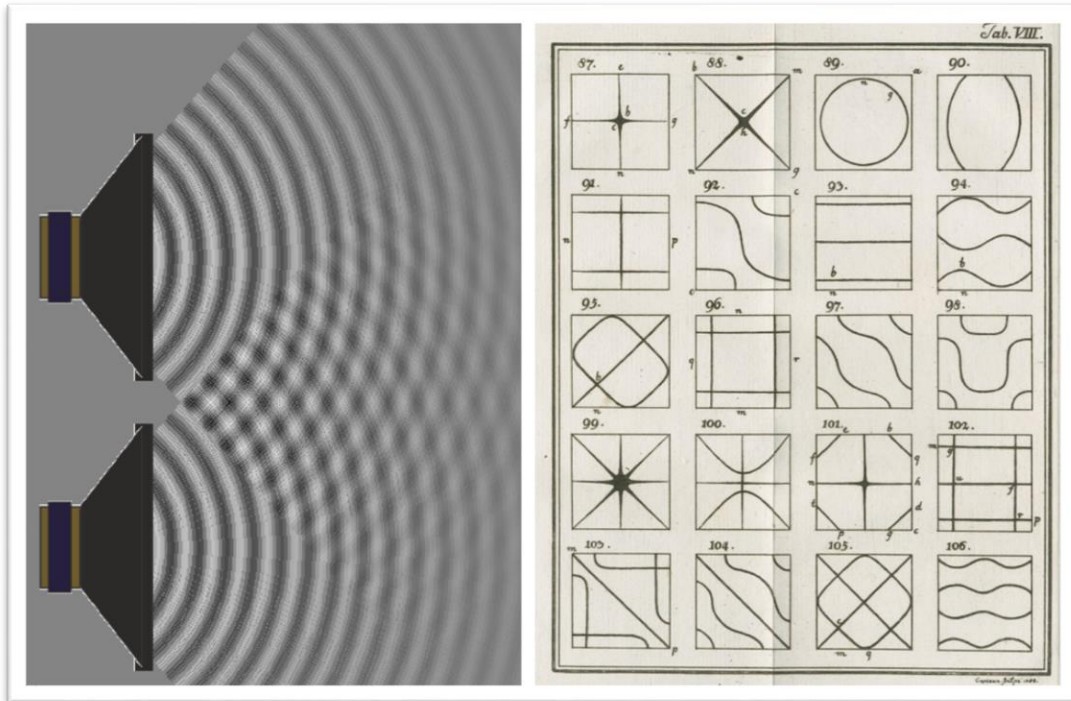
instabilidade e aleatoriedade dentro de uma lógica complexa de organização (MORIN, 2005). Assim, no Estudo Ecos, têm-se procurado meios de controlar parte das condições iniciais de formação do ecossistema influenciando as qualidades das estruturas emergentes em múltiplos níveis. Este mecanismo, como já mencionado, é o que têm-se chamado de topologia de retroalimentação, através do qual conseguimos interagir com a estrutura causal do ecossistema e afetar a macroforma.

A ideia de topologia de retroalimentação foi inspirada nas formas geradas por propagação de onda bidimensional, como no padrão de interferências das ondas de dois alto-falantes; ou como as figuras de Chladni, formadas pela organização da areia sobre uma placa metálica como resposta às vibrações na superfície da mesma – ver Figura 5.4. Nesses casos, as formas sublinham os pontos de reforço/cancelamento emergentes ao longo da propagação das ondas, evidenciando as partes em que as ondas se anulam e as partes em que se somam. Na acústica de salas, a recorrência da propagação de ondas entre as superfícies produz modos acústicos ou ondas estacionárias (LAZZARINI, 1998, p.19), e pode formar diferentes pontos de reforços/cancelamentos distribuídos pelo espaço da sala. Assim, ao posicionarmos os microfones em diferentes pontos da sala, conseguimos interagir com essas propriedades naturais do ambiente. Ao gerarmos um laço de retroalimentação, dando início ao ecossistema audível, a frequência ressonante do laço estabelece correlações com as propriedades acústicas locais do espaço do microfone e do alto-falante – dentre as outras já mencionadas. Assim, o laço de retroalimentação é capaz de produzir um espectro sonoro próprio, sendo que o conteúdo de harmônicos se expande à medida que se aumenta a energia do laço – o ganho do sinal. O interessante é que se utilizarmos um segundo microfone ou alto-falante podemos criar um novo laço de retroalimentação, envolvendo um outro espaço da sala, outras qualidades materiais e, por conseguinte, gerando outra frequência base e/ou outra configuração de espectro sonoro, ou seja, uma nova *topologia de retroalimentação*. Tomemos como exemplo a Figura 3.3. Cada um dos laços de retroalimentação formam uma topologia, que se pudéssemos traduzir as ressonâncias para um plano bidimensional, provavelmente conseguiríamos visualizar os padrões formados. Não obstante, se considerarmos o laço 1 e o laço 2 como extremos, ao mixar os sinais, poderemos alcançar topologias intermediárias, mais ou menos estáveis, mas sempre que retornarmos para esta ou aquela configuração de ganho dos sinais, conseguiremos a respectiva configuração de harmônicos ressonantes⁹⁶. Nesse sentido, alterando a topologia de

⁹⁶ Ver Apêndice A

retroalimentação, altera-se as correlações de causas que envolvem aqueles componentes em específico, mesmo que não se tenha conhecimento sobre cada um deles.

Figura 5.4 - Exemplos de topologias.



Fonte: o autor (à esquerda); Max Plank Institute (2017) (à direita). À esquerda, simulação computacional de propagação de onda em plano bidimensional. À direita, exemplos das figuras de Chladni.

Por esta razão, as relações causais são centrais em nosso esforço para *instrumentalizar* o laço de retroalimentação. De acordo com Fromm,

A emergência está obviamente relacionada a conexões causais ocultas, relações causais através de diferentes níveis, ou redes e tramas inteiras de conexões causais (formas ascendentes, descendentes, laterais e mistas). Qualquer explicação científica deve conter o esclarecimento das conexões causais (FROMM, 2005b, p. 3, tradução nossa).

As relações causais são probabilísticas, e geralmente não conhecemos todas as causas envolvidas. Por esta razão, de acordo com Pessoa Jr. (2006), é mais adequado pensarmos em termos de *correlações* de causas, uma vez que *uma* causa pode parecer mais um fetiche ou ilusão. Pessoa Jr. argumenta sobre quatro possíveis concepções de correlações de causas, ou tipos de causalidades. A primeira é a causalidade como uma *relação substancial*, quando um corpo causa mudanças em outro corpo enquanto transfere parte de sua energia. Nos ecossistemas, esta relação aparece nos próprios sons emergentes em efeitos de batimentos harmônicos e defasagem, e em processos fusão e fissão espectral, por exemplo. O segundo tipo é a *causalidade pela regularidade*, que evidencia o conceito linear da ocorrência de um evento

que causa a ocorrência de outro e, devido à sua regularidade, ambos são tomados como causa e efeito. Entretanto, existe outra possibilidade: quando a relação causa-efeito desencadeia a ocorrência de um terceiro evento, exibindo uma relação não-linear. Um exemplo disso é o uso de osciladores periódicos que, através da regularidade das modulações de um determinado componente de baixo nível, criam um ponto de atração que pode causar novas estruturas emergentes, como veremos no capítulo 6. Outro exemplo é o próprio laço de retroalimentação, que exhibe correlações causais tanto por relação substancial quanto por regularidade, no que tange, respectivamente, o processo de amplificação segundo Simondon (2017) e a retrocausalidade (YUNES, 2017, p. 29). O terceiro tipo é a *causação contrafactual*, que significa causa em termos de condicionantes *if/then/else*. É bem ilustrativa da lógica booleana utilizada em linguagens de programação, quando um evento causa outro desde que atenda a um determinado requisito. Mas também está relacionada com as condições adquiridas no contexto da metaestabilidade, em que os componentes são confrontados com novas condições de comportamento e pontos de atração. O quarto tipo é a *causalidade por manipulação*, que procura compreender as relações causais através do controle de um dos eventos. Refere-se ao próprio processo de experimentação e performance e, no caso do ecossistema, está atrelado à agência humana. Contudo, a lógica destas tipologias nos permite observar as diferentes interações que envolvem o ecossistema audível por suas qualidades e distinguir quando tais correlações causais produzem emergências e quando não produzem. De acordo com Pessoa Jr.,

Não basta observar o comportamento estatístico das variáveis, mas é necessário também fazer experimentos, que envolvem uma intervenção (controle, manipulação) nas variáveis, fixando os valores de certos elementos causais para daí observar os efeitos gerados (PESSOA JR, 2006, p. 42).

Junto com a taxonomia de Fromm, a tipologia de correlações causais suporta o campo experimental do Estudo Ecos como diretrizes para definir estratégias de controle baseadas na seleção e produção de componentes de atração e na manipulação dos contextos relacionais. Considerando as relações de nível micro, ambas as tipologias permitem uma visão mais profunda da qualidade das interações, lançando um olhar crítico sobre *quais tipos de interações estão se instituindo*, ao invés de uma visão genérica sobre os diferentes tipos de relações.

5.4 INSTABILIDADES E BIFURCAÇÕES: ANÁLISE E DELINEAMENTO

Para equilibrar as ações de baixo nível com o som emergente no nível macro, é utilizada uma tipologia de padrões de instabilidades como suporte para a análise aural. As instabilidades

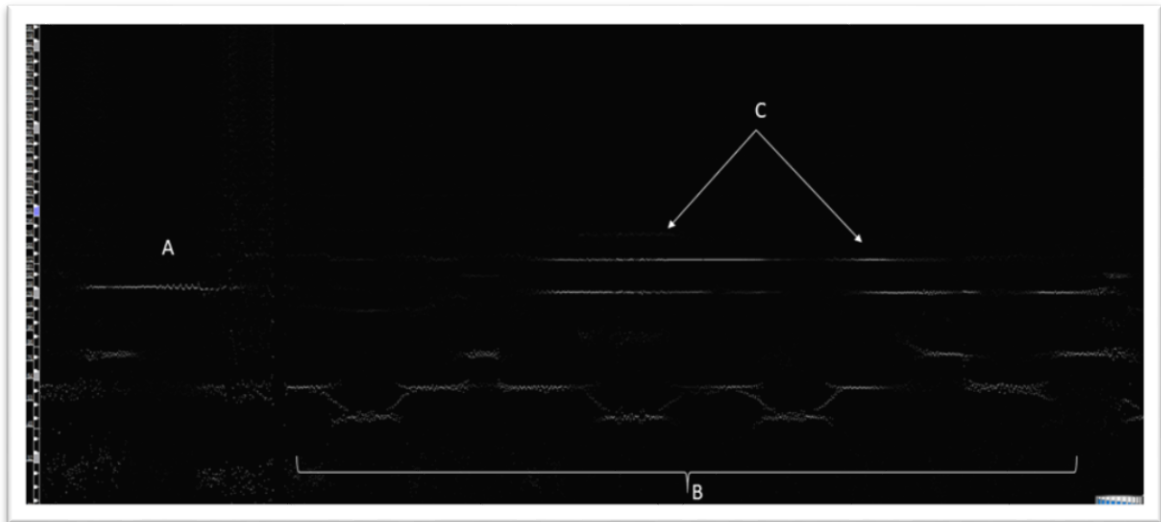
percebidas através dos movimentos e qualidades sonoras são apenas a superfície, necessitando, assim, do contraste com ações nos componentes de baixo nível. Ou seja, trata-se de uma escuta experimental (INGOLD, 2011, p. 208). Ainda, as instabilidades não são garantia da existência de estruturas emergentes suficientemente relevantes. Embora todo padrão de emergência esteja relacionado a algum tipo de instabilidade e não-linearidade, o oposto nem sempre é verdadeiro. Na verdade, estruturas emergentes são casos incomuns. As instabilidades são amplamente responsáveis pelos processos de organização em sistemas dinâmicos, e podem ser consideradas como o núcleo ontológico de características centrais da emergência (SCHMIDT, 2019). Segundo Schmidt, é a “instabilidade, e não a não-linearidade por si só, que faz a diferença” (SCHMIDT, 2011, p. 227).

Schmidt identifica três tipos de instabilidades. Primeiro, a *instabilidade estática*, baseada na dependência sensível de algumas condições iniciais. É um tipo fraco de instabilidade, que se difere de instabilidades mais fortes como o caos determinístico – embora em alguns casos seja uma condição necessária para tal. Por exemplo, “uma caneta em pé em sua ponta acabará caindo para um lado ou para outro. [Da mesma forma] uma bola no topo do telhado irá rolar para um lado ou para o outro, [ou ainda] trajetórias alternativas de dois pontos iniciais próximos se separam e nunca mais se aproximam” (SCHMIDT, 2019, p. 11-12). Assim, em um determinado ponto, a dinâmica de uma instabilidade estática *se torna menos sensível à evolução do tempo*. Nesta categoria está a própria expansão do espectro sonoro do laço de retroalimentação ao aumentar a energia do laço, como mostrado no capítulo 3.7. Em determinado momento, algumas bandas espectrais tornam-se tão densas ou saturadas que perdem sensibilidade umas às outras, e as qualidades da topologia de retroalimentação – as condições iniciais – tornam-se pouco aparentes nas sonoridades. Do ponto de vista da performance, uma das missões é não deixar que o ecossistema se torne insensível.

O segundo tipo, a *instabilidade dinâmica*, está associada ao modelo de caos determinista. Segundo Schmidt, “para escalas temporais curtas, duas trajetórias podem convergir antes de se desviarem novamente, e assim por diante – uma interação de divergência e convergência entre as trajetórias” (SCHMIDT, 2011, p. 229). Caracteriza-se por uma alta sensibilidade à evolução do tempo, cujas dinâmicas permanecem “sensíveis às trajetórias e não apenas às condições iniciais” (SCHMIDT, 2008, p. 902). O atrator de Lorenz é geralmente tomado como um exemplo de instabilidade dinâmica que também pode gerar dinâmicas relacionadas com emergências mais fortes. No Estudo Ecos, estruturas emergentes como batimentos harmônicos e pulsações geradas por diferentes camadas de retroalimentação fazem

parte da categoria de instabilidade dinâmica. Na Figura 5.5, a energia do ecossistema é suficiente para a criar uma condição de metaestabilidade, mas ainda é baixa para que as frequências mais persistentes se estabeleçam, o que gera um contexto de instabilidades dinâmicas, desde oscilações em torno de um mesmo eixo de frequências, como em *A* e *B*, até o surgimento e desaparecimento de grupos de frequências, como em *C*.

Figura 5.5 – Exemplo de instabilidades dinâmicas⁹⁷.



Fonte: o autor. *A* mostra a oscilação que cresce até a dissolução da ressonância. *B* mostra uma oscilação no subgrave, envolvendo as frequências 60.4Hz e 46.3Hz, provocada pela instabilidade. *C* indica o surgimento de grupos de frequências tentando se estabilizar.

O terceiro tipo, *instabilidade estrutural*, difere dos outros dois precedentes porque não se refere a pontos iniciais ou trajetórias, mas à própria estrutura do modelo. De acordo com Schmidt, “se a estrutura de um modelo (equação, lei) for ligeiramente alterada, a dinâmica geral muda qualitativamente”⁹⁸. A instabilidade estrutural é central na Teoria da Bifurcação, sendo que muitas vezes está associada com processos de auto-organização. Assim, podemos entender o conceito de bifurcação como *momentos de transição*. Segundo Hooker, podemos distinguir dois tipos de bifurcações, “a) uma instabilidade estrutural que leva a uma mudança na forma dinâmica, e b) o subconjunto de bifurcações que levam ao estabelecimento de um novo nível de sistema” (HOOKER, 2011, p. 208). Neste sentido, a bifurcação refere-se a restrições

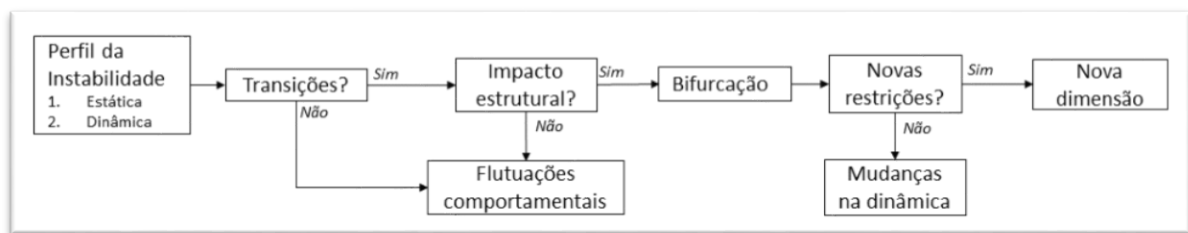
⁹⁷ Ver lista de vídeos (THOMASI, 2022).

⁹⁸ Id., 2011, p. 230

causadas pelo movimento descendente, do todo para as partes, com uma variedade de forças intermediárias⁹⁹.

Podemos utilizar as distinções entre as instabilidades para identificar por análise aural e via sonogramas os diferentes movimentos estruturais dos espectros sonoros emergentes, fazendo as possíveis correlações com as configurações dos componentes de baixo nível e micro. A Figura 5.6 mostra um fluxograma simples de como a tipologia das instabilidades é pensada no Estudo Ecos. Os tipos de instabilidades estáticas e dinâmicas podem levar às bifurcações. Se assim for, elas podem aparecer como mudanças na dinâmica da sonoridade ou como um novo nível de sistema – em nosso caso, a emergência de uma sonoridade nova. Se, por outro lado, as instabilidades não tiverem impacto estrutural, então o perfil da instabilidade inicial, se estática ou dinâmica, faz parte das flutuações comportamentais normais que caracterizam o estado atual da sonoridade.

Figura 5.6 - Perfil e tipologia de instabilidades.



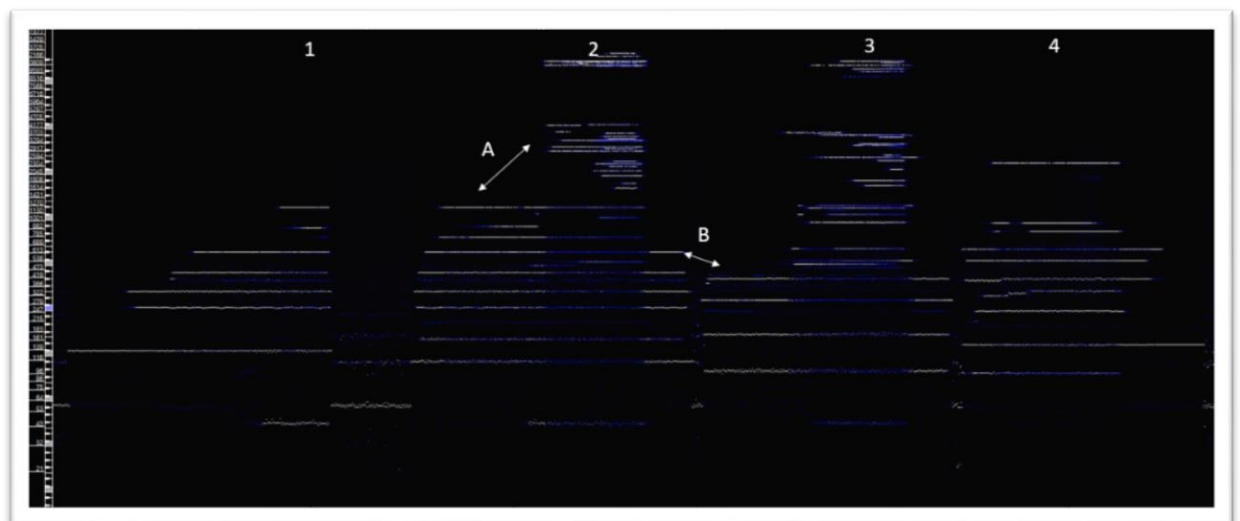
Fonte: o autor. Fluxograma ilustrativo de como a é pensada no Estudo Ecos, com base em Schmidt (2008, 2011, 2019) e Hooker (2011).

Na Figura 5.7, podemos observar os dois tipos de bifurcação. O segmento A mostra as mudanças de forma dinâmica em função do parâmetro de ganho, caracterizando uma expansão espectral a partir da estrutura sonora original. Embora seja uma nova estrutura sonora, ela não exhibe novas restrições descendentes, uma nova topologia, por assim dizer; o desdobramento espectral permanece restrito ao harmônico de base. Portanto, é uma instabilidade estrutural presente no som emergente, mas sem forte impacto sobre a estrutura do ecossistema audível. Por outro lado, o segmento B mostra uma bifurcação provocada pela mudança da topologia de retroalimentação e, portanto, gerando novas cadeias de correlação causal e novas restrições descendentes. Em outras palavras, há uma nova configuração do espectro como resultado de uma nova condição estrutural de produção de emergências. Na Figura 5.8 podemos observar uma sequência de movimentos que ilustram a coexistência dos tipos de instabilidades e

⁹⁹ O subconjunto de bifurcações que Hooker se referiu é equivalente às bifurcações sucessivas mostradas por Prigogine na Figura 3.1.

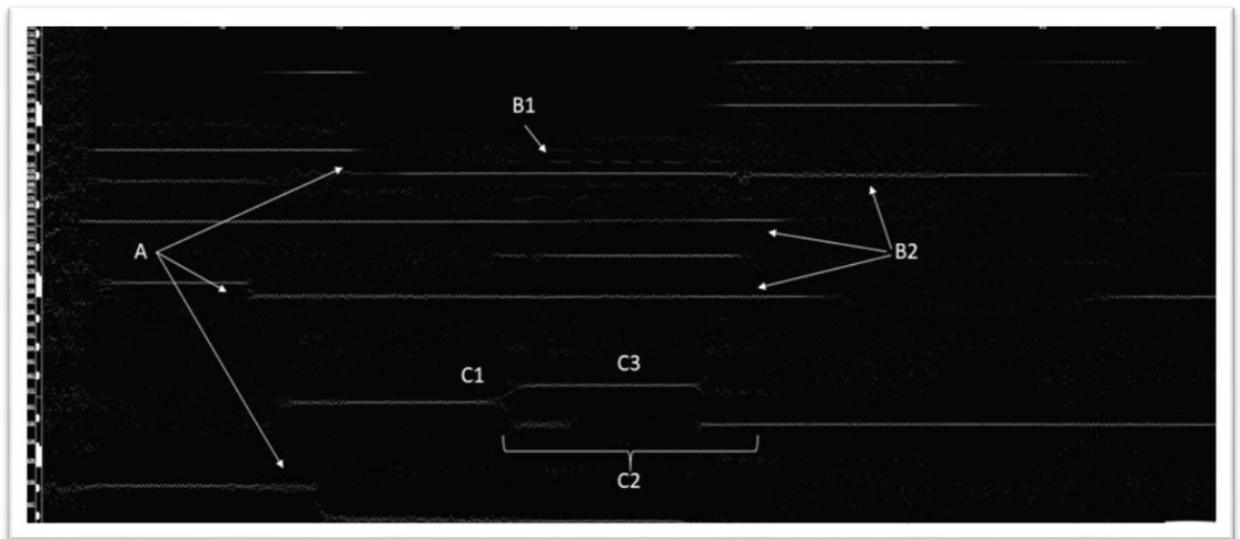
momentos de bifurcação. *A* indica pontos de bifurcação que mostram um tipo de instabilidade estática com impacto estrutural. A ressonância se move em direção à uma outra faixa de frequência na qual permanece em estado quase estável. *B* mostra exemplos de instabilidades dinâmicas. *B1* indica o surgimento de uma ressonância que não consegue se estabilizar e cria movimentos de pulsação, que podemos entender como uma oscilação dinâmica em que ora a ressonância se institui, ora se desfaz. Podemos considerar que também é um exemplo de estrutura emergente que não está atrelada à uma bifurcação, se considerarmos que a emergência não teve um impacto estrutural significativo. *B2* mostra diferentes instabilidades dinâmicas que aparecem no próprio percurso das ressonâncias, mas que não causam bifurcação. Em *C* podemos ver uma bifurcação em que a frequência *C1* modula e se estabiliza em *C2*, porém, antes de se estabilizar é atraída para a região de *C3*. É importante notar que as frequências ressonantes são analisadas isoladamente por uma escolha primária para fins de diagnóstico. Uma análise mais profunda dos perfis de instabilidades deve considerar o espectro sonoro como um todo. Nesse sentido, pode-se notar na Figura 5.8 que existe uma correlação com a aparição de *B1*, *C3* e frequência intermediária de *B2*, com o enfraquecimento de *C2*. Todavia, não é o caso de olharmos a aparição de um como causa do enfraquecimento do outro, já que se trata apenas da superfície de um processo emergente mais profundo. Provavelmente, as causas de um e de outro devem exibir inúmeras outras correlações em outros níveis do ecossistema, evidenciando, assim, a importância da abordagem proposta pela metodologia *micro-macro* ao lidar com estruturas emergentes.

Figura 5.7 – Bifurcações ao nível do espectro sonoro



Fonte: o autor. Sonograma de pico de frequência do espectro sonoro emergente. Os números 1-4 apontam para quatro diferentes conteúdos espectrais gerados pela mudança da topologia de retroalimentação do ecossistema audível.

Figura 5.8 – Tipos de instabilidades e movimentos sonoros¹⁰⁰.



Fonte: o autor. Exemplo de diferentes perfis de instabilidades que coexistem nos movimentos sonoros do ecossistema audível. *A*) instabilidade estática que provoca bifurcação. *B*) instabilidade dinâmica que não provoca bifurcação. *C*) Instabilidade dinâmica que se estabiliza em seguida, criando um ponto de bifurcação.

5.5 SÍNTESE DAS CORRELAÇÕES ENTRE AS TIPOLOGIAS

Face à complexidade das tipologias expostas até aqui e a especificidade das aplicações nesta pesquisa, propõe-se buscar evidenciar as respectivas correlações teóricas através de um esboço-síntese da estrutura do ecossistema no que tange os padrões de emergências. A Figura 5.9 é uma expansão das correlações da Figura 5.2, relacionando os quatro padrões de emergências utilizados no Estudo Ecos – topologias de retroalimentação, causalidades, instabilidades e sonoridades –, com a taxonomia proposta por Fromm (2005), segundo os quesitos de limites de interação, retroalimentação e saltos estruturais, que categorizam os diferentes níveis de emergências. Vale notar que as correlações apontadas na figura precisam ser lidas considerando as condições de simultaneidade dos processos e sucessividade dos padrões.

¹⁰⁰ Ver lista de vídeos (THOMASI, 2022).

da emergência como definido por Fromm, por exemplo, no modo como a frequência ressonante, nível macro, interfere no comportamento do *patch* de controle da retroalimentação, baixo-nível. Ou seja, ao passo que o primeiro refere-se a uma retroalimentação contextualizada na natureza real do ecossistema audível – topologias de retroalimentação –, o segundo refere-se a uma relação de troca de informação em nível abstrato, genérico. Assim, a taxonomia de Fromm aparece como um eixo paralelo ao desenvolvimento da emergência e vinculado com as singularidades, pois são as questões específicas que definirão o tipo da emergência.

Acrescenta-se os fatores *força* e *permanência* à ressonância interna, pois são pertinentes ao comportamento das dinâmicas no ecossistema. A *força da ressonância* está correlacionada com a instabilidade estrutural, sendo que quanto mais forte, maior a probabilidade de direcionar as evoluções para novas estruturas emergentes. Uma ressonância forte, por exemplo, é responsável por alimentar o laço que dá origem ao ecossistema. Já a *permanência da ressonância* está atrelada ao perfil da instabilidade. Ou seja, quanto mais tempo durar – ou for mantida – a relação de ressonância entre dois termos, maior as chances de a instabilidade percorrer uma trajetória evolutiva e se estabilizar. Do mesmo modo, quanto menor a permanência, mais frequente será o processo de escolhas por caminhos outros rumo à estabilidade, alimentando-se, a cada recorrência, de novos aspectos das condições iniciais, como o exemplo da Figura 3.4.

Passando a zona intermediária das interações chega-se ao nível macro da emergência, no qual reside a tipologia de instabilidades. Os perfis dinâmicos surgem como singularidades, como no esquema mostrado na Figura 5.6. As instabilidades estão correlacionadas com os saltos estruturais da taxonomia de Fromm, uma vez que as transições ou bifurcações podem levar para níveis mais altos de complexidade. Nesse sentido, as transições estão atreladas às identidades sonoras, no sentido espectromorfológico, porém, atravessam o escopo de análise desta pesquisa. Por este motivo, as sonoridades aparecem neste esquema enquanto padrões atrelados às instabilidades, ou seja, enquanto interface da análise aural. No Estudo Ecos, não propomos tipologias de sonoridades, pois se tem foco nos nexos operatórios. No capítulo 6, mostraremos como este quadro teórico tem dado suporte para a interpretação das correlações estruturais por meio das sonoridades emergentes.

6 ELABORAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DE CONTROLE

6.1 NICHOS ACÚSTICOS, TOPOLOGIAS E FORMAÇÕES INICIAIS

O ecossistema audível soa como uma ressonância generalizada. É como se toda a sala estivesse microfonada; até mesmo os sons mais sutis são amplificados. O instrumento *Space Bass (1960)*, de Constance Demby, é ilustrativo – quando os diferentes gestos nas superfícies, mesmo os mais sutis, são englobados pelo timbre da ressonância da chapa metálica. Estamos diante de uma noção de espacialização sonora diferente da tradicional acusmática. Em suma, a espacialização multicanal no ecossistema audível adquire uma função primordialmente morfológica, e não mais atrelada a um tipo de composição espacial (BAALMAN, 2010). Nesse ambiente onde tudo parece estar ressonando, a discriminação da posição dos alto-falantes enquanto fontes sonoras na sala se torna difícil. Não há sensação de som vindo do alto-falante número um ou dois; da frente ou de trás, nem trajetórias de um lado ao outro¹⁰¹. Pelo contrário, o que prevalece é a sensação de um *som ao redor*. Por um lado, essa sensação é reforçada pela característica predominante de sons tipo senoidais e pela ausência de ataques. Mas por outro lado, é porque ouve-se a resposta da acústica da sala aos estímulos da retroalimentação como um todo; ouve-se as ressonâncias acústicas como uma contínua dissipação de energia; é o próprio processo de individuação que revela seu aspecto audível. Ao andar pela sala, é possível perceber variações tonais, não porque a configuração do ecossistema tenha mudado, mas porque se está transitando entre diferentes nichos acústicos – ver Figura 6.1. Obviamente, o próprio movimento do corpo pela sala age sobre as frequências ressonantes como uma superfície absorvedora, interrompendo a evolução de certas frequências. No entanto, vale notar que o que está em relevo aqui são as características acústicas da sala que, em situações comuns, não seriam tão aparentes.

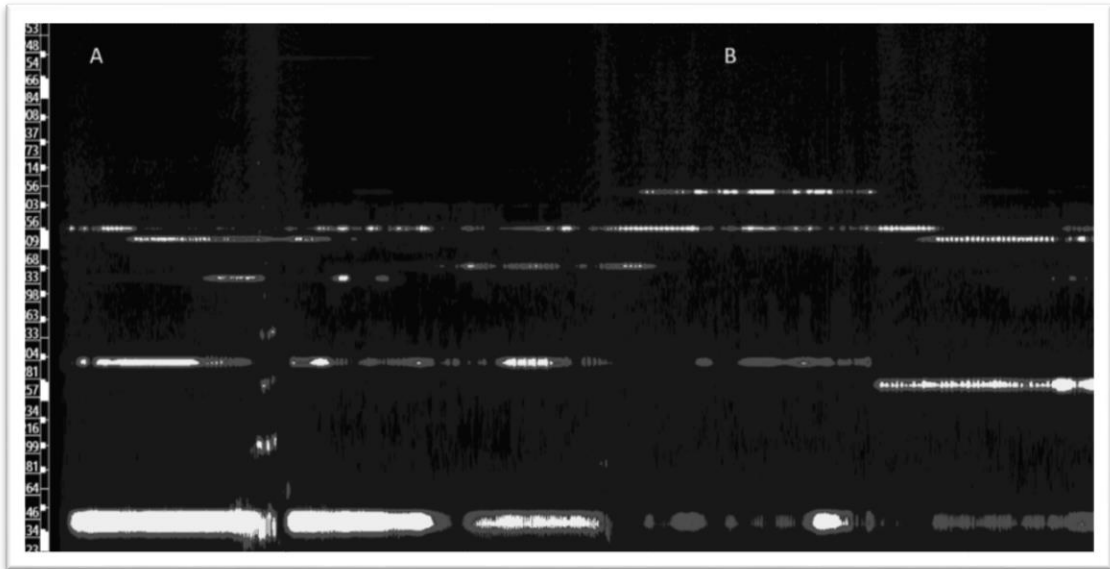
A ideia de nichos acústicos é elucidativa. Utilizamos o termo no mesmo sentido de Di Scipio, referindo-se ao espaço em torno dos microfones e à uma certa topologia da sala (DI SCIPIO, 2011; DI SCIPIO; SANFILIPPO, 2019, p. 39). Em *Background Noise Study with Mouth Performer (2008)*, de Agostino Di Scipio, a intérprete Natalia Pschenitschnikova, fazendo modulações com o trato vocal ao segurar um microfone dentro da boca, altera as

¹⁰¹ Obviamente, em uma situação de performance, é possível utilizar as duas abordagens de espacialização como complementares. Todavia, nos referimos aqui exclusivamente ao que tange o comportamento dos ecossistemas audíveis.

características do nicho acústico e, conseqüentemente, as propriedades sonoras emergentes do laço de retroalimentação (DI SCIPIO, 2011, p. 106). A peça *Nothing is Real* (1990), de Alvin Lucier, pode ser interpretada sob o mesmo viés. A parte gravada do piano é tocada por um pequeno alto-falante colocado dentro de um bule de chá, que funciona como uma câmara acústica. Alterando a posição e distância da tampa em relação ao bule o intérprete consegue diferentes configurações de ressonâncias. Não são ressonâncias poéticas, forjadas por algum tipo de instrumentação – como em Gérard Grisey, por exemplo. São ressonâncias reais, emergências das condições físicas do *lugar*. No caso de Lucier, não há laço de retroalimentação. Mas é muito semelhante em como funciona o espaço de agência em torno dos microfones e alto-falantes no ecossistema audível. Podemos ampliar o escopo. Abrindo e fechando as janelas e portas modificamos as dimensões da sala que, em certo aspecto, funciona como se estivéssemos dentro do bule de chá de Lucier.

Na área da bioacústica, a hipótese dos nichos acústicos aponta para um modo de organização de um ecossistema ao nível sonoro, em que espécies restringem-se a certas bandas de frequências para evitar conflitos ou competição (MASUMORI *et al.*, 2020). Segundo Krause, os nichos acústicos representam uma orquestração natural, “se uma criatura parar de vocalizar, outra se junta imediatamente ao coro para manter intacto esse bioespectro de áudio” (KRAUSE, 1993, p. 3). Nesse sentido, considera-se que a formação de nichos acústicos é uma organização natural do ecossistema audível, contendo ou não agentes humanos. As ressonâncias provocadas pelo laço de retroalimentação geram conflitos entre frequências – batimentos harmônicos e variações de amplitude – e a permanência de uma ou outra frequência reflete a evolução do ecossistema rumo ao equilíbrio.

Figura 6.1 – Variações nas formações espectrais indicando a presença de nichos acústicos¹⁰²



Fonte: o autor. Sonograma de pico de frequências mostrando variações espectrais de diferentes locais da sala, evidenciando a participação/interferência dos nichos acústicos na formação das topologias de retroalimentação.

A captação foi realizada por este autor caminhando pela sala com um gravador de mão. As frequências ressonantes se organizam de modo diferente em certos locais da sala, indicando a participação de diferentes nichos acústicos que atuam na constituição da topologia de retroalimentação em questão. Nenhuma alteração foi feita no sistema de controle. *A* e *B* indicam lados opostos da sala, e são apresentados na figura apenas como parâmetros para o leitor imaginar as diferenças sonoras no local.

Entender e usar a propriedade ecossistêmica de organização em nichos acústicos é a primeira estratégia de controle do Estudo Ecos, vinculada com o que está sendo chamado de *topologia de retroalimentação*. Na figura 6.2 podemos observar diferentes formações espectrais geradas por rotações de 90° de um microfone de padrão polar cardióide em torno de seu próprio eixo. Assim, em cada posição o microfone capta apenas uma parte das reflexões que atingem o nicho acústico, gerando uma topologia de laços de retroalimentação diferente a cada vez. Levando em conta que a área de captação do microfone se expande com relação ao nível de ganho do sinal, partimos do pressuposto inicial de que poder-se-ia explorar aspectos dos diferentes nichos acústicos posicionando microfones e alto-falantes em pontos específicos da sala e controlando digitalmente as rotas dos sinais, como em um mecanismo de mixagem comum. Esse mecanismo é simples quando se pensa nos extremos – microfone 1 com alto-falante 1 gera topologia 1 etc. No entanto, o verdadeiro desafio aparece quando nos deparamos com os pontos *entre* os extremos.

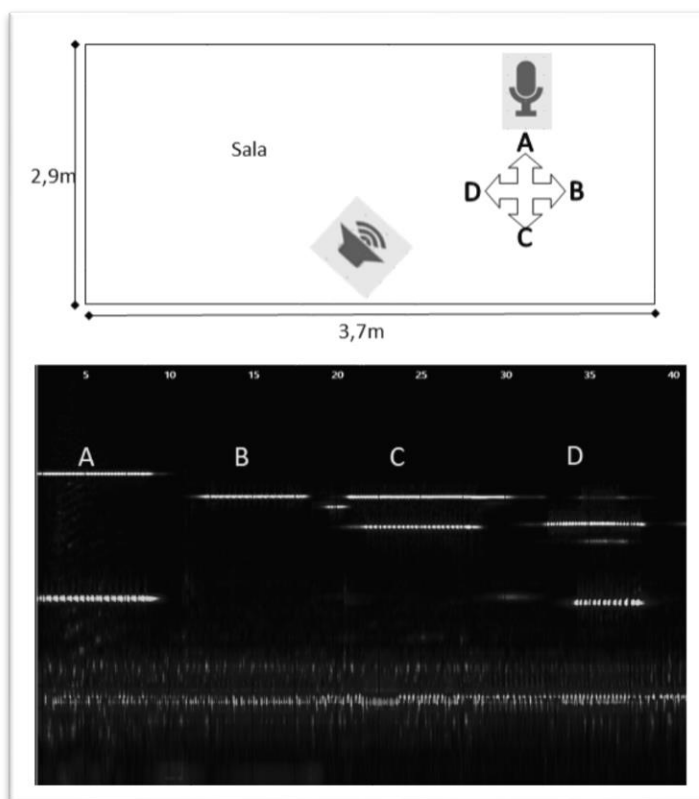
Tem-se aqui uma perspectiva tridimensional que relaciona a posição do microfone com alto-falante e nível de ganho, como mostrado na Figura 6.3. Considerando um único laço, tem-se apenas uma região de pontos intermediários no eixo vertical – da expansão espectral

¹⁰² Ver lista de vídeos (THOMASI, 2022).

condicionada ao nível do ganho. Ao inserir um segundo microfone, tem-se uma segunda região de pontos intermediários entre os sinais do laço 1 e do laço 2. No entanto, não se poderia implementar um controle de ganho que regulasse de modo automático um nível geral relativamente aos sinais das entradas 1 e 2, por exemplo, pois se estaria ignorando as especificidades de cada nicho acústico e dos próprios equipamentos: as topologias são pontos de ressonância e, portanto, se comportam diferentemente uma das outras. Em outras palavras, enquanto que em um sistema fechado a mixagem entre dois sinais distintos é feita com base no isomorfismo do parâmetro de intensidade – e então, independente do conteúdo espectral, passa-se a medir o nível em decibéis –, em um sistema aberto como os ecossistemas audíveis o nível do sinal está atrelado ao seu princípio formativo: a ressonância interna. Ou seja, o isomorfismo dos sinais funciona no ambiente digital ou no analógico, porém, o ecossistema audível não se reduz a nenhum deles. Não obstante, se já houver um laço de retroalimentação formado, ao abrir um segundo laço, o ponto crítico deste último também mudará, uma vez que o sistema já está em estado de metaestabilidade – condição para formação do primeiro laço. Como consequência, quando se tem dois laços simultâneos pode-se atingir o ponto crítico de ambos com níveis de ganho mais baixos, uma vez que eles se influenciam – ou, dependendo do caso, eles podem se anular e exigir ganhos mais altos. Ou seja, explorar o *entre*¹⁰³ das topologias extremas é um espaço frutífero para a performance. Di Scipio se refere a esse espaço de performance como o “meio experiencial do som” (DI SCIPIO; SANFILIPPO, 2017, p. 22), em que, em suma, diante da complexidade envolvida, a escuta e a experimentação local são as melhores alternativas.

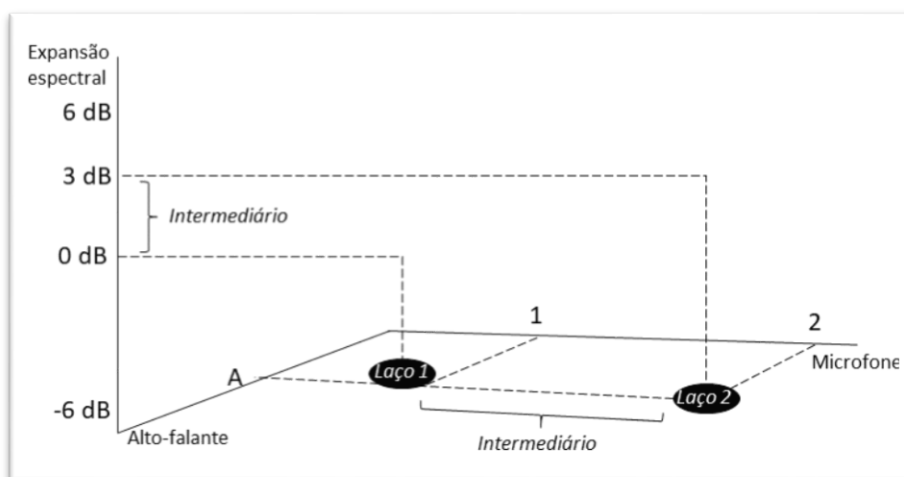
¹⁰³ Para debate específico sobre o termo *milleu* nesse contexto, ver Solomos (2018).

Figura 6.2 – Influência dos nichos acústicos na formação da topologia de retroalimentação.



Fonte: o autor. Sonograma de pico de frequências que mostra o espectro de áudio respectivo a cada uma das quatro posições do microfone, A, B, C e D, enfatizando a importância do nicho acústico na formação da topologia de retroalimentação.

Figura 6.3 – Relação entre laços de retroalimentação e expansão do espectro sonoro.

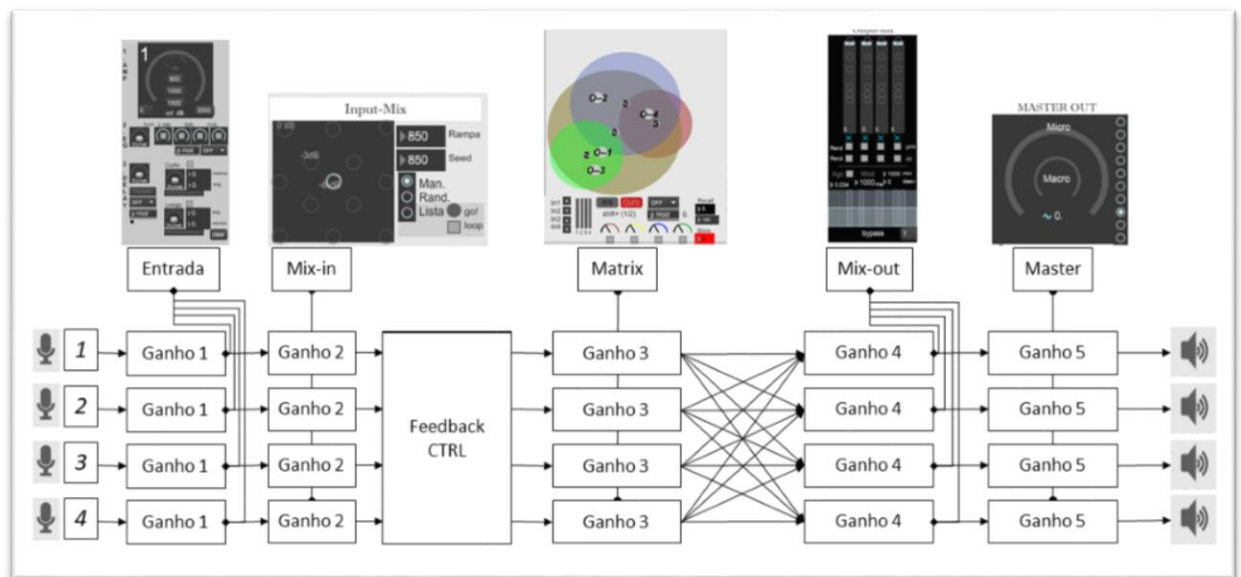


Fonte: o autor. Representação da relação tridimensional do controle de sinais do laço de retroalimentação entre: microfones, alto-falantes, a função de expansão espectral da estrutura de ganhos. Nota-se as respectivas regiões intermediárias para exploração de novas topologias no eixo horizontal e no eixo vertical.

Apresentam-se, então, duas diretrizes para a elaboração dos controles das topologias: a) controlar minuciosamente pequenas variações de amplitude e; b) mixar os sinais *em relação* um ao outro. Para a primeira, a implementação de um controle fino na entrada e saída do *patch*

foi suficiente. Já para a segunda, embora também envolva um balanço proporcional entre os sinais, utilizou-se como estratégia a descentralização dos controles de ganho no *patch* e a sua respectiva distribuição em cinco camadas de aplicação, como mostra a Figura 6.4, porém, restringindo o isomorfismo dos sinais ao ambiente digital e evidenciando a não-neutralidade das outras partes do Instrumento Espacial. Desse modo, configura-se os níveis da parte analógica em valores-padrão, fixos, e trabalha-se principalmente através da interface do *patch*. Essa abordagem nos permite lidar com controles lineares e previsíveis, registráveis em *presets*, porém, atrelados às especificidades reais do sistema. Após certo tempo de experimentação, é possível prever o resultado de certas ações, pois parte das condições iniciais são preservadas e recuperadas a cada mudança de estado. Nesse sentido, como argumenta Mudd (2017), a linearidade dos controles nos previne de surpresas indesejáveis, dando segurança para a performance ao mesmo tempo em que, no caso dos ecossistemas audíveis, é capaz de lidar com a complexidade das estruturas emergentes.

Figura 6.4 – Estrutura de ganhos em camadas



Fonte: o autor. Fluxograma da estrutura de ganhos do ambiente digital distribuída em cinco camadas de controle de ganhos. Na parte de cima, as imagens de como os dispositivos aparecem no *patch* do Instrumento Espacial.

Na camada de Ganho 1, cada sinal de entrada possui uma configuração de ganhos independente, permitindo ajustes finos com relação às especificidades de cada microfone. Na camada de Ganhos 2, um *patch* controla a distribuição de ganhos de um canal em relação ao outro. Por exemplo, no ponto central do plano cartesiano os quatro sinais de entrada são reduzidos em -6dB. Indo em direção ao canto esquerdo superior, no ponto intermediário, o sinal da entrada 1 aumentará em 3 dB enquanto que as outras três entradas serão atenuadas em 3dB.

No ponto extremo do canto esquerdo superior, o sinal da entrada 1 aumentará para 0 dB enquanto que as outras três entradas estarão fechadas. Embora seja um controle linear, alterando um nível em relação ao outro é possível chegar em combinações complexas, dada a especificidade de cada ponta – microfones e alto-falantes. Assim, o controle geral da camada 2 pode ser contrabalanceado com os controles específicos da camada 1. A camada de Ganhos 3 é a Matriz. Nela, entradas e saídas podem ser movidas independentemente, sendo que quanto mais próxima uma entrada de uma saída, maior o nível do sinal entre elas. O detalhe é que podemos ampliar o escopo de alcance de uma determinada entrada – assinalado na figura pelo diâmetro dos círculos – de modo a englobar várias saídas com diferentes níveis de ganho ou fazer mapeamentos mais complexos, como na Figura 6.4. Através da Matriz conseguimos criar laços ou combinações de laços independentes que podem ser ativados e desativados. Junto com a camada de Ganho 2, é possível explorar inúmeras combinações de laços. A camada de Ganho 4 faz uma mixagem independente para cada canal de saída, tanto dos sinais vindos da Matriz como dos planos de retroalimentação, que veremos adiante. Também possui um equalizador tipo *biquad* em cada canal, o que nos permite atenuar arbitrariamente bandas de frequências mais persistentes, abrindo espaço para o surgimento de outras frequências e retardando um possível estado de equilíbrio. Por último, a camada de Ganho 5 define os sinais de saída máster proporcionalmente nos quatro canais, com a diferença de que, após definido um nível base, é possível transitar entre variações de ganho muito pequenas através do controle fino – em certas condições de metaestabilidade, variações de ganho no sinal máster ao nível centesimal são suficientes para desencadear transformações no espectro. Contudo, considerando a grande quantidade de controle de níveis para se gerenciar durante a performance, implementou-se diferentes automações e memórias de *presets*, conseguindo uma interface ágil para lidar com a complexidade das topologias de retroalimentação.

6.2 CONTINUIDADE, TEXTURAS E MORFOLOGIAS

Lidar com a natureza sonora do ecossistema audível é um desafio criativo em si. Em contraposição com a vastidão das qualidades sonoras advindas da modelagem *dentro* do espectro do áudio, com técnicas de síntese e mixagem, tem-se aqui uma microfonia; uma sonoridade com poucos ou nenhum harmônico¹⁰⁴, que em um primeiro momento vai contra todos os parâmetros mais comuns de sonoridade musicalmente interessante. Todavia, no

¹⁰⁴ Em alguns casos, assemelhando-se a um tom puro.

contexto aqui abordado, parâmetros e conceitos comuns empregados na caracterização sonora não são mais suficientes, e precisam ser abandonados. O *modelo-envelope* que trata o som como uma estrutura temporal tripartida em ataque, continuação e término (SMALLEY, 1997; WISHART, 1994) torna-se insuficiente. Por um lado, porque modular o perfil dos sinais da maneira usual significaria anestesiá-lo a positividade da matéria¹⁰⁵. E por outro lado, pois não se tratam de controles abstratos sobre uma mídia que será modelada ou sobre uma informação que será sintetizada: o sistema digital não contém o som, pelo contrário, a informação trafega *através*. Nesse sentido, perspectivas atomistas do paradigma granular (ROADS, 2001; VAGIONE, 1991; XENAKIS, 1972) também são secundárias aqui, uma vez que não estamos lidando com uma arquitetura de aglutinações de ‘átomos sonoros’; o som não existe *a priori*, é uma emergência. Logo, pensar em um tipo de performance sonora estritamente controlada, com rotas escritas de antemão, seria igualmente incoerente com esta proposta, pois estaríamos contrariando o caráter irreversível do ecossistema e, portanto, não chegaríamos em resultados outros que não os mesmos alcançados por estes métodos quando aplicados em sistemas fechados de síntese sonora. Contudo, resistindo em apelar à emergência puramente enquanto conceito, tanto quanto em criar diferentes efeitos sonoros através e a partir de um gerador de som senoidal, parte-se da hipótese de que, se a microfonia inicial é uma emergência, então a) as ações da performance precisam estar focadas nos elementos de baixo-nível, que orientam os processos de emergência, como mencionado anteriormente, e b) podem existir meios de fazer com que a emergência evolua em níveis de complexidade, como na taxonomia de Fromm (2005).

Como vimos no capítulo 4.5, a primeira diretriz de implementação dos dispositivos de controle foi a preservação da sensibilidade às flutuações acústicas, pois sublinham o perfil de comportamento do ecossistema, evidenciado aqui pela organização de nichos acústicos e a relação direta com a formação de diferentes topologias de retroalimentação. No entanto, nossa hipótese estrutural para o ecossistema audível reside na própria formação do laço de retroalimentação, na microfonia em si. Sendo que, se por um lado, a segunda diretriz de implementação do controle de retroalimentação era a manutenção do caráter estrutural da microfonia gerada, preservando a continuidade do sinal, por outro lado, considera-se que *a possibilidade de evolução da estrutura emergente reside justamente em reestruturar o laço de retroalimentação* e, portanto, olhar para a continuidade do sinal enquanto um campo para incidência de novas informações.

¹⁰⁵ Ver capítulo 3.7

O perfil contínuo e textural das sonoridades do ecossistema assemelha-se a trabalhos como o *Music for a Long Thin Wire* (1977), de Alvin Lucier, e *The Long String Instrument* (1980), de Ellen Fullman. O primeiro sublinha as nuances da responsividade acústica e a resistência material que fazem do som contínuo uma textura cheia de movimentos: em nosso caso, instabilidades. Enfatiza as morfologias espectrais através da continuidade e simpatias harmônicas – em outras palavras, permanência e força da ressonância interna¹⁰⁶. O segundo, enfatiza a performance sobre as cordas, a importância da sensibilidade do toque, e a condição necessária do deslocamento físico pelo espaço da sala. O caráter contínuo do som se torna, assim, no Estudo Ecos, o próprio campo narrativo, o teatro das gestualidades sonoras; no sentido mesmo de uma paisagem sonoro-musical estável, como se refere Ferraz, um “lugar em que o fluxo é tal que mal se consegue distinguir objetos, onde há apenas a impressão de fluxo” (FERRAZ, 2020, p. 241). Ferraz traz a noção de textura e figura como duas fases dos fluxos sonoros, cujas interpolações definem suas fronteiras topológicas, sendo o gesto musical *um sinal* da presença do tempo. Segundo Ferraz,

Não conseguindo distinguir objetos, estes se fundem em uma trama sonora contínua, um longo pedal, uma nota suspensa no agudo... qualquer fluxo que não distinga mais de um objeto compreenderia, assim, uma prontidão para uma imagem, aqui a imagem de textura. Se, ouvindo esta paisagem de uma nota longa, a ela eu venha a interpor uma quebra com uma inflexão, a nota longa cambaleia e nasce assim a ideia de figura. O que era permanente, sem movimento, ganha um contorno e se fixa como contorno. A inflexão, neste caso, separou um antes e um depois, um acima e um abaixo, um próximo e um distante e, sobretudo, uma escuta textural de fluxo de uma escuta figural de contorno. Uma sequência rítmica é uma figura, uma melodia é uma figura (FERRAZ, 2020, p. 241).

Nesse sentido, as estratégias de controle para performance com o ecossistema audível estão centradas no próprio perfil contínuo das sonoridades, procurando *meios de amplificar* as saliências e as nuances que já estão presentes nas texturas, recorrendo aos padrões de instabilidades como diretrizes para sublinhar estruturalmente os movimentos que atravessam e constituem tais fluxos sonoros: as dinâmicas que caracterizam as texturas e as bifurcações que sinalizam as figuras.

As estratégias utilizadas para modulação da estrutura do sinal digital variam entre mais ou menos arbitrárias, sendo que, em ambos os casos, o foco está sempre na produção de emergências. Assim, as técnicas implementadas estão divididas em duas categorias: as que

¹⁰⁶ Ver Figura 5.9

modulam diretamente o sinal do laço, *impondo* uma forma ao sinal digital de modo a provocar uma emergência no todo; e as que inserem uma nova informação no laço *através* do sinal digital, de modo que a modulação provoque a emergência de singularidades latentes, relacionadas com as formas implícitas. Com o intuito de ilustrar como as implementações de estratégias de controle foram sistematizadas no Estudo Ecos, mostraremos a seguir estratégias utilizadas para alcançar saltos estruturais para emergências do Tipo 1, Tipo 2 e Tipo 3a, respectivamente.

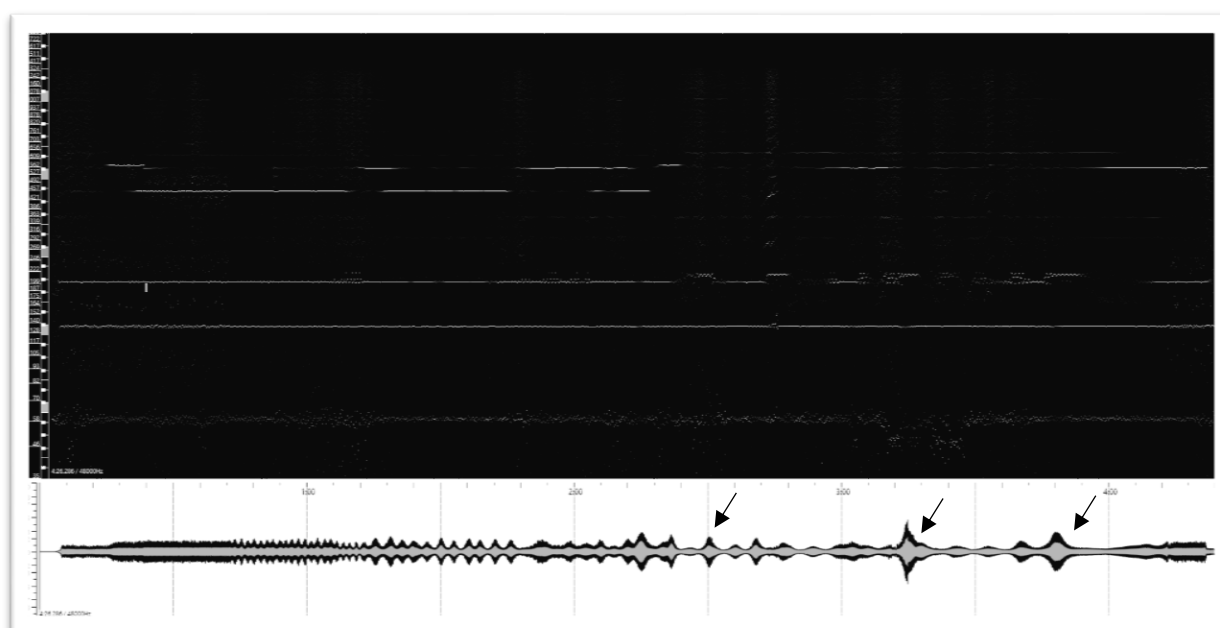
6.3 MODULAÇÃO DA ESTRUTURA DO SINAL DIGITAL

Na primeira categoria, que *modula diretamente o sinal do laço*, temos o próprio dispositivo de controle de retroalimentação e suas respectivas configurações. Na figura 6.5 pode-se ver as modulações de amplitude através da interpolação dos *frames* da ressíntese usando-se o objeto *vectral*¹⁰⁷. Nesse exemplo, a frequência da modulação não é uma emergência – embora também não seja resultado de ação direta, mas um efeito correlacionado –, pois é imposta alterando-se o tempo da interpolação entre os frames, funcionando como uma modulação por amplitude comum. Porém, em tempos longos o suficiente, a *permanência* do sinal modulado em uma determinada região de magnitude e fase, provocada pela lentidão da interpolação, faz com que o sinal do laço encontre ressonância no meio acústico, alcançando picos de amplitudes cada vez maiores. No caso, os momentos em que ocorrem um aumento exponencial de amplitude – as bolhas, como referiam-se Prigogine e Poincaré – são emergências. Um segundo exemplo é a variação do tempo de linhas de atraso inseridas em série no laço – ver Figura 6.6. Com a variação contínua, usando um oscilador de baixa frequência (LFO), conseguimos gerar um efeito de glissando semelhante ao tom de Shepard (RISSET; WESSEL, 1999), que, em si, não é emergência alguma – o efeito configura o Tipo 1a da taxonomia de Fromm. Mas, após alguns segundos do glissando inicial, os espaços entre as vozes diminuem progressivamente como efeito da instituição de uma ressonância entre elas, provocando o surgimento de uma continuidade nos harmônicos da parte superior do espectro. Assim, pouco a pouco, o efeito de glissando é mascarado pelas ressonâncias e o evento evolui para uma emergência Tipo 1b. A Figura 6.7 mostra outros resultados possíveis utilizando modulações diretas nos tempos das linhas de atraso. Na primeira, uma variação randômica cria um comportamento descontínuo sem que haja permanência em certa configuração a ponto de instituir-se uma ressonância mais persistente, porém, o suficiente para manter a continuidade

¹⁰⁷ Ver Figura 4.7

do laço de retroalimentação – do contrário, não haveria som –, ilustrando, assim, um tipo de instabilidade dinâmica. Segundo, uma variação periódica cria oscilações também periódicas e provoca o aparecimento de novos harmônicos em longo prazo, como efeito da permanência da informação através da regularidade da variação. E terceiro, linhas de atraso estáticas, porém muito curtas, modulam todo o espectro agindo como um filtro passa-baixas do algoritmo de Karplus e Strong (1983), sendo que as frequências geradas pela modulação provocam o surgimento de novos harmônicos.

Figura 6.5 – Estruturas emergentes por interpolação de *frames* via Transformada de Fourier de curta duração¹⁰⁸.



Fonte: o autor. Na parte inferior, a forma de onda mostra a diminuição progressiva da frequência de variação amplitude e respectivo aumento de amplitude em pontos de maior ressonância. Este efeito ocorre, pois, em frequências mais baixas de variação de amplitude tem-se uma maior permanência do sinal em certa região de magnitude e fase, privilegiando a retroalimentação. As amplitudes mais acentuadas, como as indicadas pelas setas, são formadas pelas bolhas de ressonância. Na parte superior, a mesma evolução mostrada em sonograma de pico de frequências. Nota-se a persistência das frequências mais agudas a cada mudança de frequência de modulação.

Vale notar que as variações dos parâmetros geradas no ambiente digital aparecem nos sons emergentes como *qualidades de comportamento*, ao passo que o conteúdo espectral continua vinculado às *qualidades do ecossistema* como um todo. Ou seja, os espectros sonoros provocados não são resultados diretos das modulações, mas emergências da nova estrutura do sinal digital. No instante em que os moduladores digitais são interrompidos, o espectro sonoro retorna para as formações iniciais. Assim, considera-se que existem dois planos de emergências. Um primeiro plano relacionado com as qualidades do ecossistema e às formações das

¹⁰⁸ Ver lista de vídeos (THOMASI, 2022).

topologias elementares que servem como território metaestável para a instituição do segundo plano de emergências que são provocadas pelas modulações da estrutura do sinal digital. Do contrário, a variação dos parâmetros sozinhos não produziria som. Desse modo, ao passo que as modulações do sinal digital em si não apresentam tipos de emergências superiores ao Tipo 1b – emergências que não possuem retorno do todo para as partes, ou seja, as modulações são insensíveis às emergências que provocam –, a incisão dessas modulações sobre o plano já emergente produz estruturas muito significativas, pois ao mesmo tempo que estão vinculadas a uma nova condição metaestável, elas mesmas podem criar novas condições de metaestabilidade que viabilizam o surgimento de novas estruturas. A ideia de que existem múltiplos planos de condições metaestável é consequência da organização estrutural multinível que está presente mesmo em emergências mais fracas: processo este que pode ser observado nas transformações espectrais que decorrem das múltiplas influências entre os harmônicos no meio acústico.

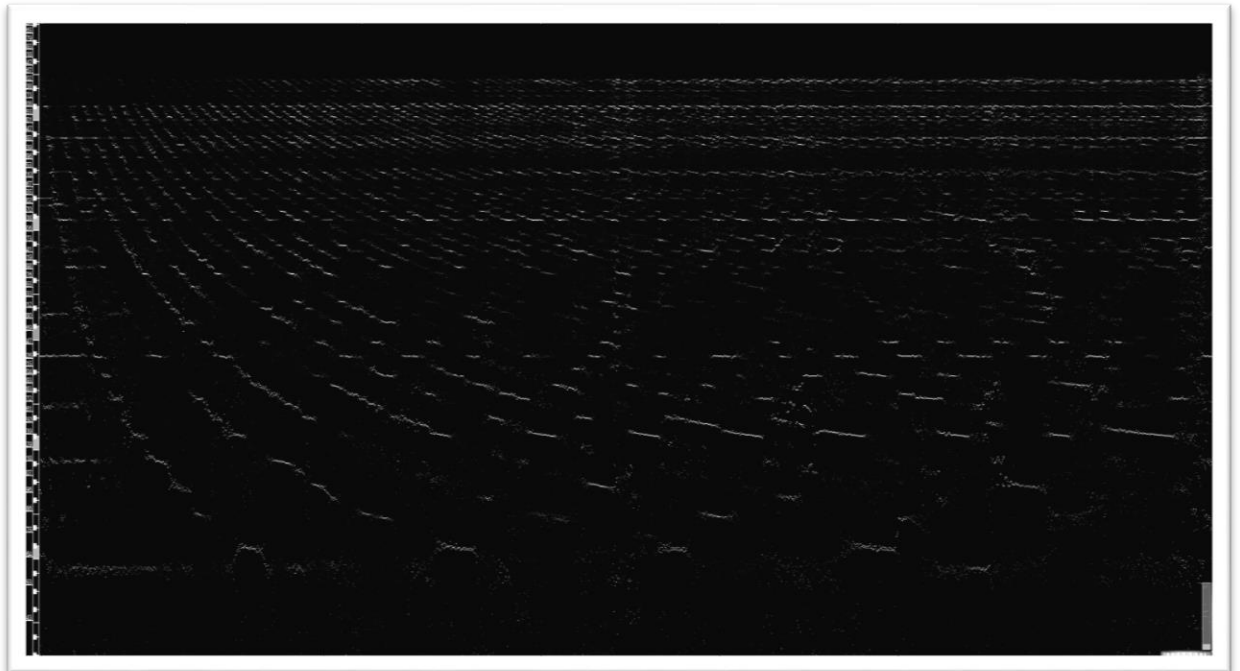
Novamente, as estruturas emergentes são analisadas de forma isolada para fins ilustrativos. É plausível pensar que, na complexidade da estrutura causal, boa parte dos componentes não possui sensibilidade ao todo, mas apenas à um aspecto do seu entorno. Ou seja, *existem múltiplos planos emergentes que se comunicam de diferentes modos*. Tomando como exemplo a Figura 6.6, podemos considerar que, por um lado, a emergência da textura harmônica provocada pelo efeito de glissando não provocará uma mudança no perfil do glissando, tampouco permanecerá em ressonância após o término do glissando, sendo assim, uma causação ascendente das partes para o todo que provocam a emergência da textura harmônica, como no Tipo 1b. Por outro lado, embora o efeito de glissando descendente gerado pela variação do tempo da linha de atraso seja insensível aos harmônicos superiores que provoca, ele é sensível ao fluxo do sinal de entrada e à periodicidade do sinal de controle. Ou seja, o mecanismo que provoca o efeito de glissando é uma parte do sistema que se relaciona com o todo por canais próprios, que podem ser diferentes do modo como fazem as outras partes ou subsistemas. O mecanismo é em si um subsistema que depende do retorno do sinal do todo emergente de forma correspondente à variação do parâmetro do sinal de controle para que ele possa existir: ele é uma singularidade¹⁰⁹. Nesse sentido, é preciso ter cautela ao considerar as correlações de causas como categorias de emergências, pois ao passo que são frutíferas enquanto diretrizes para ações e implementações em componentes de baixo-nível, tornam-se ciladas se tomadas pelo caráter redutível e classificatório¹¹⁰.

¹⁰⁹ Ver capítulo 3.5 e 3.6

¹¹⁰ Ver capítulo 3.3

Para além das técnicas de uso de linhas de atraso ou interpolação de *frames* via Transformada de Fourier de curta duração, evidencia-se aqui o papel da *ressonância interna* na formação das estruturas emergentes, uma vez que os métodos supracitados funcionam ao modular o sinal para uma certa banda de frequência mantendo-a durante tempo suficiente para que possa ressoar. Podemos deduzir que trata-se de um tipo de *correlação de causas por regularidade*, entre a modulação ‘cega’ que altera o sinal e as ressonâncias do ecossistema que tentam incorporar a variação rumo à uma estabilidade – sendo as ressonâncias fortes o bastante para provocar a emergência de estruturas novas. Assim, as diferentes formas emergentes devem-se às qualidades de *força e permanência* da ressonância interna, como indicado na Figura 5.9.

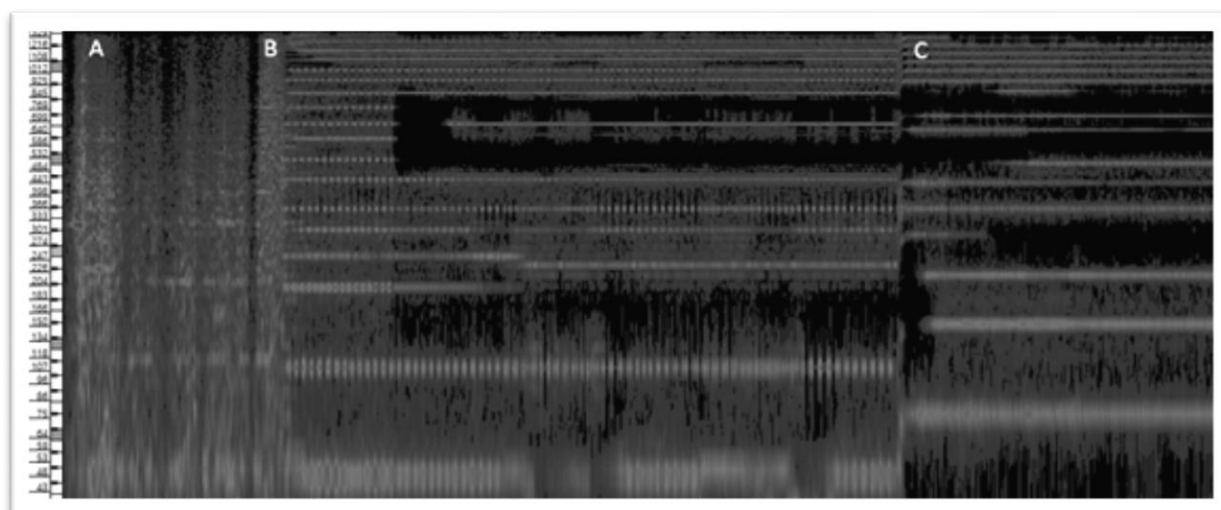
Figura 6.6 – Estruturas emergentes por variação de tempo de linha de atraso¹¹¹.



Fonte: o autor. Efeito de glissando gerado pela variação contínua do tempo da linha de atraso. Nota-se a formação dos harmônicos mais altos ao longo da evolução dos *glissandi* à medida que o acoplamento das frequências pelas ressonâncias internas cria uma continuidade dos sinais.

¹¹¹ Ver lista de vídeos (THOMASI, 2022).

Figura 6.7 – Diferentes configurações espectrais emergentes por variação do tempo de linhas de atraso¹¹².



Fonte: o autor. A) variação aleatória; B) variação periódica; C) sem variação, funcionando como filtro passa-baixas. Vale notar que a cissura aparente na parte B deve-se à mudança de parâmetros dos moduladores, tirando o sistema de um estado de grande saturação espectral e permitindo, assim, o surgimento de outros harmônicos e nuances.

Contudo, na perspectiva de uma estrutura narrativa-musical, estas técnicas mudam drasticamente o perfil sonoro e poderiam, sim, provocar impactos estruturais em uma peça musical. Mas, não é o caso quando o foco está sobre as instabilidades. Os resultados da modulação da estrutura do sinal digital podem apresentar um impacto estrutural no início e evoluírem em um processo de mudança de dinâmica, configurando novos perfis de instabilidades comportamentais. No entanto, geram pouco impacto estrutural a ponto de reconfigurar as relações mais elementares, mesmo quando se é considerado o segundo plano de emergências, como mencionado anteriormente. Considerando-se o movimento de transformação espectral como um todo, são instabilidades estáticas – após chegarem ao equilíbrio, não provocam mais bifurcações. Ou seja, a modulação da estrutura do sinal digital é uma estratégia que *sozinha* restringe a evolução do sistema. Nesse sentido, a segunda categoria, que *utiliza o laço como um meio* para se inserir novas informações, apresenta estratégias para provocar saltos estruturais maiores, porém, também exige um aumento da complexidade do sistema como um todo, alcançada por meio de uma noção de gerenciamento de laços de retroalimentação em planos independentes, como veremos a seguir.

¹¹² Ver lista de vídeos (THOMASI, 2022).

6.4 PLANOS DE RETROALIMENTAÇÃO E O MEIO ACÚSTICO COMO HUB

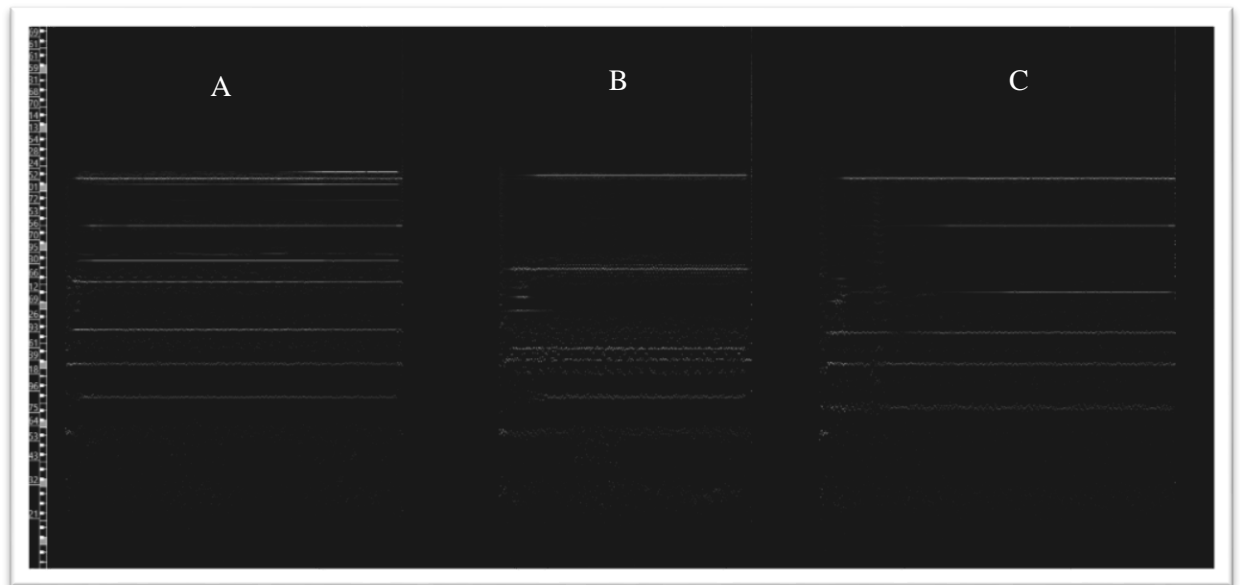
As topologias de retroalimentação aparecem como causa e consequência da emergência do ecossistema e das qualidades exibidas a partir das respectivas condições iniciais. Porém, ao passo que as topologias são indícios de organização, elas não fornecem um mecanismo de controle propriamente dito. Por *controle* referimo-nos à capacidade de influenciar as evoluções, mas principalmente, às ações que possam influenciar modos de organização para *outras direções* que não as possibilidades mais elementares das formações topológicas. Como mostrado na Figura 6.3, existem regiões intermediárias entre dois laços de retroalimentação¹¹³ que podem produzir outras topologias. Essas regiões intermediárias só são capazes de produzir *novas* topologias porque os laços de retroalimentação funcionam de maneira independente: seus sinais não se cruzam em nenhum momento senão quando no meio acústico. Por exemplo, se abrirmos um laço de retroalimentação com dois microfones e um alto-falante de modo que os dois sinais de entrada se misturem no ambiente digital, teremos uma gama reduzida de possibilidades, pois mesmo possuindo duas entradas eles formam um único laço com uma única extensão topológica. Porém, se trabalharmos os dois sinais independentemente no ambiente digital, as sonoridades serão misturadas apenas no meio acústico, sendo que assim, a mistura estará aberta à não-linearidade das flutuações e de outras interferências – ver Figura 6.8. Não obstante, se utilizarmos laços de retroalimentação totalmente independentes, tanto no digital quanto no analógico – demandando microfones e alto-falantes distintos para os dois laços – conseguiremos uma maior heterogeneidade entre as duas estruturas topológicas extremas, criando assim, uma região intermediária para produção de topologias com potencial de saltos estruturais muito maior. Esta estratégia é colocada em prática no que se chama de *planos de retroalimentação*.

Atuar em planos de retroalimentação não se restringe somente na criação de laços independentes através de entradas e saídas analógicas, mas também – e principalmente – através da multiplicação do sinal digital, construindo digitalmente novos laços que possam modular o sinal de um modo específico: *inserindo novas informações*. Levando em conta que todos os sinais estarão retornando de imediato por conta do laço de retroalimentação acústica-digital, os processos paralelos criados simplesmente enviam o sinal modulado para os alto-falantes, e o meio acústico se encarrega das misturas. Nos ecossistemas audíveis *o meio acústico é o hub*.

¹¹³ Mais especificamente, entre os canais de entrada e saída do sistema digital e respectivas qualidades de microfone e alto-falantes e nichos acústicos.

Assim, o roteamento do sinal de saída de um processo paralelo ou mesmo a distribuição de um mesmo sinal por diferentes saídas produz mudanças significativas nos resultados, uma vez que as informações terão impactos diferentes em cada nicho acústico – o que retornará para o sistema digital estará condicionado aos novos vínculos por ressonância interna que se estabelecerão tanto na incidência da informação vinda do alto-falante quanto na captação pelos microfones. Em suma, enquanto o controle da estrutura de ganhos permite a manutenção das condições metaestáveis, os planos de retroalimentação abrem um leque de possibilidades de geração de morfologias atuando diretamente nos pontos estruturais do ecossistema audível.

Figura 6.8 – Comparativo entre formação de laços de retroalimentação independentes



Fonte: o autor. Sonograma de pico de frequência mostra a diferença entre a mistura dos sinais no ambiente digital e o uso da estratégia de planos de retroalimentação. O sistema em questão possui duas entradas e duas saídas, podendo gerar dois laços independentes. Em A) o espectro foi gerado pela mistura dos dois sinais no ambiente digital. Em B e C o resultado de cada laço de retroalimentação independente.

Podemos classificar as estruturas emergentes a partir das estratégias de planos de retroalimentação como sendo do Tipo 2 da taxonomia de Fromm, uma vez que as modulações em nível basal tornam-se sensíveis às mudanças na macroforma. Linhas de atraso e filtros ressonantes têm funcionado bem para este propósito. O primeiro como memória, inserindo uma informação extraída do próprio sinal, porém, em outro momento. O segundo, como um tipo de excitador que ao longo das iterações amplifica singularidades que antes não eram percebidas ou que eram naturalmente atenuadas. Em ambos os casos, a informação incidente cria novos *pontos atratores que se estabelecerão diacronicamente* e, por isso, são capazes de alterar os

modos de organização do ecossistema¹¹⁴. Foram implementados sete *patches* como estratégias para atuar com os planos de retroalimentação, sendo três baseados em linhas de atraso, três em filtros ressonantes e um para controle de ganhos¹¹⁵.

6.4.1 Linhas de atraso

Nas Figuras 6.9 e 6.10 temos um sonograma de pico de frequências mostrando as transformações espectrais a partir da sobreposição de dois planos de retroalimentação, tendo um deles uma linha de atraso. É importante notar que, em nossos experimentos, temos observado certa invariância estrutural no que tange as distâncias criadas digitalmente através de linhas de atraso e *buffers* de entrada e saída¹¹⁶. Ao passo que mudanças mínimas nas distâncias e posições dos microfones alteram significativamente a qualidade e estrutura das topologias, mudanças teoricamente equivalentes na esfera digital apenas retardam ou aceleram as etapas de organização das frequências ressonantes, sem exercer grande impacto estrutural. Por outro lado, utilizando a estratégia de planos de retroalimentação, as linhas de atraso não mais funcionam como uma simulação de distância pelo atraso do sinal, mas como informação incidente, uma memória que retorna. De certo modo, é o que acontece na terceira variação da Figura 6.7, em que o sinal é duplicado em linhas de atraso com diferentes tamanhos. No entanto, a ideia principal aqui são modulações a longo prazo, tornando mais evidente o processo de morfologia do espectro sonoro ao longo do tempo de modo correspondente à evolução da estrutura emergente.

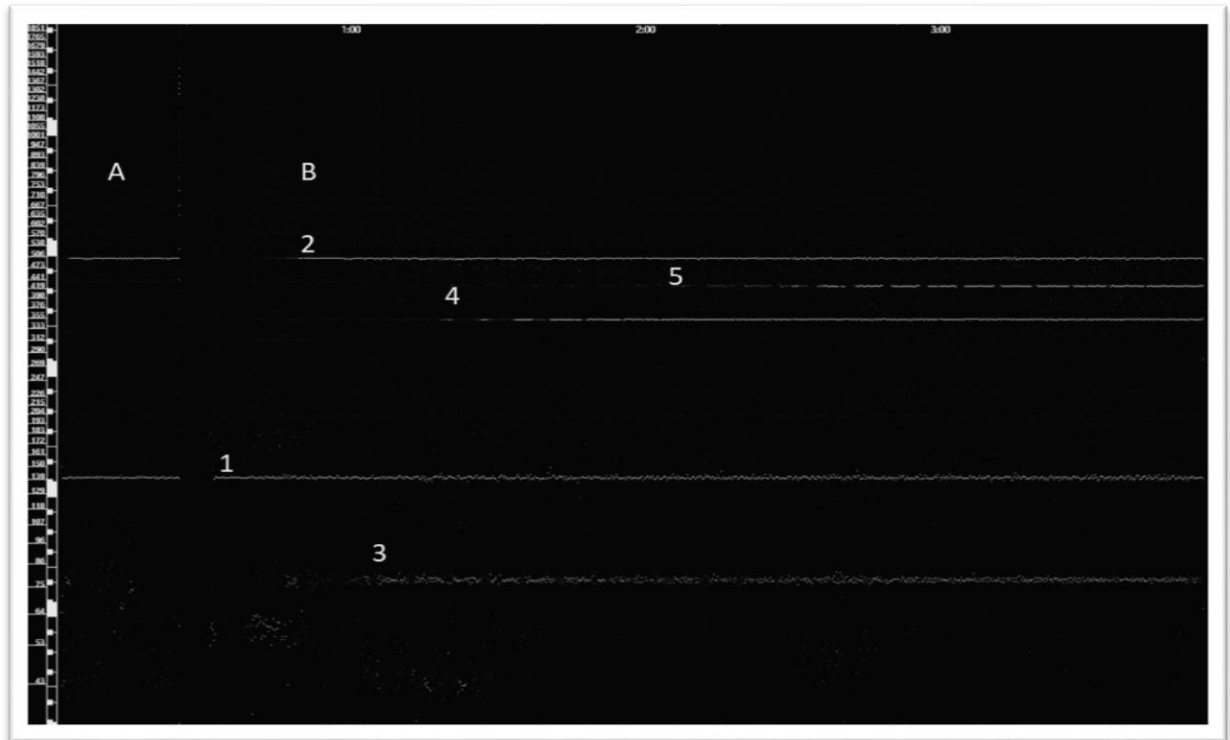
Foram implementados três *patches* para criar planos de retroalimentação com linhas de atraso. O primeiro, vinculado aos controles de entrada no *patch*, um para cada microfone, podendo gerar até dois planos paralelos ao sinal original de cada entrada. O segundo, um banco de oito linhas de atraso com modulações de tempo e ganho independentes. E o terceiro, uma linha de atraso com quatro saídas independentes cujos níveis podem ser compensados relativamente uns aos outros. Os dois últimos podem receber sinal de qualquer entrada, antes ou depois da Matriz – respectivamente, gerando uma nova combinação a partir de uma entrada independentemente da Matriz ou vinculando o novo laço às retroalimentações formadas pelas combinações na Matriz. Contudo, trabalhando as combinações entre os *patches* pode-se gerar morfologias totalmente diferentes partindo de um mesmo espectro emergente inicial.

¹¹⁴ Ver capítulo 3.7

¹¹⁵ Detalhes sobre os *patches* estão no Apêndice C.

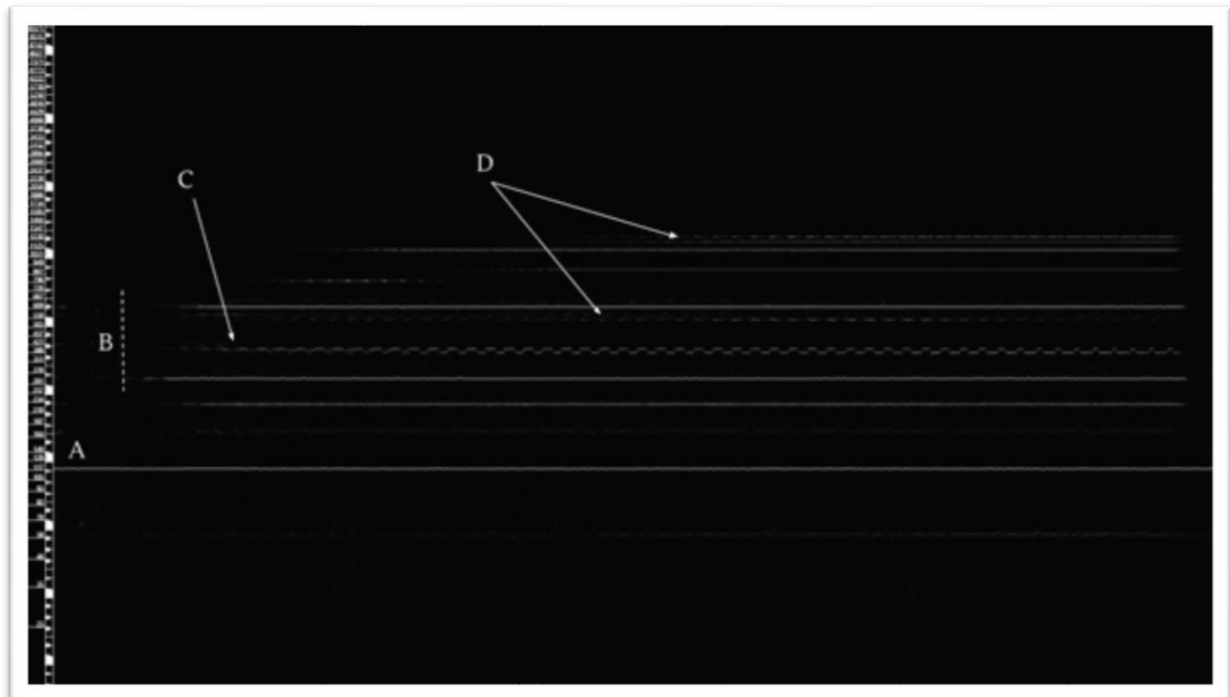
¹¹⁶ Ver detalhes no Apêndice B.

Figura 6.9 - Emergência de harmônicos por sobreposição de linhas de atraso.



Fonte: o autor. A parte A mostra as frequências emergentes do laço de retroalimentação original, enquanto que a parte B mostra a emergência dos harmônicos influenciados pela sobreposição de um laço paralelo com uma linha de atraso de 7,5 segundos. As frequências 1 e 2 são as originais, e as subsequentes são provocadas pela sobreposição, marcando aproximadamente 1) 142.4Hz; 2) 501.1Hz; 3) 78.7Hz; 4) 353Hz; 5) 429Hz.

Figura 6.10 – Laços de retroalimentação em planos¹¹⁷.



Fonte: o autor. Dois planos de retroalimentação sobrepostos ilustrando uma instabilidade dinâmica e um processo cumulativo, sendo A) o harmônico emergente do primeiro laço de retroalimentação; B) o espectro que se desdobra da sobreposição do segundo plano com uma linha de atraso de cinco segundos; C e D) a oscilação de frequência que aparece como um padrão de som emergente.

6.4.2 Filtros Ressonantes

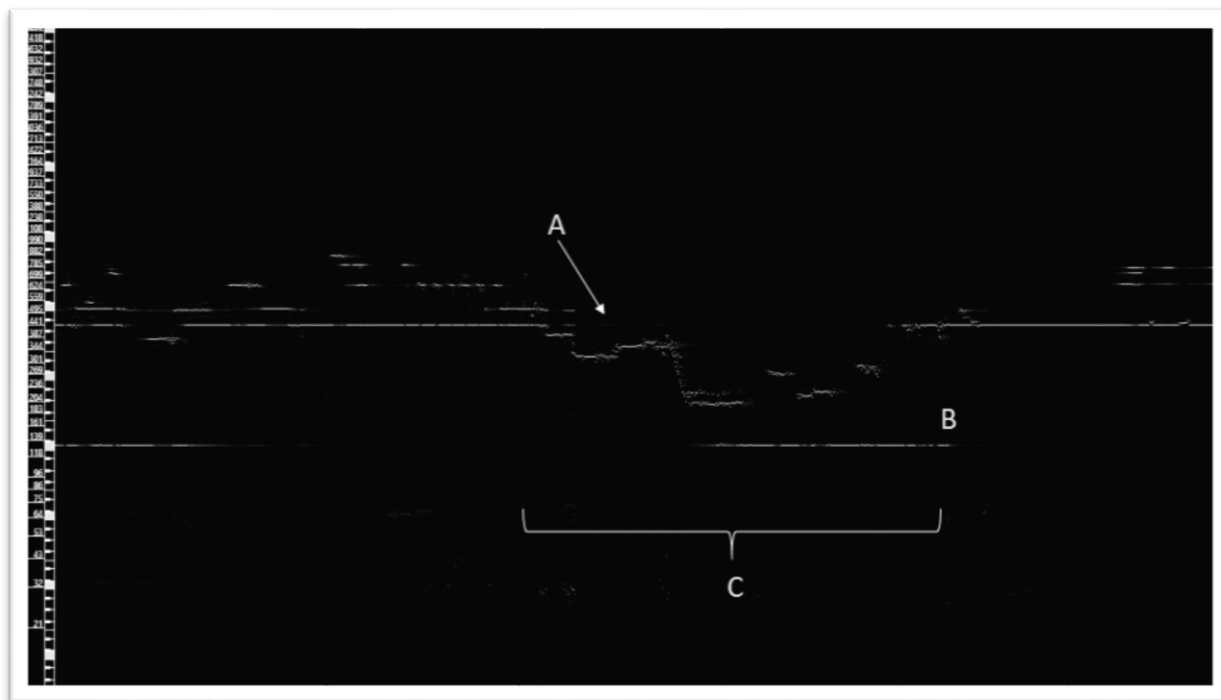
Na estratégia dos planos de retroalimentação os filtros ressonantes tornam-se atratores fortes, uma vez que o ganho na respectiva frequência aumenta exponencialmente devido à recursividade do laço e a ressonância do meio acústico. Assim, se o filtro estiver posicionado em uma banda de frequência que não possui ressonância com o meio acústico, ele não causará impacto. Por outro lado, ao encontrar ressonância no meio, a frequência do filtro começa a atrair as outras frequências ressonantes a ponto de mudar a topologia do espectro audível. Nesse sentido, foram realizadas três implementações. A primeira, um conjunto de quatro filtros ressonantes tipo passa-banda, que podem ser manipulados livremente pelo intérprete humano – ver Figura 6.11. O *patch* conta com um mapeamento entre frequências e interface de controle que permite o uso de escalas pré-configuráveis, permitindo que o controle da frequência dos filtros dê saltos de um valor ao outro, ao invés da variação linear que resulta sempre em movimento de glissando. Na segunda implementação é possível movimentar um filtro tipo passa-baixas ou passa-altas pelos quatro sinais de saída, explorando assim a distribuição da informação pelos diferentes nichos acústicos – ver Figura 6.12. Por exemplo, posicionando o filtro passa-baixas na saída número um, as outras três saídas serão filtradas de modo inversamente proporcional¹¹⁸, modulando também o tipo do filtro em modelos intermediários entre totalmente passa-baixas e totalmente passa-altas. Como resultado, enquanto o filtro amplifica uma banda de frequências mais baixa em uma saída, ele também amplifica bandas mais altas nas outras. Em alguns casos, essa estratégia provoca um estranhamento entre as frequências atratoras, causando instabilidades dinâmicas. Em outros casos, constitui-se uma ressonância entre as bandas de frequência o que leva a topologia para uma outra configuração, levando a um tipo de movimento como uma instabilidade estática. Vale notar que, se usada em um sistema fechado, esta implementação não altera o sinal de saída, pois dentro no ambiente digital todas as correlações entre os sinais são compensadas de modo a não impactar na estrutura de ganhos. Já a terceira implementação separa o sinal de entrada em quatro regiões via Transformada de Fourier de curta duração. Assim, as regiões espectrais como um todo são usadas para excitar as ressonâncias no meio acústico, ao invés da frequência de corte de um único filtro como na implementação anterior. Como mostra a Figura 6.13, utilizando interfaces de duas dimensões temos a possibilidade de explorar as regiões intermediárias entre as bandas

¹¹⁷ Ver lista de vídeos (THOMASI, 2022).

¹¹⁸ As razões entre as frequências dos filtros são pré-programadas e podem ser alteradas durante a performance, bem como a frequência do filtro principal.

de frequência e as saídas do *patch*, influenciando a organização das topologias em escopo mais amplo.

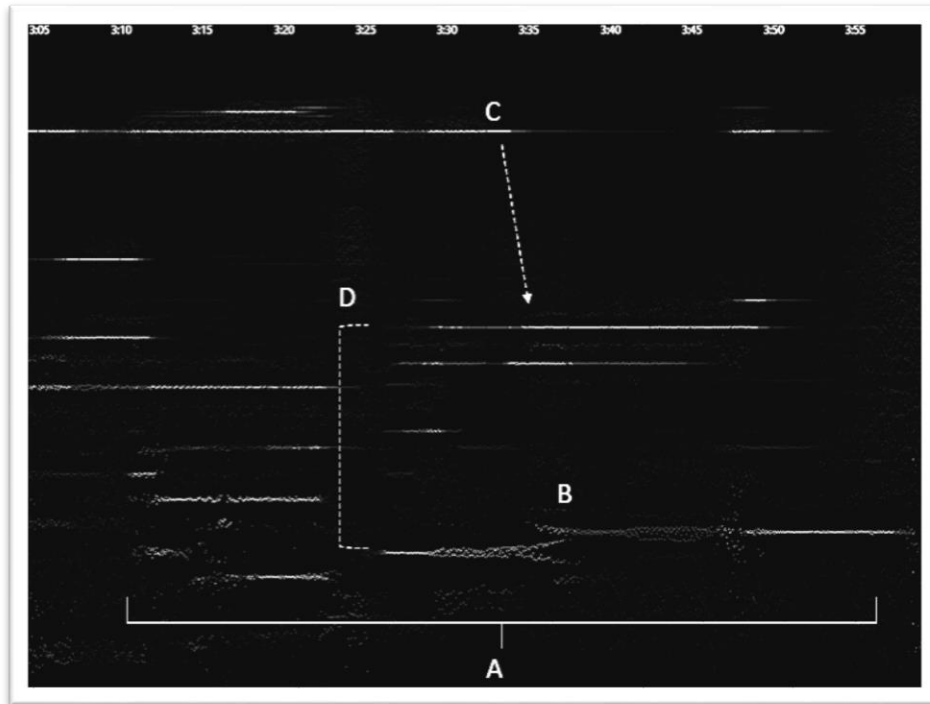
Figura 6.11 - Uso de filtros ressonantes como atratores fortes¹¹⁹.



Fonte: o autor. *A* mostra a modulação da frequência ressonante por manipulação do filtro. *B* mostra a frequência emergente e *C* indica o momento de instabilidade estrutural.

¹¹⁹ Ver lista de vídeos (THOMASI, 2022).

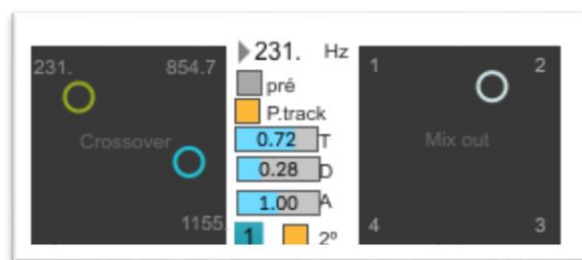
Figura 6.12 – Excitação de diferentes bandas de frequência com filtros ressonantes



Fonte: o autor. *A* indica a modulação em uma banda de frequência mais baixa chegando à estabilização da nova frequência no final. *B* indica as dinâmicas nas flutuações da frequência mais baixa até ela se estabilizar e ressoar com mais força. *C* indica a substituição de uma frequência mais alta por uma intermediária. *D* aponta para a instabilidade na frequência *B* que, aparentemente, foi causada pela persistência da frequência *C* intermediária, desde seu surgimento, sendo que após a estabilização de *B* a frequência *C* retorna para a posição mais alta.

Embora as correlações de causas sejam mais complexas, podemos imaginar o jogo de forças entre as ressonâncias e o papel que os filtros ressonadores podem exercer em privilegiar esta ou àquela tendência. Evidente também que não existe uma estratégia de controle de *uma* frequência, como em modelos comuns que lidam com osciladores ou bancos de filtros, mas sim o controle sobre a influência de organização do ecossistema audível como um todo.

Figura 6.13 – Exemplo de interface de controle de duas dimensões¹²⁰



Fonte: o autor. Do lado esquerdo, o quadrante usado para selecionar a região espectral ou regiões intermediárias. Do lado direito, as saídas para as quais o sinal será endereçado. No centro, um controle para vincular as frequências-limite das bandas às frequências ressonantes no meio acústico, criando um novo laço de retroalimentação. Os círculos em amarelo e azul, no quadrante à esquerda, são referentes a duas bandas espectrais distintas que funcionam como dois atratores concorrentes – enquanto o azul atrai para bandas mais agudas, o amarelo atrai para bandas mais graves.

¹²⁰ Ver lista de vídeos (THOMASI, 2022).

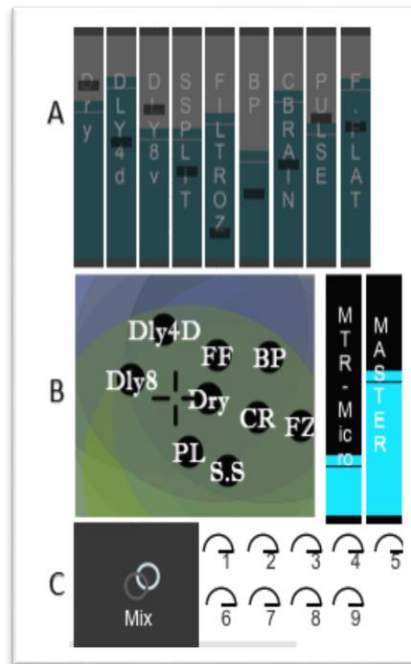
6.4.3 Uma nova camada de estrutura de ganhos

Como consequência da criação de planos, surge a necessidade de controle dos ganhos de cada camada com relação à estrutura de ganhos já existente¹²¹. Elaborou-se um esquema de controle em duas camadas – ver Figura 6.14 –, sendo a primeira a responsável pela mixagem direta e independente dos níveis de cada plano através de *faders*, e a segunda o controle relativo entre os planos, permitindo a criação de topologias por sobreposição de planos independentes, semelhante ao controle da Matriz. Desse modo, juntamente com a opção de roteamento do sinal do laço de retroalimentação para os processos paralelos, podendo ou não passar pela Matriz¹²², também é possível criar inúmeras formações de laços e explorar as regiões intermediárias de um modo intuitivo e não-linear, fazendo da escuta uma ferramenta indispensável. Nesse sentido, é de se imaginar que muito da performance com o ecossistema audível consiste na criação de planos e de diferentes modos de correlação entre os planos. Assim, o intérprete navega por estes territórios fazendo a ponte entre o *quanto* que o sistema digital pode provocar e o *como* que o ecossistema é capaz de responder, uma vez que cada contexto oferece condições particulares de metaestabilidade – e, portanto, de produção de estruturas emergentes.

¹²¹ Ver Figura 6.4

¹²² Ver Figura 4.5

Figura 6.14 – Interface para controle de ganhos entre vários planos de retroalimentação.



Fonte: o autor. *A* mostra um primeiro nível de ganho para cada plano. *B* mostra um segundo nível de ganhos, onde cada plano de retroalimentação corresponde à um círculo em preto nomeado, que aparece em *A* como indicadores em preto sobre os *faders*. Do mesmo modo que a Matriz, é possível agrupar os planos de retroalimentação independentemente, com níveis de ganho relativos aos diâmetros dos círculos e usando o controle de *C* para navegar entre os planos e criar *presets*.

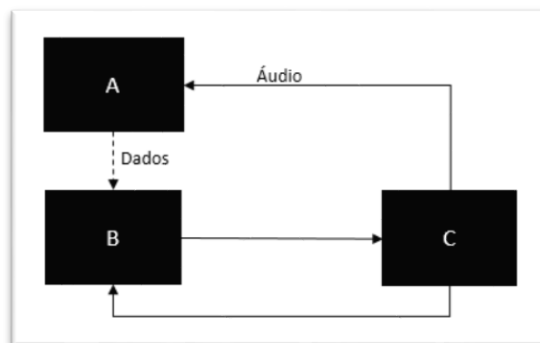
6.5 OUTROS PLANOS DE RETROALIMENTAÇÃO

Como estratégia para dar saltos estruturais maiores, e na tentativa de atingir emergências do Tipo 3a, implementou-se procedimentos de autorregulação extraindo informações das sonoridades emergentes e direcionando para as relações de base do sistema, assim, criando planos de retroalimentação de *outras naturezas*. O modelo está ilustrado na Figura 6.15. Tomando como exemplo a implementação da Figura 6.13, utilizamos o rastreamento de frequências (A) para regular as configurações de frequências de corte dos filtros (B). Assim, ao mesmo tempo em que os filtros influenciam as transformações das topologias de retroalimentação (C), são modulados pelas mesmas. Vale notar que os descritores de áudio são utilizados não para extrair uma informação abstraída dos sinais de entrada, mas como sensores que reagem analogicamente. O mapeamento do valor obtido é feito para um parâmetro de mesmo nexó operatório, e não mapeado para uma outra estrutura, como seria, por exemplo, se fosse endereçado para um banco de filtros para síntese subtrativa ou banco de osciladores para síntese aditiva. Ou seja, criou-se um nexó entre a *excitação de frequências* via filtro digital e via nichos acústicos, de modo que não é a informação precisa vinda do descritor de áudio que

produz a modulação, mas a direcionalidade para a qual essa informação aponta enquanto fluxo de dados.

Utilizando dois filtros atratores simultaneamente pode-se criar uma relação de equilíbrio metaestável em que a perturbação externa pode fazer com que o ecossistema evolua para uma ou outra topologia. Na Figura 6.16 temos um exemplo que foi gerado por um *patch* como o da Figura 6.13, sendo que um dos atratores puxa as ressonâncias para frequências baixas e outro para frequências altas. Em um primeiro momento, a força dos dois atratores se anulam e o espectro permanece quase estável. Porém, provocando um desvio mínimo – seja via interface digital agindo diretamente nos controles, seja agindo nos nichos acústicos –, um dos dois atratores é privilegiado a ponto de criar uma instabilidade estrutural dado o jogo de forças entre os atratores digitais e as respostas do meio acústico. Assim, o sistema bifurca para novos estados de dinâmicas ou mesmo para uma nova dimensão de topologia espectral, dependendo da força de atração.

Figura 6.15 - Modelo de autorregulação.



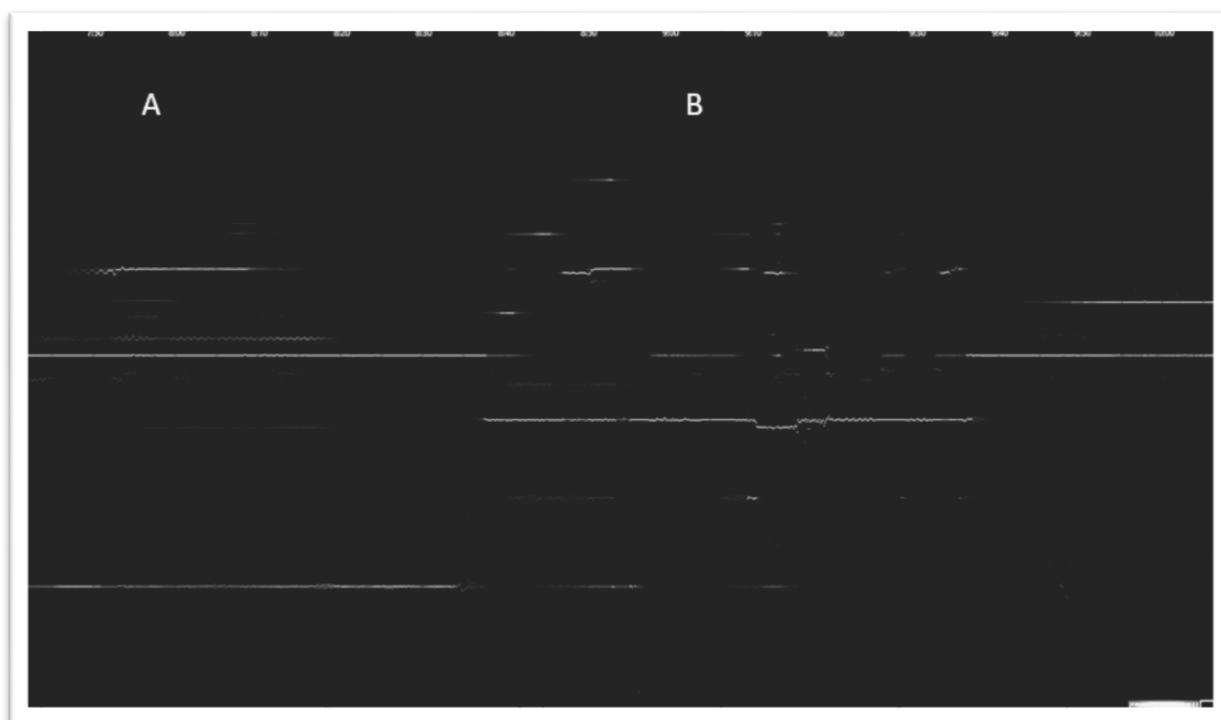
Fonte: o autor. *A* representa a etapa de análise do sinal de entrada. *B* o processo de modulação do sinal e *C* o resultado no âmbito sonoro que informa o sistema.

Outro exemplo é a utilização de controles autorreguláveis nas saídas do *patch*, atrelados à retornos de informações de amplitudes que causam impacto direto na instituição dos laços formadores do ecossistema. Assim, tomando como base o modelo da Figura 6.15, temos um rastreador de amplitude (*A*) que informa o controle de ganho de saída do respectivo canal (*B*) – vinculado a um alto-falante –, que influencia a intensidade sonora no meio acústico como um todo (*C*). Quando habilitado, esse controle automático de ganho regula o nível da respectiva saída de modo inversamente proporcional ao sinal de entrada. Aumentando o nível de ganho da saída, gera-se uma expansão espectral e aumento na intensidade da sonoridade global que, como consequência, implicará na diminuição do nível ganho, reduzindo a energia do laço ou mesmo extinguindo-o. Contudo, extinguindo ou habilitando determinado laço de retroalimentação,

rompe-se com a continuidade das sonoridades. A permanência de certa topologia de retroalimentação agora está vinculada à uma lógica de *intensidade sonora*. Em alguns momentos, pode-se extinguir as sonoridades do ecossistema, o que provocará princípios para possíveis reorganizações das topologias de retroalimentação, como um tipo de comportamento de ativação-inibição, como mostra a Figura 6.17.

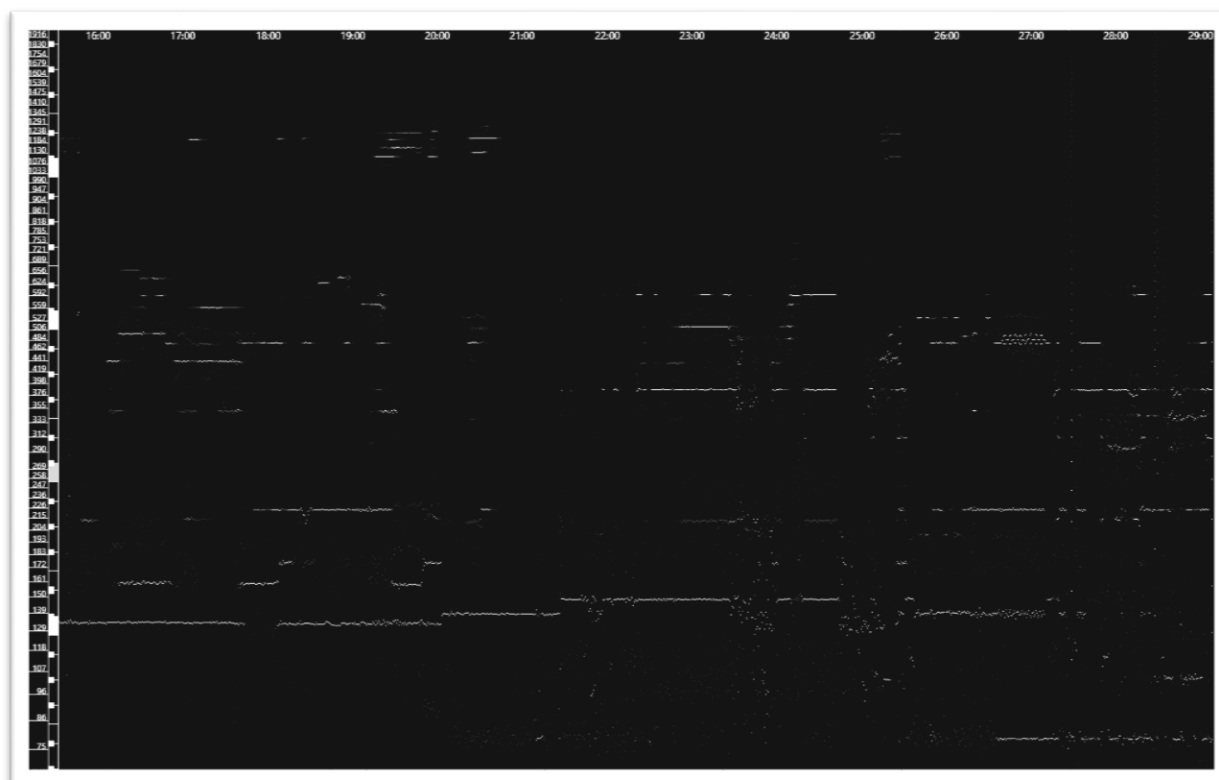
Desse modo, acredita-se ser possível adentrar no Tipo 3a da taxonomia de Fromm (2005) criando múltiplas retroalimentações, mesmo que ainda esteja em um nível pequeno de complexidade em comparação com o nível que esta categoria exige. É importante notar que a criação de planos de retroalimentação – considerando a multiplicação de sinais digitais e combinações não-lineares para geração de topologias –, não é por si só a responsável para atingir emergências do Tipo 3a. Mas sim, a criação de múltiplas retroalimentações de *diferentes naturezas* – sinal de áudio, dados extraídos de frequências, variações de fase, perfis de amplitude, entre outros sinais que possam ser criados digitalmente e usados como controle via retroalimentação. Assim, acredita-se que ao inter-relacionar controles de diferentes naturezas por diferentes lógicas é possível aumentar a complexidade do ecossistema, bem como as qualidades e quantidades de *pontos de interação* com o mesmo – constituindo, assim, diferentes espaços de performance. Nos exemplos anteriores, tanto a excitação de frequências quanto a intensidade sonora tornaram-se pontos estruturais que podem ser acessados tanto via meio acústico – com a ação de algum intérprete-instrumentista ou do público, por exemplo –, como por canais digitais diversos – por exemplo, criando redes entre computadores conectados ao ecossistema.

Figura 6.16 – Uso de filtros ressonantes como atratores fortes em sistema auto-regulável.



Fonte: o autor. *A* indica o momento em que os dois atratores estão em quase equilíbrio, e *B* o momento em que maior instabilidade.

Figura 6.17 – Efeitos da ativação-inibição e controle automático de ganho dos sinais nas saídas do *patch*¹²³.



Fonte: o autor. O sonograma de pico de frequências mostra momentos em que os laços de retroalimentação são interrompidos e ativados pelas variações no ganho dos sinais, gerando grandes impactos estruturais e a criação de nuances e espaços que ganham grande relevância dado o caráter contínuo das sonoridades.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Estudo Ecos iniciou como uma ideia artística e se transformou em metodologia e instrumento para pesquisa experimental sobre música e emergências. No mesmo sentido da fala de Ingold, em que “a luz inunda e o som afoga” (INGOLD, 2015, p. 209), o ecossistema audível nos permite mergulhar em um *todo emergente*, lidando com o som por sua própria natureza de *meio*; de interface pela qual podemos acessar e construir diferentes relações, lógicas e nexos. Embora as emergências já estejam presentes como teoria em diferentes poéticas musicais do século XX, é no modelo dos ecossistemas audíveis que conseguimos lidar mais concretamente e sistematicamente com a *modelagem de estruturas emergentes*¹²⁴: o sistema é simples o bastante para ser observado e estudado, mas complexo o suficiente para produzir estruturas emergentes de diferentes níveis, uma vez que o ecossistema cria um vínculo substancial entre a natureza da máquina e a complexidade do meio acústico. É nesse sentido que a estrutura do ecossistema audível acontece *antes e através* das interações entre os componentes¹²⁵.

Ao longo do Estudo Ecos foram propostas maneiras de usar criativamente as emergências, de conviver com e entendê-las através da experiência artística – um lugar que está bem além de resultados de criação fechados em obras musicais. Os experimentos salientaram, sobretudo, esboços de possíveis modelos para performance musical estruturados sobre o conceito de emergências que contrastam com noções mais tradicionais no campo da música eletroacústica¹²⁶, apontando para possíveis quebras de paradigmas reativos e/ou determinísticos em direção à uma perspectiva ecossistêmica. Nesse sentido, seria incoerente dizer que parte-se de *processos reativos locais* para gerar um *todo interativo*. Não se trata de reatividade pura, mas de modulações aninhadas. Os nexos criados proporcionam uma responsividade local que não é gerada por uma regra externa, mas pelas próprias *condições de troca* entre agente e meio, local e global. Assim, a tarefa de criar estratégias de controles está debruçada na modelagem de canais de comunicação entre componentes que estabelecem vínculos a partir de ressonâncias reais. Nessa perspectiva, migra-se de uma noção de compor interações para uma noção de *compor relações*, interconectando reatividades, interatividades, interdependências e diferentes correlações causais em baixo nível, de modo a *tornar os componentes sensíveis ao seu entorno*, em maior ou menor grau. É a sensibilidade ao entorno a própria condição de metaestabilidade e que inclui o *lugar* como parte ativa do sistema musical. Este posicionamento teórico permite

¹²⁴ Como mencionado no capítulo 2.3

¹²⁵ Como mencionado no capítulo 4.1

¹²⁶ Como mencionado no capítulo 5.1

lançar novos olhares tanto para a história da música eletroacústica quanto para os modos como se enfrenta, hoje, as problemáticas acerca dos instrumentos, modelos de performance e processos criativos vinculados à participação das máquinas: a música é como um sistema aberto. Assim, o questionamento sobre *a função das estruturas emergentes* em um dado sistema é pertinente quando a conceituação e a experiência com o fenômeno nos permitem delinear, dentre a complexidade da música enquanto sistema, *uma estrutura de relações que é, em si, um espaço narrativo*. Em outras palavras, as relações são consideradas dentro do âmbito da especificidade. Face a isto, surgem as questões: quais interatividades? Quais relações? E sobretudo, em quais níveis?

É com foco nas possíveis *relações em construção* que pensamos em uma metodologia amparada não por tipologias de sonoridades ou de movimentos de sonoridades, mas por uma tipologia de *quebras de simetria*: instabilidades, bifurcações e saltos estruturais que se reconfiguram dentro de suas próprias tipologias; uma perspectiva que permite enxergar as interpolações de operações que se convertem em estrutura e vice-versa (SIMONDON, 2020a, p. 571). As análises propostas são noções relativas que precisam ser interpretadas em cada contexto. Por isso a importância da simultaneidade de ações em nível micro e macroestrutural, como já defendiam Auyang (1998) e Fromm (2006). Na pesquisa realizada, faz-se ainda a distinção entre a estrutura do sistema construído e a estrutura do ecossistema emergente, já que, enquanto intérpretes ou inventores, a esfera operacional de implementação e desenvolvimento técnico não está nem no nível micro nem no nível macro, mas na modelagem de componentes de baixo nível. Ao estruturar o nível micro em topologias de retroalimentação e suas possíveis correlações causais, e o nível macro em perfis de instabilidades, criamos pontos de acesso indiretos pelos quais consegue-se influenciar o ecossistema e até mesmo interagir com ele. Observa-se, assim, que nem as instabilidades nem as estratégias de controle são válidas por si só.

É importante notar que ao falar em compor relações entre componentes de baixo-nível vai-se em direção contrária de abordagens atomistas que, grosso modo, programam os modos de interação entre as partes com vistas a um todo emergente. Como mostrado na Figura 5.9, todas as ações residem bem abaixo das interações, sendo que as relações compostas têm como objetivo tornar o sistema sensível, diferentemente de uma simples forma resultante em som, imagem ou algum arquétipo abstraído. A região intermediária entre os níveis micro e macroestruturais é inacessível devido à alta complexidade das interações entre os múltiplos planos emergentes que podem se formar, sendo que, criar relações neste nível seria, no máximo,

uma questão poética. Daí a importância do suporte teórico da taxonomia de emergências de Jochen Fromm, pois permite delinear as estruturas emergentes não por suas interações, mas pelos *limites e condições* de interação, classificando-as por sua capacidade de saltos estruturais. Embora seja explícita a necessidade de um maior detalhamento das emergências dos Tipos 2 e 3 – muito provavelmente expandindo-as para subcategorias ou mesmo para novos perfis tipológicos –, a taxonomia auxilia a estruturação de um pensamento que precisa transitar entre um emaranhado complexo, como é o caso da área musical.

Contudo, partimos inicialmente da hipótese de que poderíamos estabelecer estratégias de controle sobre estruturas emergentes através da instrumentalização do laço de retroalimentação acústica-digital, e desenvolvemos um protótipo chamado Instrumento Espacial, cujas implementações nos permitem modelar as relações que subjazem as emergências. Agora, oferece-se como resultado duas novas hipóteses: a) de que a possibilidade de *evolução da estrutura emergente* reside justamente em reestruturar o laço de retroalimentação, seja por meios físicos ou digitais; e b) de que a complexidade do ecossistema reside em *inter-relacionar planos de diferentes naturezas por nexos operatórios*. Os resultados obtidos podem ser considerados como pistas, *insights*, já que se finaliza esta etapa de pesquisa com novas hipóteses. As inúmeras ‘pontas soltas’ não evidenciam outra coisa senão o quão frutífero é o território dos ecossistemas audíveis para pesquisa em música e som, bem como sua pertinência para com as noções de ecologia e complexidade que permeiam o pensamento musical contemporâneo. Face a isto, não encontramos melhor maneira de expor os resultados desta pesquisa que em uma organização não-linear dos capítulos do presente texto, debatendo os resultados em seus respectivos contextos, porém, inter-relacionando-os horizontalmente, não como partes de um todo, mas como *vislumbres* de um pensamento ecossistêmico emergente de uma condição especial de performance musical.

Boa parte desta pesquisa aconteceu na tentativa de se entender o funcionamento do ecossistema construído. Não nos debruçamos sobre o estudo de simuladores digitais, tampouco nos dedicamos em aprimorar as implementações à título experimental de desenvolvimento de *software*, senão exclusivamente para adquirir ferramentas de interação e para conhecer a estrutura do ecossistema audível, que ainda é um objeto pouco estudado. Como mencionado nos capítulos 3.4 e 6.7, e apresentado em detalhes no Apêndice B, o ecossistema audível responde pouco às distâncias simuladas em meio digital através de linhas de atraso e *buffers* de entrada e saída. As invariâncias são muito relevantes para esta pesquisa, pois evidenciam a interdependência entre ambientes digital, acústico e analógico, que é uma condição especial do

ecossistema audível. As invariâncias no uso de linhas de atraso também evidenciam a efetividade da estratégia de criação de planos de retroalimentação, bem como o desafio de se romper as topologias mais elementares que se formam. Salienta-se, assim, que ainda é necessário maior aprofundamento no que tange as áreas do áudio e da acústica, ficando a cargo de possíveis desdobramentos desta pesquisa – como por exemplo, simular digitalmente a iteração proporcionada pelo laço de retroalimentação acústica-digital.

Desse modo, quando nos referimos às técnicas, não se trata de uma crítica pura e simplesmente aos métodos de simulação digital em prol de um novo modelo. Pelo contrário, trata-se de um modo de salientar a natureza singular dos ecossistemas audíveis, frente a qual podemos sublinhar quatro apontamentos que desafiam a correlação entre os ecossistemas e possíveis simuladores. Primeiramente, *a recursividade* e *a não-neutralidade* generalizada alteram as condições de comportamento de certos componentes tal qual conhecidos em seus contextos usuais. Mesmo se fosse proposta a implementação de um simulador *para* o ecossistema audível, como por exemplo, a simulação digital da acústica de uma sala, este simulador, no momento em que fosse acoplado ao sistema, tornar-se-ia parte da natureza do ecossistema e não mais simularia algo externo. Assim, passaria a estabelecer correlações reais com as condições oferecidas pelo ecossistema – ou seja, o simulador transformar-se-ia em um modulador funcionando em conjunção com a sala real do ecossistema, por exemplo.

Segundo, as singularidades estão presentes em nuances cuja simplificação, generalização ou transporte ainda não se mostram plenamente alcançáveis através de simulação digital. Ainda não encontramos tais singularidades, tal como as encontramos em um ecossistema audível, em condições que sejam simuláveis digitalmente – ou um modo em que possam ser implementadas de forma satisfatória. Terceiro, é uma abordagem que confronta a simulação digital justamente por apresentar em seu cerne a experiência com estruturas emergentes no plano material, físico, e não apenas no plano abstrato. Quarto, e por último, do ponto de vista da experiência artística, o modelo dos ecossistemas audíveis torna-se também um posicionamento político diante do desenvolvimento de ferramentas sonoras ilusionistas, meramente reativas e alicerçadas por automações avançadas que, alinhadas a demandas de mercado, têm neutralizado aspectos tão caros às artes musicais e levado a experiência sonora para lugares cada vez mais remotos e artificiais. Acredita-se que o estudo sobre os ecossistemas audíveis possa, assim, estimular novos olhares para a criação musical bem como para o desenvolvimento de ferramentas de produção sonora, simuladoras ou não.

REFERÊNCIAS¹²⁷

ABBOTT, Robert; HADZIKADIC, Mirsad. Complex Adaptive Systems, Systems Thinking, and Agent-Based Modeling. In: M. Hadžikadić and S. Avdaković (eds.), *Advanced Technologies, Systems, and Applications, Lecture Notes in Networks and Systems 3*. Springer International Publishing AG, 2017.

ALMEIDA-FILHO, Naomar de; COUTINHO, Denise. Causalidade, Contingência, Complexidade: o Futuro do Conceito de Risco. *PHYSIS*, 17(1), p. 95-137. Rio de Janeiro: Rev. Saúde Coletiva, 2007.

ASSIS, 2018, Paulo de. *Logic of Experimentation: rethinking music performance through artistic research*. Leuven University Press, 2018.

ASTRÖM, Karl; MURRAY, Richard. *Feedback Systems: an introduction for scientists and engineers*. New Jersey: Princeton University Press, 2019.

AUGOYARD, Jean-François; TORGUE, Henry. *Sonic Experience: a guide to everyday sounds*. Montreal: McGill-Queen's University Press, 2005.

AUYANG, Sunny Y. *Foundations of Complex-system Theories*. Cambridge University Press, 1998.

BAALMAN, Marije. Spatial Composition Techniques and Sound Spatialisation Technologies. *Organised Sound* 15 (3), p. 208-218. Cambridge University Press, 2010.

BAGGIO, Guido; PARRAVICINI, Andrea. Introduction to Pragmatism and Theories of Emergence. *European Journal of Pragmatism and American Philosophy. Symposia*, p. 4-13, 2019.

BAIN, Alexander. *Logic vol. 3*. Longmans, Green, Reader & Dyer, 1870.

BAR-YAM, Yaneer. *Dynamics of Complex System*. The Advance Book Program: Addison-Wesley, 1997

BAR-YAM, Yaneer. A mathematical theory of strong emergence using multiscale variety. *Complexity*. Willey Periodicals, 9 (6), p 15-25, 2004.

BASTOS FILHO, Jenner B. Causalidade, (in)determinismo e (im)previsibilidade. Por que o conceito de causa é tão importante? *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 30 (3), 3304, 2008.

BEDAU, Mark. Downward causation and the autonomy of weak emergence. *Principia*, 6(1), p. 5-50. Epistemology and Logic Research Group, Federal University of Santa Catarina (UFSC), Brazil, 2002.

¹²⁷ De acordo com a ABNT NBR 6023 2018

BERDAHL, Edgar; SMITH, Julius O. Feedback control of acoustic musical instruments: Collocated control using physical analogs. *Journal of Acoustical Society of America*, 131 (1), p. 963-973, 2012.

BERIO, Luciano. *Remembering the future*. Harvard, 2006.

BERTALANFFY, Ludwig von. *Teoria Geral dos Sistemas*. Trad. Francisco Guimarães. Petrópolis: Editora Vozes Ltda, 1973.

BILLOTTA, Eleonora; MIRANDA, Eduardo; PANTANO, Pietro; TODD, Peter. Artificial life models for musical applications: workshop report. *Artificial Life 8 (1)*, p. 83-86. MIT Press: Massachusetts, 2002.

BITTENCOURT, Pedro. The Performance of Agostino Di Scipio's Modes of Interference n.2: A Collaborative Balance. *Contemporary Music Review*, 33, p. 46-58, 2014.

BUDÓN, Osvaldo. Composing with Objects, Networks, and Time Scales: An Interview with Horacio Vaggione. *Computer Music Journal*, 24 (3), p. 9-22, 2000.

BORN, Georgina. Music and the materialization of identities. *Journal of Material Culture*, 16 (4), p. 346-388, SAGE, 2011.

BORRIAUD, Nicolas. *Pós-produção: como a arte reprograma o mundo contemporâneo*. Trad. Denise Bottmann. Martins Fontes: São Paulo, 2009.

BREGMAN, Albert. *Auditory Scene Analysis: the perceptual organization of sound*. MIT Press, 1994.

BURNS, Christopher. Emergent Behavior from Idiosyncratic Feedback Networks. *Proceedings of the International Conference on Computer Music*. ICCM, 2003

CAESAR, Rodolfo. *Círculos Ceifados*. Rio de Janeiro: 7Letras, 2008.

CANNAM, Chris. *Sonic Visualiser version 4.3*. Queen Mary, University of London, 2020.

CHADABE, Joel. *Electric Sound: the past and promise of electronic music*. New Jersey: Prentice Hall, 1997.

CHADABE, Joel. The history of electronic music as a reflection of structural paradigms. *Leonardo Music Journal*, 6, p. 41-44. MIT Press, 1996.

CHION, Michel. *Música, Media e Tecnologias*. Instituto Piaget, 1994.

CILLIERS, Paul. *Complexity and postmodernism Understanding complex systems*. Routledge, 1998.

COLCHESTER, Joss. *Nonlinear Feedback Loops*, 2016. Disponível em <<https://systemsinnovation.io/books>>. Acesso em março de 2022.

COLLINS, Nicolas. *Pea Soup, instructions for set-up and performance*, 2011. Disponível em < www.nicolascollins.com/aboutpeasoup.html >

COLLINS, Nicolas. *Pea Soup: A History*, 2014. Disponível em < www.nicolascollins.com/aboutpeasoup.html >

CYCLING74. Reson~ Reference: Resonant bandpass filter. *Max v7.3.6 Documentation*, 2022. Disponível em < <https://docs.cycling74.com/max7/refpages/reson~> > acesso em março de 2022.

DI SCIPIO, Agostino. Micro-time Sonic Design and Timbre Formation. *Contemporary Music Review*, 10 (2), p. 135-148, 1994a.

DI SCIPIO, Agostino. Formal processes to timbre composition challenging the dualistic paradigma of computer music: a study in composition theory. *Proceedings of the International Computer Music Conference (ICMC94)*, p. 202-210, 1994b.

DI SCIPIO, Agostino. Clarification on Xenakis: the Cybernetics of Stochastic Music. *Symposium Présences de Iannis Xenakis*. Centre de Documentation de la Musique Contemporaine et Radio France: Paris, 1998

DI SCIPIO, Agostino. Synthesis of environmental sound textures by iterated nonlinear functions. *Proceedings of the 2nd COST G-6 Workshop on Digital Audio Effects (DAFx99)*, NTNU: Trondheim, 1999.

DI SCIPIO, Agostino. Systems of Embers, Dust, and Clouds: Observations after Xenakis and Brün. *Computer Music Journal*, 26 (1), p. 22–32, 2002.

DI SCIPIO, Agostino. Sound is the interface?: from interactive to ecosystemic signal processing. *Organised Sound*, 8(3), p. 269–277. Cambridge University Press, 2003.

DI SCIPIO, Agostino. *Using PD for Live Interactions in Sound: An Exploratory Approach*, 2006. Disponível em < https://www.researchgate.net/publication/237367943_Using_PD_for_Live_Interactions_in_Sound_An_Exploratory_Approach >. Acesso em março de 2022.

DI SCIPIO, Agostino. Modes of interference / 3. *Appareil [Online]*, 5, 2010

DI SCIPIO, Agostino. Listening to yourself through the otherself: on background noise study and other works. *Organised Sound* 16 (2), p. 97-108. Cambridge University Press, 2011.

DI SCIPIO, Agostino. A Constructivist Gesture of Deconstruction. Sound as a Cognitive Medium. *Contemporary Music Review*, 33 (1), p. 87-102, 2014a.

DI SCIPIO, Agostino. The place and meaning of computing in a sound relationship of man, machines, and environment. *Proceedings ICMC/SMC/2014*, p. 14-20, 2014b.

DI SCIPIO, Agostino. Dwelling in a field of sonic relationships: instrument and listening in an ecosystemic view of live electronics performance. In: Sallis et al. (ed.). *Live electronic music: composition, performance, study*. Taylor & Francis: Routledge, 2017.

DI SCIPIO, Agostino. A Relational Ontology of Feedback: Situated sound-making in the Audible EcoSystemics project. *Echo, a journal of music, thought and technology* (3), 2022. Disponível em <<https://echo.orpheusinstituut.be/article/a-relational-ontology-of-feedback>>

DI SCIPIO, Agostino; PRIGANO, Ignazio. Synthesis by functional iterations: a revitalization of nonstandard synthesis. *Journal of New Music*, 25, p. 31-46. 1996.

DI SCIPIO, Agostino; SANFILIPPO, Dario. Environment-Mediated Coupling of Autonomous Sound-Generating Systems in Live Performance: An Overview of the Machine Milieu Project. *Proceedings of the 14th Sound and Music Computing Conference, Finland (SMC2017)*, p. 21-27, 2017.

DI SCIPIO, Agostino; SANFILIPPO, Dario. Defining Ecosystemic Agency in Live Performance. The Machine Milieu Project as Practice-Based Research. *Array2019 – Agency*. International Computer Music Association, p.28-43, 2019.

DUDAS, Richard; LIPPE, Cort. *The Phase Vocoder - part 1*. In: Cycling74, 2006. Disponível em < <https://cycling74.com/tutorials/the-phase-vocoder-%E2%80%93-part-i>>. Acesso em março de 2022.

DUHAUTPAS, Frédéric; SOLOMOS, Makis. Hildegard Westerkamp and the Ecology of Sound as Experience. Notes on Beneath the Forest Floor. Soundscape, *The Journal of Acoustic Ecology*, 13 (1), p. 6-10, 2014.

EARGLE, John. *The Microphone Book*. Focal Press, Elsevier, 2005.

FARIA, Regis R. A. The tempered space on the design of spatial musical instruments. *18º International Congress on Sound & Vibration (ICSV18)*, 2011.

FARINA, Almo; REID, Vanessa. The ecological role of sound in terrestrial and aquatic landscape: theories, methods and applications of ecoacoustics. *Biodiversity*, 21(1), p. 1-3, 2020.

FARMER, Doyne J.; GEANAKOPOLOS, John. *Power laws in finance and their implications for economic theory*, 2004.

FERRAZ, Silvio. Rascunho: A Presença do Papel, da Escuta e do Tempo. *ORPHEU*, 5 (1), p. 230-638, 2020.

FLUSSER, Vilém. *Filosofia da caixa preta: ensaios para uma futura filosofia da fotografia*. Coleção Conexões. Rio de Janeiro: Sinergia Relume Dumará, 2009.

FROMM, Jochen. Types and forms of emergence. In: arXiv: *Adaptation and Self-Organizing Systems*, 2005a. Disponível em <[arXiv:nlin/0506028v1](https://arxiv.org/abs/nlin/0506028v1)>. Acesso em março de 2022.

FROMM, Jochen. Ten Questions about Emergence. In: arXiv: *Adaptation and Self-Organizing Systems*, 2005b. Disponível em < <https://arxiv.org/abs/nlin/0509049> >. Acesso em março de 2022.

FROMM, Jochen. On Engineering and Emergence. In: arXiv: *Adaptation and Self-Organizing Systems*, 2006. Disponível em < <https://arxiv.org/abs/nlin/0601002> >. Acesso em março de 2022.

GREEN, Owen. Audible Ecosystemics as Artefactual Assemblages: Thoughts on Making and Knowing Prompted by Practical Investigation of Di Scipio's Work. *Contemporary Music Review*, 33 (1), p. 59-70, 2014.

HAJDA, John. The effect of dynamic acoustical features on musical timbre. In: BEAUCHAMP, James (ed.). *Analysis, Synthesis, and Perception of Musical Sounds: The Sound of Music*, p. 250-268. Springer, 2007.

HANSLER, Eberhard; SCHMIDT, Gerhard. *Acoustic Echo and Noise Control: A Practical Approach*. John Wiley & Sons, 2004.

HELMHOLTZ, Hermann. *On the sensations of tone*. Dover Publications, 1954.

HOFFMAN, Robin. *Oehr, für Hören Solo*. Partitura, 2006.

HOFKIRCHNER, Wolfgang; SCHAFRANEK, Matthias. General System Theory. In: Hooker (ed.), *Handbook of the Philosophy of Science*, 10, p. 177-194. Elsevier, 2011

HOLLAND, John. *Hidden Order: How Adaptation Builds Complexity*. Helix Books, 1995.

HOLLAND, John. Studying complex adaptive systems. *Jrl Syst Sci & Complexity*, 19, p. 1-8, Springer, 2006.

HOLOPAINEN, Risto. *Self-organised Sound with Autonomous Instruments: Aesthetics and experiments*. Tese de doutorado. Department of Musicology, University of Oslo, 2012.

HOOKER, Cliff. Conceptualizing reduction, Emergence and self-organization in complex dynamical systems. *Handbook of the Philosophy of Science*, v.10, *Philosophy of Complex Systems*. Elsevier BV, 2011

HOOKER, Cliff. On the Import of Constraints in Complex Dynamical Systems. *Journal of Foundations of Science*, 18 (4), 2012.

IAZZETTA, Fernando. *Música e Mediação Tecnológica*. São Paulo: Perspectiva, 2009.

IMPETT, Jonathan. What are we making? The work-without-content in live computer music. *Proceedings of the International Computer Music Conference*. University of Huddersfield, p. 456-459, 2011.

IMPETT, Jonathan. Speak: active sound-space and the performer. *Re-new Conference Proceeding*, p. 128-133, 2013.

INGOLD, Tim. *Estar Vivo: Ensaio sobre movimento, conhecimento e descrição*. Trad. Fábio Creder. Petrópolis: Editora Vozes, 2015.

JOHNSON, Colin; CARBALLAL, Adrian; CORREIA, João (ed.). *Evolutionary and Biologically Inspired Music, Sound, Art and Design*. 4th International Conference, EvoMUSART, 2015.

JOHNSON, Steven. *Emergência: a dinâmica de rede em formigas, cérebros, cidades e softwares*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2003.

JONES, Stephen. Organizing relations and emergence. *Artificial Life*, 8, p. 418-422. MIT Press, 2002.

KARPLUS, Kevin; STRONG, Alex. Digital Synthesis of Plucked-String and Drum Timbres. *Computer Music Journal*, 7 (2). MIT Press, 1983.

KELLER, Damián. Compositional processes from an ecological perspective. *Leonardo Music Journal*, 10, p. 55–60, 2000.

KELLER; Damián; CAPASSO, Adriana. New concepts and techniques in eco-composition. *Organised Sound*, 11 (1), p. 55-62, 2006.

KELLER, Damián; LAZZARINI, Victor. Ecologically Grounded Creative Practices in Ubiquitous Music. *Organised Sound* 22(1), p. 61–72, 2017.

KELLER, Damián; TRUAX, Barry. Ecologically-based granular synthesis. *Proceedings of the International Computer Music Conference (ICMC98)*, 1998.

KENDALL, Garry S. The Decorrelation of Audio Signals and Its Impact on Spatial Imagery. *Computer Music Journal*, 19, (4), p. 71-87, 1995.

KIM, Jaegwon. *Philosophy of Mind*. 2ed. Westview Press, 2006a.

KIM, Jaegwon. Emergence: core ideas and issues. *Synthese*, 151, p. 547-559. Springer, 2006b.

KIM, Seunghun; NAM, Juhan; WAKEFIELD, Graham. Toward certain sonic properties of an audio feedback system by evolutionary control of second-order structures. *Lecture Notes in Computer Science*, 9027, p. 113-124. Springer, 2015.

KOLLIAS, Phivos-Angelos. Music and systems thinking: Xenakis, Di Scipio and a systemic model of symbolic music. *Electroacoustic Music Studies Network International Conference*. EMS: Paris, 2008

KOLLIAS, Phivos-Angelos. Ephemeron: control over self-organised music. *Hz Music Journal*, 14, 2009.

KOLLIAS, Phivos-Angelos. Iannis Xenakis and systems thinking. *Proceedings of the Xenakis International Symposium*, Southbank Centre, London, 2011.

- KOLLIAS, Phivos-Angelos. Overviewing a Field of Self--Organising Music Interfaces: Autonomous, Distributed, Environmentally Aware, Feedback Systems. *ACM Conference on Intelligent User Interfaces, Intelligent Music Interfaces for Listening and Creation*. Tokyo, 2018.
- KRAUSE, Bernard L. The Niche Hypothesis: A virtual symphony of animal sounds, the origins of musical expression and the health of habitats. *The Soundscape Newsletter 06*, 1993.
- KUHL, Ole. The Semiotic Gesture. In: GRITTEN, A.; KING, E. *New Perspectives of Music and Gesture*, p. 123-130. Society for Education, Music and Psychology Research: ASHGATE, 2011.
- LABELLE, Brandon. *Acoustic territories: sound culture and everyday life*. The Continuum International Publishing Group Inc, 2010.
- LAWSON, Tony. Emergence, Morphogenesis, Causal Reduction and Downward Causation. In: Margaret Archer (ed), *Social Morphogenesis*, New York: Springer, 2013.
- LAZZARINI, Victor. *Elementos de Acústica*. National University of Ireland, Maynooth, 1998.
- LEWES, George. H. *Problems of Life and Mind. Vol. 2*. London: Kegan Paul, Trench, Turbner, & Co, 1875
- LICHT, Alan. Sound Art: Origins, development and ambiguities. *Organised Sound, 14*, p. 3-10, 2009.
- LIGETI, György. *String Quartet no. 2. Studien Partitur*. Schott & Co. Ltd: Londres, 1968.
- LIGETI, György. States, events, transformations. *Perspectives of new music, 31 (1)*, p. 164-171, 1993.
- LUCIER, Alvin. *Music 109: notes on experimental music*. Middletown: Wesleyan University Press, 2012.
- MASUMORI, Atsushi; DOI, Itsuki; SMITH, John; AOKI, Ryuta; IKEGAMI, Takashi. Evolving Acoustic Niche Differentiation and Soundscape Complexity Based on Intraspecific Sound Communication. *ALIFE 2020: The 2020 Conference on Artificial Life*, pp. 465-472, 2020.
- MATHEWS, Max; PIERCE, John. Harmony and Nonharmonic Partial. *Rapport Ircam 28/80*, 1980.
- MAX PLANK INSTITUT. Chladni Figures (1787). In: *The Public Domain Review*. Disponível em <<https://publicdomainreview.org/collection/chladni-figures-1787>>. Acesso em março de 2022.
- MCADAMS, Stephen; GIORDANO, Bruno. The perception of musical timbre. In: HALLAM, Susan et al (ed.). *The Oxford Handbook of Music Psychology*. 2 ed. p. 113-124. United Kingdom: Oxford University Press, 2016.

MCADAMS, Stephen; GOODCHILD, Meghan. Musical Structure: Sound and Timbre. In: ASHLEY, R. et al (ed.). *The Routledge Companion to Music Cognition*. New York: Routledge, 2017.

MCADAMS, Stephen. Timbre as a structuring force in music. *Proceedings of Meetings on Acoustics, 19*. Montreal: Acoustical Society of America, 2013.

MCCORMACK, Jon. Artificial ecosystems for creative discovery. *Proceedings of Genetic and Evolutionary Computation Conference*, p. 301-307. GECCO: London, 2007.

MELBYE, Adam P. (ed.). *Echo, a journal of music, thought and technology, 3, Feedback*. Orpheus Instituut, 2022.

MENUHIN, Yehudi; DAVIS, Curtis W. *A Música do Homem*. Martins Fontes, 1981.

MERIC, Renaud; SOLOMOS, Makis. Analysing Audible Ecosystems and Emergent Sound Structures in Di Scipio's Music. *Contemporary Music Review, 33 (1)*, p. 4-17. Taylor & Francis, 2014.

MERIC, Renaud; SOLOMOS, Makis. Audible Ecosystems and Emergent Sound Structures in Di Scipio's Music: Music Philosophy Helps Musical Analysis. *Journal of Interdisciplinary Music Studies, 3 (1-2)*, p. 57-76, 2009.

MILL, John St. *A System of Logic*. Reprinted, 1843. In: Mill, J. St. *Collected Works*. Vol. VII. Toronto, 1973.

MITCHELL, Melanie. *Complexity: a guided tour*. Oxford University Press, 2009.

MORIN, Edgar. *Introdução ao pensamento complexo*. Porto Alegre: Sulina, 2005.

MORRIS, Jeffrey. Feedback Instruments: generating musical sounds, gestures, and textures in realtime with complex feedback systems. *International Computer Music Conference*. ICMC: Copenhagen, 2007.

MUDD, Tom; HOLLAND, Simon; MUHOLLAND, Paul. Nonlinear dynamical processes in musical interactions: Investigating the role of nonlinear dynamics in supporting surprise and exploration in interactions with digital musical instruments. *International Journal of Human-Computer Studies, 128*, p. 27-40, 2019.

MUDD, Tom. *Nonlinear Dynamics in Musical Interactions*. Tese de doutorado. The Open University, 2017.

MURAIL, Tristan. *A Revolução dos Sons Complexos*. Trad. José Augusto Mannis. In: *Cadernos de Estudo - Análise Musical, 5*. São Paulo, 1992.

NOVAK, David. *Japanoise, music at the edge of circulation*. Duke University Press, 2013

OLIVEROS, Pauline. *Deep Listening: a composer's sound practice*. New York: iUniverse, 2005.

PESSOA JR., Oswaldo. O que é uma causa? *Cadernos de História da Ciência*, 2(2), p. 29-45, 2006.

PESSOA JR, Oswaldo. *Auto-Organização e Complexidade: Uma Introdução Histórica e Crítica*. Notas de aula, 2001. Disponível em < <https://opessoa.fflch.usp.br/textos> >. Acesso em março de 2022.

PICIONE, Raffaele; FREDA, Maria F. The processes of meaning making, starting from the morphogenetic theories of René Thom. *Culture & Psychology*, 22(1). p.139–157, 2016.

POWER, Richard S. *An analysis of transformation procedures in Gyorgy Ligeti's String Quartet No. 2*. Dissertação de mestrado. University of Illinois at Urbana-Champaign, 1995.

PRIEST, Eldritch. *Boring Formless Nonsense: Experimental Music and the Aesthetics of Failure*. Bloomsburry, 2013

PRIGOGINE, Ilya. Time, Structure and Fluctuations. *Science*, 201 (4358), p. 777-785, 1977.

PRIGOGINE, Ilya. Exploring Complexity. *European Journal of Operational Research*, 30, p. 97- 103. North-Holland, 1987.

PRIGOGINE, Ilya. *O fim das certezas: tempo, caos e as leis da natureza*. Trad. Roberto L. Ferreira. São Paulo: Editora UNESP, 2011.

RAAIJMAKERS, Dick. *A Brief Morphology of Electric Sound*. Orpheus Institute, Leuven University Press, 2000.

RAFFAELLI, David; FRID, Christopher. *Ecosystem Ecology: A New Synthesis*. Cambridge University Press, 2010.

RANCIÈRE, Jacques. *O Espectador Emancipado*. Trad. Ivone C. Benedetti. São Paulo: Martins Fontes, 2008.

RICHARDSON, Robert; STEPHAN, Achim. Emergence. *Biological Theory* 2(1), p. 91–96. Konrad Lorenz Institute for Evolution and Cognition Research, 2007.

RISSET, Jean-Claude. Synthesis of sound by computer and problems concerning timbre. *Music and Technology (Proceedings of the Stockholm Meeting organized by UNESCO)*, p. 117-128, 1971.

RISSET, Jean-Claude; WESSEL, David L. Exploration of Timbre by Analysis and Synthesis. In: DEUTSCH, D. *The Psychology of Music*, 2nd ed, p. 113-169. Academic Press, 1999.

ROADS, Curtis. Introduction to Granular Synthesis. *Computer Music Journal*, 12 (2), p. 11-13. MIT Press, 1988.

ROADS, Curtis. *Microsound*. MIT Press, 2001.

ROGERS, Jeffrey; SCHATZ, Michael; BOUGIE, Jonathan; SWIFT, Jack. Rayleigh-Bénard Convection in a Vertically Oscillated Fluid Layer. *Physical Review Letters*, 84 (1), p. 87-90, The American Physical Society, 2000.

RUSSOLO, Luigi. *The Art of Noise (futurist manifesto, 1913)*. Trad. Robert Filliou. Ubuclassics, 2004.

SALLES, Cecilia A. *O Gesto Inacabado: Processo de Criação Artística*. São Paulo: FAPESP: Annablume, 1998

SANFILIPPO, Dario; VALLE, Andrea. Feedback Systems: An Analytical Framework. *Computer Music Journal*, 37 (2), p. 12-27. MIT, 2013.

SANFILIPPO, Dario. Time-variant infrastructures and dynamical adaptivity for higher degrees of complexity in autonomous music feedback systems: the Order from noise (2017) project. *Musica/Tecnologia*, 11-12, p. 121-131, 2018.

SCAMARCIO, Massimo. Space as an Evolution Strategy. Sketch of a Generative Ecosystemic Structure of Sound. *Proceedings of the 5th Sound and Music Computing Conference*. SMC08: Berlin, 2008.

SCHAFFER, Pierre. *¿Qué es la música concreta?* Trad. Elena Lerner. Buenos Aires: Editorial Nueva Visión, 1952.

SCHAEFFER, Pierre. *Solfejo do Objecto Sonoro*. Trad. António de Sousa Dias. Paris: INA-GRM, 2007.

SCHAEFFER, Pierre. *Tratado de los objetos musicales*. Trad. Araceli C. de Diego. Alianza Editorial, 2012.

SCHAEFFER, Pierre. *Treatise on Musical Objects: An Essay across Disciplines*. Trad. Christine North e John Dack. University of California Press, 2017.

SCHIMDT, Jan. From symmetry to complexity: on instabilities and the unity in diversity in nonlinear science. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 18 (4), p. 897-910. World Scientific Publishing Company, 2008.

SCHMIDT, Jan. Challenged by Instability and Complexity: Questioning Classic Stability Assumptions and Presuppositions in Scientific Methodology. In: HOOKER, Cliff (ed.). *Philosophy of Complex Systems*, p. 223–254. Amsterdam: North Holland, 2011.

SCHMIDT, Jan. Is there anything new under the sun? Instability as the core of emergence. *Emergence and Modularity in Life Sciences*, Springer Nature Switzerland AG, 2019.

SCIARRINO, Salvatore. *Introduzione All'Oscuro, per 12 strumenti*. Partitura. Ricordi, 1981.

SERRA, Marie-Hélène. Stochastic Composition and Stochastic Timbre: GENDY3 by Iannis Xenakis. *Perspectives of New Music*, 31 (1), p. 236-257, 1993.

SERRES, Michel. *The Five Senses: A philosophy of Mingled Bodies (I)*. Trad. Margaret Sankey e Peter Cowley. Continuum, 2009.

SETHARES, William A. *Tuning, Timbre, Spectrum, Scale*. Springer-Verlag, 2005

SETTEL, Zack. LIPPE, Cort. Real-Time Timbral Transformation: FFT-based Resynthesis. *Contemporary Music Review*, 10 (2), p. 171-179. IRCAM, 1994.

SIGAL, Rodrigo. *Estratégias Compositivas em la Música Electroacústica*. Bernal: Universidade Nacional de Quilmes, 2014.

SILVA, Marcio J.; FARIA, Regis R. A. Acerca da dissonância sensorial: uma incursão na evolução de conceitos, modelos paramétricos e novas perspectivas. *Percepta – Revista de Cognição Musical*, 5, p. 17-38, 2018.

SIMONDON, Gilbert. A amplificação nos processos de informação. Trad. Ferreira, P. P.; Smarieri, E. *Trans/From/Ação*, 43 (1), p. 283-300, Marília, 2020b.

SIMONDON, Gilbert. Forma, Informação, Potenciais (1960). Trad. Ayvu, *Revista de Psicologia*, 4 (1), p. 194-237, 2017.

SIMONDON, Gilbert. *A individuação à luz das noções de forma e de informação*. Trad. Luís Aragon e Guilherme Ivo. São Paulo: Editora 34, 2020a.

SMALLEY, Denis. The listening imagination: listening in the electroacoustic era. *Contemporary Music Review*, 13 (2), p. 77-97, 1996.

SMALLEY, Denis. Spectromorphology: explaining sound-shapes. *Organised Sound*, 2(2), 107-26, 1997.

SOLOMOS, Makis. Notes sur la notion d’ “émergence” et sur Agostino Di Scipio. Antonia Soulez e Horacio Vaggione (ed.). *Manières de faire des sons, L’Harmattan*, p. 83-100, 2010a.

SOLOMOS, Makis. Rythme, temps et émergence: sur quelques enjeux de la musique récente. Christian Doumet e Aliocha Wald Lasowski (ed.). *Rythmes de l’homme, rythmes du monde*, p. 53-74, Hermann, 2010.

SOLOMOS, Makis. An introduction to Horacio Vaggione musical-theoretical Thought. *Contemporary Music Review*, 25 (4-5), p. 311-326, 2005.

SOLOMOS, Makis. *De la musique au son. L’émergence du son dans la musique des XX e-XXI e siècles*. Presses universitaire de Rennes, 2013.

STENGERS, Isabelle. Résister à Simondon? *Multitudes*, 18 (4), p. 55-62, 2004.

STEPHAN, Achim. Emergence: A Systematic View on its Historical Facets. In: BECKERMANN, A.; FLOHR, H.; KIM, J. (eds.), *Emergence or Reduction? Essays on the Prospects of Nonreductive Physicalism*, p. 25-48, 1992.

TENNEY, James. Having Never Written a Note for Percussion. In: *Postal Pieces (1954-1971)*, 1971.

THOMASI, Ricardo. *Compondo interatividades: questões sobre poéticas e orquestração eletroacústica*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba: UFPR, 2016a.

THOMASI, Ricardo. A função multidisciplinar do compositor eletroacústico: uma abordagem operacional. *Revista Vórtex*, 4 (2), 2016b.

THOMASI, Ricardo. *Feedback control for performing with audible ecosystem*. In: Zenodo.org, 2021a. Disponível em < <https://doi.org/10.5281/zenodo.5649265> >

THOMASI, Ricardo. *Recital-Palestra: Ecos n.2*, 2021b. Disponível em: < <https://www.youtube.com/watch?v=Doe07lgKnuQ&t=889s> >, acesso em março de 2022.

THOMASI, Ricardo. *Estudo Ecos, registros experimentais, 1.0*. Zenodo.org, 2022. Disponível em < <https://doi.org/10.5281/zenodo.6458349> >, acesso em março de 2022.

THOMASI, Ricardo; KOZU, Fernando. Study for Ecosystemic Guitars: The electroacoustic improvisation in the sound emergence minefield. *The 21st Century Guitar: International Virtual Conference*. Universidade NOVA de Lisboa, 2021.

TROXEL, Dana. Understanding Acoustic Feedback & Suppressors. *RaneNote 158*. Rane Corporation, 2005.

TROYER, Akito van. Composing Embodied Sonic Play Experiences: Towards Acoustic Feedback Ecology. *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME'14)*, p. 118-121, 2014.

TSENG, Wen-Kung; RAFAELY, B.; ELLIOTT, S. J. Combined feedback–feedforward active control of sound in a room. *Journal of Acoustic Society of America*, 104 (6), p. 3417-3425, 1998.

VAGGIONE, Horacio. Objets, représentations, opérations. Versão ampliada. On object based composition. *Interface-Journal of New Music Research*, 20 (3-4), p. 209-216, 1991.

VAGGIONE, Horacio. Composing musical spaces by means of decorrelation of audio signals. *Conference of Digital Audio Effects*. Irlanda: DAFX, 2001.

VAGGIONE, Horacio. Notes on Atem. *Contemporary Music Review*, 24 (4-5), 339-349. Taylor & Francis, 2005.

VAGGIONE, Horacio. Composition musicale: représentations, granularités, Émergences. *Intellectica*, 1 (2), p. 155-174, 2008.

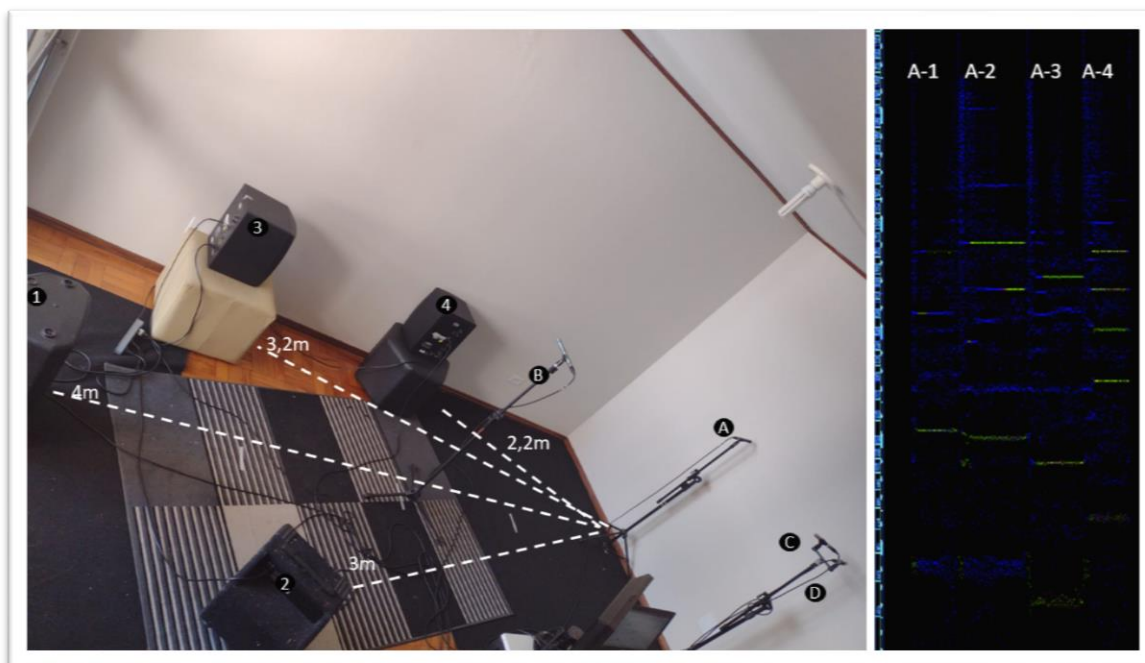
VAN ECK, Cathy. *Between Air and Electricity: microphones and loudspeakers as musical instruments*. Bloomsbury, 2017.

- VARÈSE, Edgar; WEN-CHUNG, Chou. The liberation of sound. *Perspectives of New Music*, 5 (1), p. 11-19, 1966
- VIEIRA, Jorge A. Ilya Prigogine: entre o tempo e a eternidade. *Galáxia*, 6, p. 291-299, 2003.
- WATERS, Simon. Performance ecosystems: ecological approaches to musical interaction. *Electroacoustic Music Studies Network*. De Montford/Leicester University: EMS, 2007.
- WATERS, Simon. Content and discontent. *Performing Technology: User Content and the New Digital Media*, p. 145-159. Cambridge Scholars Publishing, 2009.
- WATERS, Simon. Touching at a Distance: Resistance, Tactility, Proxemics and the Development of a Hybrid Virtual/Physical Performance System. *Contemporary Music Review*, 32 (2-3), p. 119-134. Routledge: Tandfonline, 2013.
- WATERSCHOOT, Toon van; MOONEN, Marc. Fifty Years of Acoustic Feedback Control: State of the Art and Future Challenges. *Proceedings of the IEEE*, 99 (2), p. 288-327, 2011.
- WEBERING, Susana I. O novo paradigma sistêmico. *Revista Pesquisa Qualitativa*, 5 (8), p. 207-225, 2017.
- WILENSKY, Uri; RAND, William. *An introduction to agent-based modeling: Modeling natural, social and engineered complex systems with NetLogo*. MIT Press, 2015.
- WINNING, Jason; BECHTEL, William. Being Emergence vs. Pattern Emergence: a Complexity, Control, and Goal-Directedness in Biological Systems. *Routledge Handbook of Emergence*. Ed. S. C. Gibb, R. F. Hendry, T. Lancaster. London: Routledge, 2019.
- WISHART, Trevor. *Audible design*. Orpheus the Pantomine LTD, 1994.
- WISHART, Trevor. *On sonic art*. OPA, 1996.
- XENAKIS, Iannis. *Formalized music: thought and mathematics in composition*. New York: Pendragon Press, 1992.
- YIN, Gao; HERFEL, William. Constructing Post-Classical Ecosystems Ecology. In: HOOKER, Cliff (ed.). *Philosophy of Complex Systems*, p. 223–254. Amsterdam: North Holland, 2011.
- YOUNG, John. Sound in structure: applying spectromorfological concepts. *Proceedings of the 2005 Electroacoustic Music Studies Network*. Montreal: EMS, 2005.
- YUNES, Rosendo A. *A organização da matéria: acaso ou informação*. Florianópolis: UFSC, 1995.

APÊNDICE A – TOPOLOGIAS DE RETROALIMENTAÇÃO

A título de ilustração, mostram-se abaixo os espectros sonoros emergentes para cada laço de retroalimentação possível no sistema atual do Instrumento Espacial, que conta com quatro entradas e quatro saídas. As regiões intermediárias entre as topologias não foram consideradas, haja vista a enorme quantidade de resultados possíveis. A estratégia de controle aplicada foi o controle de ganhos para formação do laço de retroalimentação que se manteve padrão para todas as captações. O objetivo é que o leitor consiga imaginar as correlações entre as sonoridades e as distâncias físicas entre microfones e alto-falante. As Figuras indicam as distâncias entre o microfone em avaliação e respectivos alto-falantes. Os microfones estão marcados com letras de A até D e os alto-falantes com números de 1 até 4, sendo que o espectro marcado como A-1 se refere ao laço formado entre o microfone A e o alto-falante 1. Em um contexto de performance, este é um experimento pertinente para ser feito como reconhecimento da sala, de modo que se possa conhecer as topologias elementares que o ecossistema poderá produzir e também como recurso para posicionamento dos microfones e alto-falantes em relação à arquitetura da sala. Os *set-ups* dos experimentos que deram origem aos sonogramas apresentados estão descritos no Apêndice C.

Figura A.1 – Fotografia e sonograma dos possíveis laços de retroalimentação entre microfone A e alto-falantes 1-4.



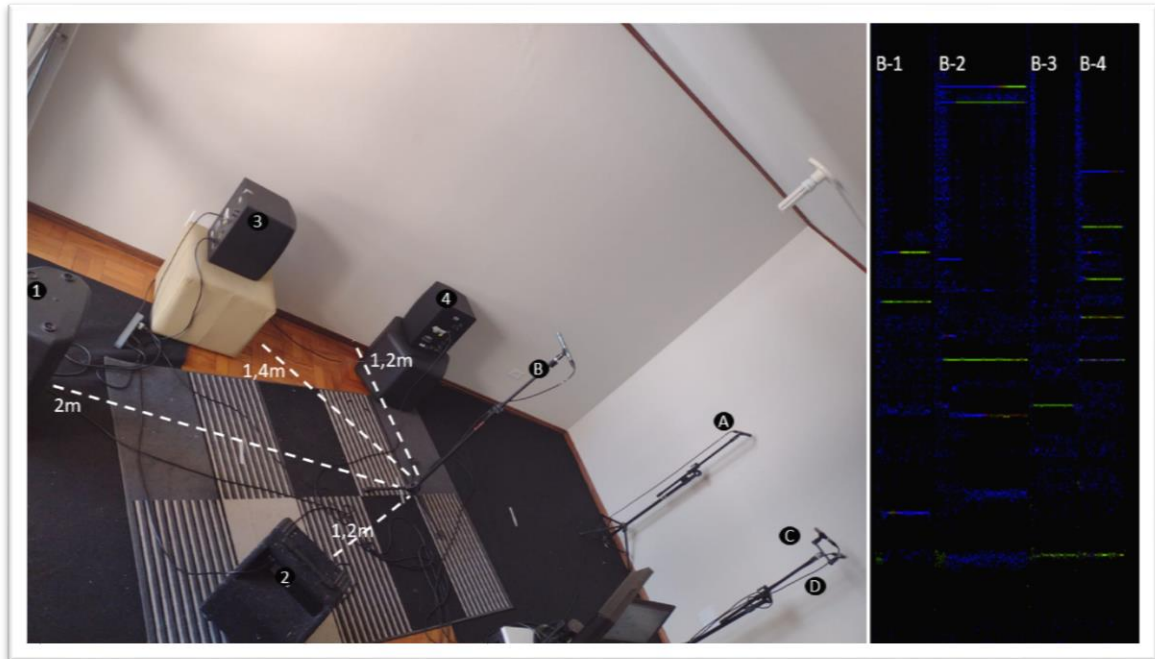
Fonte: o autor

Tabela A.1 – Lista de frequências do sonograma da Figura A.1.

A-1	A-2	A-3	A-4
445.3 Hz	472.7 Hz	-	447.3 Hz
301 Hz	350.6 Hz	379.1 Hz	350.6 Hz
-	-	-	271.1 Hz
141.8 Hz	136 Hz	115.8 Hz	194.7 Hz
57~60 Hz	57~60 Hz	45.8~49.2 Hz	79.1~83.2 Hz

Fonte: o autor

Figura A.2 – Fotografia e sonograma dos possíveis laços de retroalimentação entre microfone B e alto-falantes 1-4.



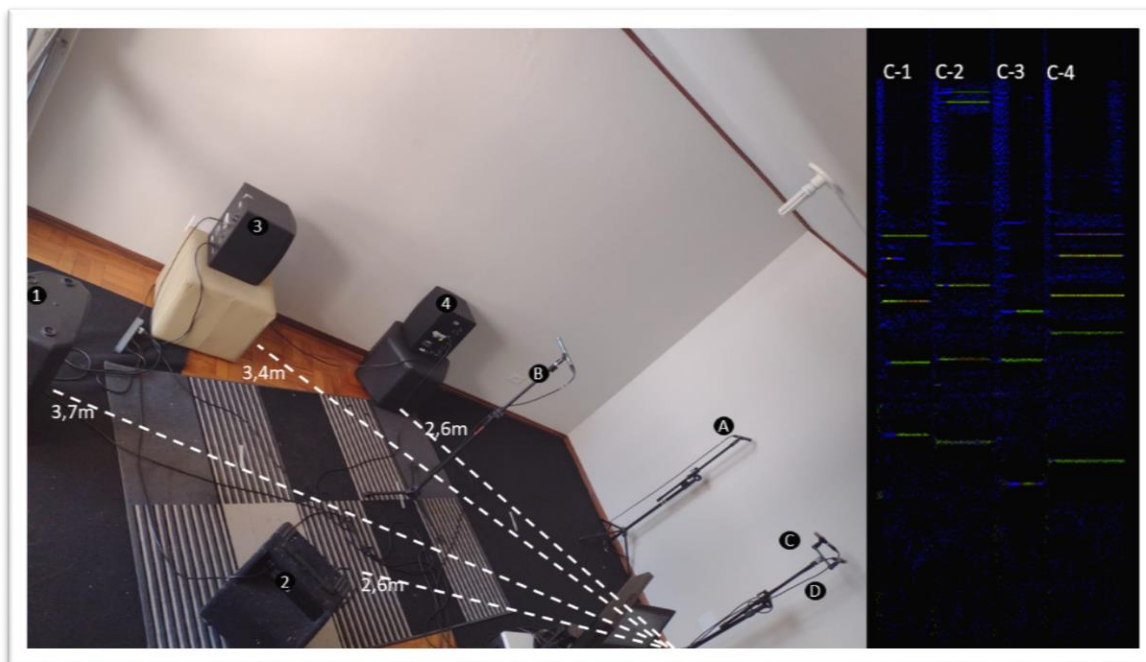
Fonte: o autor

Tabela A.2 – Lista de frequências do sonograma da Figura A.2

B-1	B-2	B-3	B-4
-	1229.4 Hz	-	-
-	1111.2 Hz	-	-
-	-	-	718.1 Hz
427.2 Hz	-	-	504.1 Hz
312.6 Hz	-	-	360.4 Hz
-	215.4 Hz	-	282.5 Hz
-	149.1 Hz	160.5 Hz	215.4 Hz
80.5 Hz	~57.3 Hz	61.1 Hz	61.1 Hz

Fonte: o autor

Figura A.3 – Fotografia e sonograma dos possíveis laços de retroalimentação entre microfones C e alto-falantes 1-4.



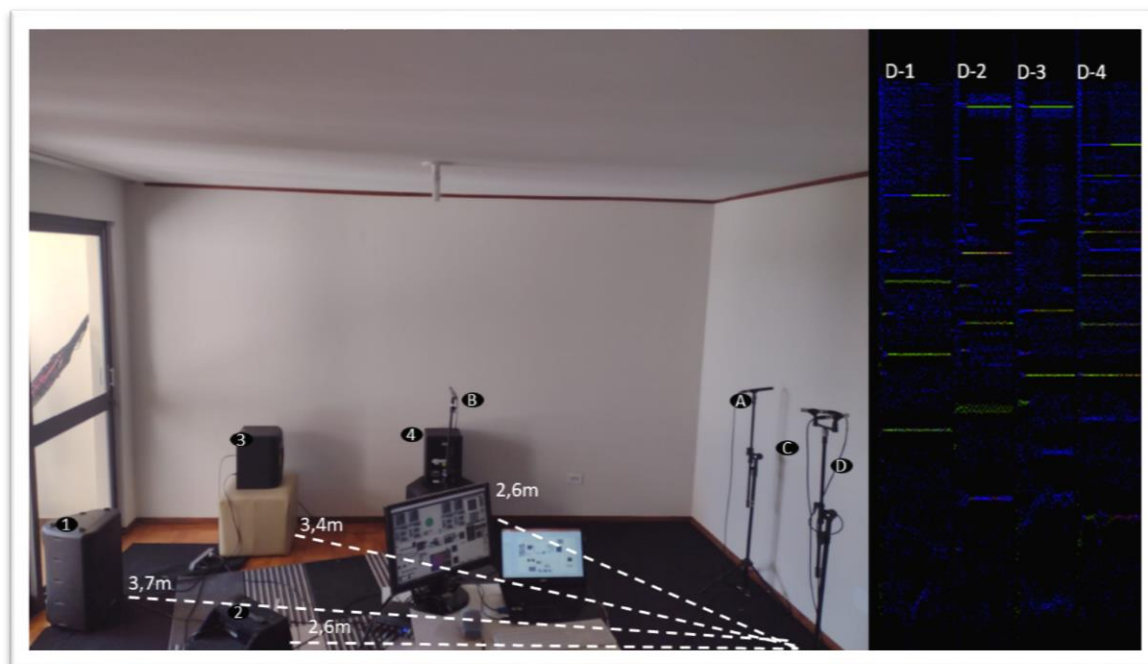
Fonte: o autor

Tabela A.3 – Lista de frequências do sonograma da Figura A.3

C-1	C-2	C-3	C-4
-	1258 Hz	-	-
-	1174.2 Hz	-	-
501.8 Hz	-	-	508.8 Hz
435.2 Hz	-	-	443.2 Hz
331.8 Hz	367.1 Hz	311.1 Hz	344.2 Hz
224.5 Hz	229.7 Hz	227.6 Hz	272.3 Hz
142.4 Hz	136 Hz	103.7 Hz	120.2 Hz

Fonte: o autor

Figura A.4 – Fotografia e sonograma dos possíveis laços de retroalimentação entre microfones D e alto-falantes 1-4.



Fonte: o autor

Tabela A.4 – Lista de frequências do sonograma da Figura A.4

D-1	D-2	D-3	D-4
1317.1 Hz	-	-	-
-	1142.3 Hz	1137 Hz	-
-	-	-	887.2 Hz
643.1 Hz	-	-	731.4 Hz
-	-	-	508.8 Hz
367.1 Hz	443.2 Hz	-	386.2 Hz
-	-	305.5 Hz	279.9 Hz
230.8 Hz	282.5 Hz	202 Hz	202 Hz
141.8 Hz	~157 Hz	-	-
-	92 Hz	-	78.7 Hz

Fonte: o autor

APÊNDICE B – INVARIÂNCIAS

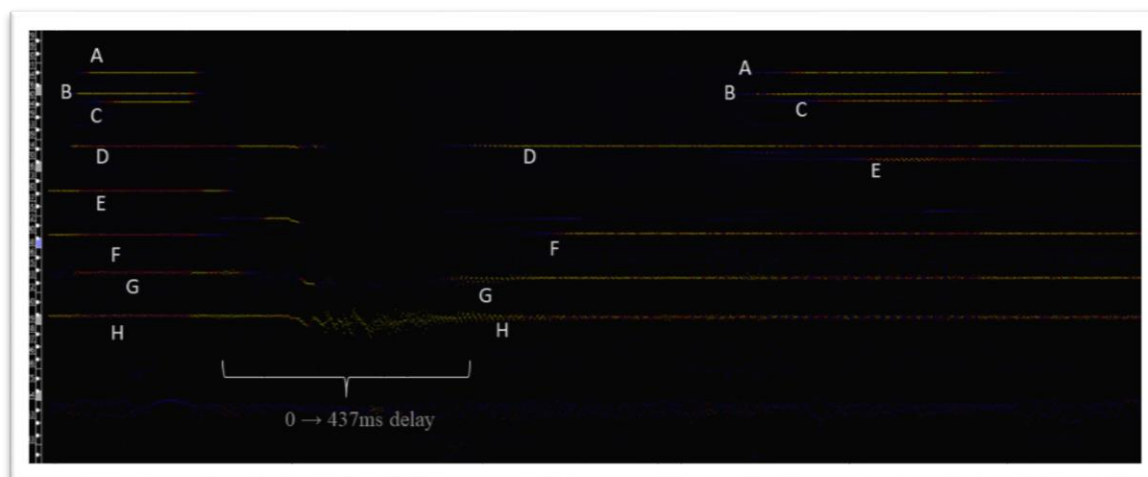
Ao passo que no meio acústico o espectro sonoro emergente é altamente sensível às *alterações nas distâncias* entre microfones e alto-falantes, o mesmo não ocorre no meio digital quando se altera o tamanho das memórias pelas quais trafegam as informações digitais. Assim, constata-se que a formação dos harmônicos pelos laços de retroalimentação responde bem às variações nas distâncias físicas, mas pouco às distâncias simuladas no meio digital por meio de linhas de atraso e *buffers* de memória usados para conversão analógica-digital. Para estes experimentos utilizou-se uma única topologia de retroalimentação sendo que o único parâmetro alterado foi o tempo da linha de atraso inserida em série logo na entrada no sinal no *patch*, ou o tamanho do *Buffer* de memória na configuração da interface de áudio e do *patch*. As frequências geradas pelo laço de retroalimentação variam naturalmente, sendo que divergências pequenas de frequência são aceitas como invariância pois considera-se mais relevante a posição e espaço que as frequências ocupam na estrutura de harmônicos do espectro emergente.

1 LINHAS DE ATRASO

A Figura B.1 mostra um sonograma sem interrupções, que inicia sem atraso algum, ou seja, com a linha de atraso configurada em 0 milissegundos, e gradualmente o tempo da linha de atraso é aumentado para 437 milissegundos – ver Tabela B.1 para valores de frequências. Durante a variação do tempo da linha de atraso o laço de retroalimentação é interrompido naturalmente pela instabilidade da variação, se formando novamente logo após a estabilização do tempo da linha de atraso. Interessante notar que as alturas permanecem praticamente as mesmas, porém, o tempo de formação de cada frequência é alterado com a linha de atraso. Na Figura B.2 os sonogramas foram extraídos de captações em sequência, gerando e interrompendo o laço de retroalimentação a cada mudança de tempo de linha de atraso. Assim, o sinal retroalimentado não sofre alteração em sua estrutura, como no experimento anterior, mas já se forma tendo a linha de atraso como parte constitutiva. O objetivo era verificar o impacto da linha de atraso na formação do laço. Como resultado, temos novamente uma invariância dos componentes espectrais ao nível das frequências, mas uma variação na duração das frequências. Nos tempos maiores de atraso podemos verificar o surgimento da frequência F que dá lugar para a frequência A . Podemos deduzir que se trata de uma correlação entre oitavas dado o tempo maior de formação da frequência A – ver Tabela B.2. Ambos os experimentos corroboram para a hipótese de que o laço de retroalimentação no ecossistema audível tende a superar as

irregularidades em direção à um estado de equilíbrio que é regido por atratores mais fortes que as distâncias simuladas em ambiente digital – justamente essa hipótese que abriu espaço para a exploração de planos de retroalimentação, como mencionado no capítulo 6.4. Todavia, ainda precisa ser investigado com mais propriedade.

Figura B.1 – Espectro sonoro emergente antes e após a variação do tempo da linha de atraso.



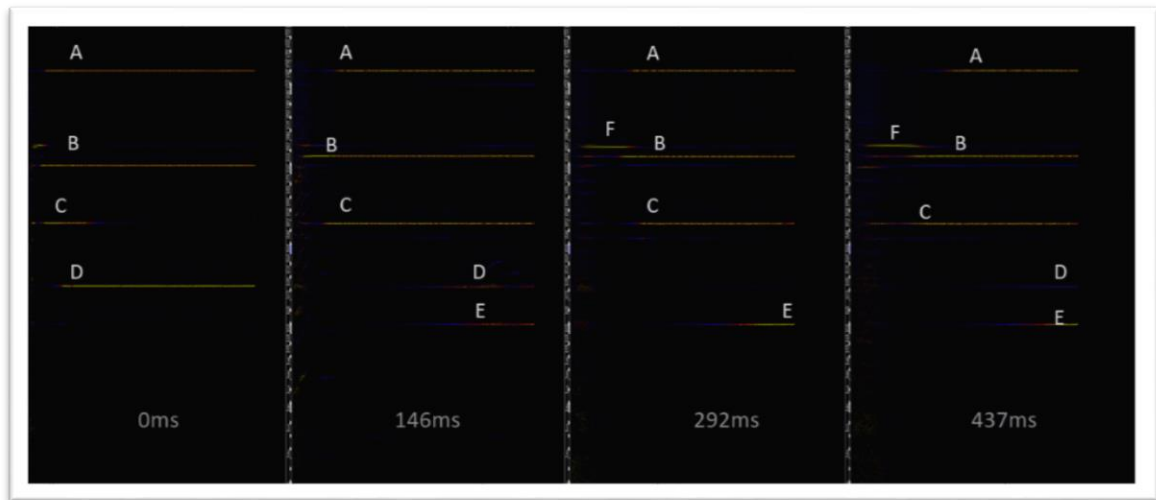
Fonte: o autor. A estrutura de harmônicos à esquerda foi gerada sem tempo de atraso, e a da direita gerada com uma linha de atraso de 437 milissegundos. A região central indica a quebra do laço de retroalimentação pela variação do tempo da linha de atraso.

Tabela B.1 – Relação aproximada das frequências exibidas no sonograma da Figura B.1 e respectivas equivalências com o sistema de notas musicais.

	Antes da modulação		Depois da modulação	
A	1246,5 Hz	D#6 +3c	1246,5 Hz	D#6 +3c
B	1032,4 Hz	C6 -23c	1027,7 Hz	C6 -31c
C	954,8 Hz	A#5 +41c	963,7 Hz	B5 -43c
D	640,2 Hz	D#5 +49c	640,2 Hz	D#5 +49c
E	427,2 Hz	G#4 +49c	568,1 Hz	C#5 +42c
F	287,8 Hz	D4 -35c	289,1 Hz	D4 -27c
G	202,9 Hz	G#3 -39c	192,9 Hz	G3 -27c
H	137,3 Hz	C#3 -16c	135,4 Hz	C# -40c

Fonte: o autor

Figura B.2 – Sonogramas de pico de frequências para comparação de invariância por linha de atraso para quatro defasagens distintas, em milissegundos (ms).



Fonte: o autor

Tabela B.2 – Relação aproximada das frequências exibidas no sonograma da Figura B.2 e respectivas equivalências com o sistema de notas musicais para as quatro defasagens.

	0ms		146ms		292ms		437ms	
A	1246,5 Hz	D#6 +3c	1246,5 Hz	D#6 +3c	1246,5 Hz	D#6 +3c	1246,5 Hz	D#6 +3c
B	547,6 Hz	C#5 -21c	594,8 Hz	D5 +22c	592,1 Hz	D5 +14c	592,1 Hz	D5 +14c
C	330,3 Hz	E4 +4c	330,3 Hz	E4 +4c	328,8 Hz	E4 -4c	328,8 Hz	E4 -4c
D	192 Hz	G3 -35c	190,3 Hz	F#3 +49c	-		190,3 Hz	F#4 +44c
E	-		137,3 Hz	C#3 -16c	137,3 Hz	C#3 -16c	138,6 Hz	C#3
F	-		-		646,1	E5 -35c	646,1	E5 -35c

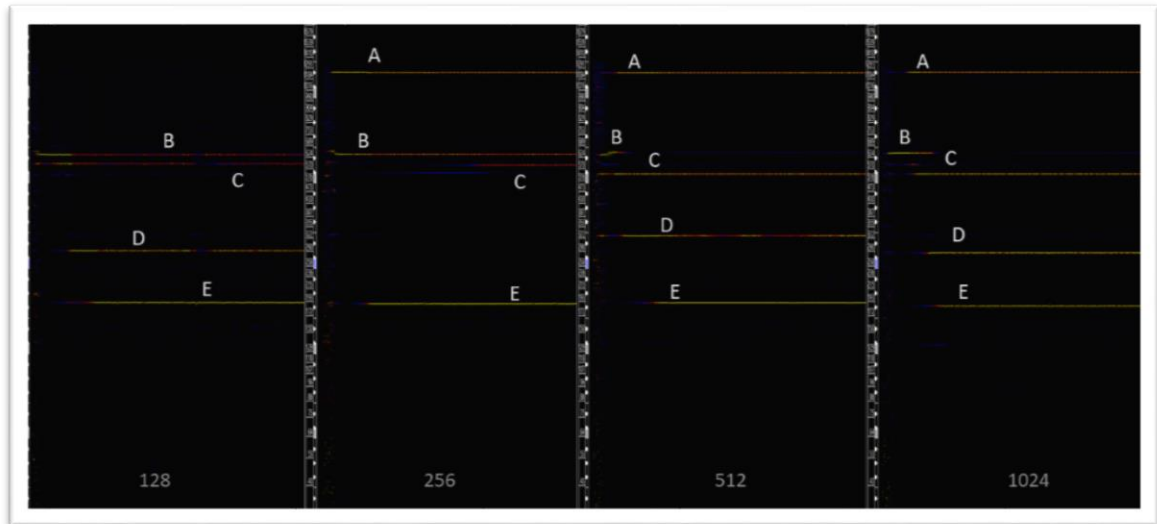
Fonte: o autor

2 BUFFERS DE ENTRADA E SAÍDA

A relação de invariância também se confirma quando altera-se os tamanhos dos *Buffers* de entrada e saída. Fizemos também a comparação entre dois microfones condensadores cardioides diferentes em modelo e marca. Para ambos os experimentos foram feitas quatro captações em sequência, gerando e interrompendo o laço de retroalimentação, uma vez que a mudança de configuração do *Buffer* exige que o áudio do software esteja desligado. Na Figura B.3 pode-se ver quatro configurações de tamanho de *Buffer*, marcado em *samples*, que evidenciam as invariâncias. Na Figura B.4 temos o mesmo experimento com o microfone 2. Interessante notar que na versão com o microfone 2 as mudanças do *Buffer* provocaram na frequência C um movimento ascendente em terças. A diferença de resultados com a variação de microfones induz o entendimento de que a coloração do microfone – e dos alto-falantes por extensão – é um atrator forte, corroborando com a hipótese de que o conteúdo do espectro

sonoro emergente é resultado de modulações que percorrem todo o sistema, como mencionado no capítulo 3.7.

Figura B.3 – Quatro sonogramas de pico de frequência para comparação de invariância aos diferentes tamanhos de *Buffer* de entrada e saída, utilizando o microfone n.1.



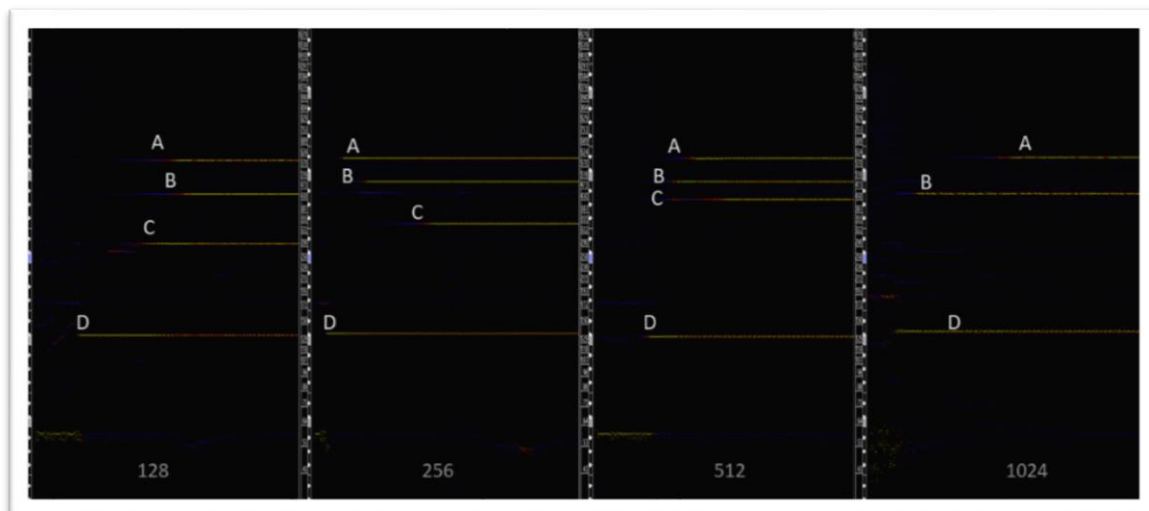
Fonte: o autor

Tabela B.3 – Relação aproximada das frequências exibidas no sonograma da Figura B.3 e respectivas equivalências com o sistema de notas musicais.

Tamanho do <i>buffer</i> em número de amostras								
	128		256		512		1024	
A	-	-	1252,2 Hz	D#6 +11c	1246,5 Hz	D#6 +3c	1252,2 Hz	D#6 +11c
B	640,2 Hz	D#5 +49c	643,1 Hz	E5 -43c	640,2 Hz/ 652,1 Hz	D#5+49c/ E5 -19c	649,1 Hz	E5 -27c
C	594,8 Hz	D5 +22c	589,4 Hz	D5 +6c	547,6 Hz	C#5 -21c	547,6 Hz	C#5 -21c
D	293,1 Hz	D4 -3c	-	-	331,8 Hz	E4 +12c	289,1 Hz	D4 -27c
E	192 Hz	G3 -35c	190,5 Hz	F# +44c	192 Hz	G3 -35c	186,8 Hz	F#3 +17c

Fonte: o autor

Figura B.4 - Quatro sonogramas de pico de frequência para comparação de invariância aos diferentes tamanhos de *Buffer* de entrada e saída, utilizando o microfone n.2.



Fonte: o autor

Tabela B.4 - Relação aproximada das frequências exibidas no sonograma da Figura B.4 e respectivas equivalências com o sistema de notas musicais.

Tamanho do <i>buffer</i> em número de amostras								
	128		256		512		1024	
A	603,1 Hz	D5 +46c	614,2 Hz	D#5 -22c	614,2 Hz	D#5 -22c	617,1 Hz	D#5 -14c
B	453,5 Hz	A#4 -47c	504,2 Hz	B4 +36c	504,1 Hz	B4 +36c	455,6 Hz	A#4 -34c
C	298,5 Hz	D4 +29c	353,9 Hz	F4 +23c	433,2 Hz	A4 -27c	-	-
D	137,9 Hz	C#3	139,8 Hz	C# +16c	136 Hz	C#3 -32c	142,4 Hz	C#3 +48c

Fonte: o autor

APÊNDICE C – DETALHAMENTO DO *SET-UP* E *PATCHES*

1 DO EQUIPAMENTO UTILIZADO

Os equipamentos utilizados para geração do ecossistema audível e captação das amostras apresentadas nos sonogramas que permeiam o texto são:

- a) Microfone condensador cardioide:
 - a. AKG Perception 170 (par)
 - b. BEHRINGER C-2 (par)
- b) Conversor de áudio com pré-amplificador de microfones embutido e conexão USB 2.0:
 - a. PRESONUS Audiobox (4 entradas e 4 saídas)
 - b. M-AUDIO FastTrack Pro (2 entradas e 4 saídas)
- c) Caixas amplificadoras/Monitores de áudio ativos:
 - a. KRK Rokit 8 (par)
 - b. BEHRINGER BXL-450
 - c. LEXSEN LPX112A
- d) Cabos Santo Ângelo com conectores Amphenol.
- e) Computador tipo *laptop*, com processador Intel core i7 7^a geração 2.9 GHz, 16GB RAM e armazenamento HD SSD (*solid state drive*);
- f) Sistema operacional Windows versão 10;
- g) Gravador portátil ZOOM H4n Pro Handy Recorder.

Os espaços físicos variaram ao longo da pesquisa. As dimensões das duas salas principais que foram utilizadas são mostradas nas figuras 6.2 e Apêndice A. A configuração do posicionamento dos alto-falantes e microfones e de outros componentes presentes na sala alteram as estruturas sonoras emergentes, fazendo da reconstituição de cada experimento uma tarefa somente aproximável.

2 LISTA DE OBJETOS PARA IMPLEMENTAÇÃO DOS *PATCHES*

Na Tabela C.1 estão listados os objetos principais utilizados para implementação dos respectivos *patches* que compõem a parte digital do Instrumento Espacial. Todos os objetos utilizados são nativos do software MAX, versão 8, da Cycling74. Na Tabela C.2 estão listados

os *patches* implementados no Instrumento Espacial e que foram utilizados nos experimentos e coletas de amostras de áudio. Detalhes dos respectivos funcionamentos são dados nos capítulos 4 e 6.

Tabela C.1 – Principais objetos utilizados para implementação dos *patches*

	Procedimento	Principais objetos
1	Linhas de atraso	Delay~; tapin~ / tapout~
2	Interface de controle X/Y	Node; Pictslider
3	Interface de controle (knob, faders)	Dial; Slide; Multislider
4	Filtros de áudio	Lores~; svf~; reson~; biquad~; cascade~; fffb~; onepole~; cross~
5	Processos no domínio da frequência	Pfft~; vectral~; frame~;
6	Memórias	Buffer~; patrrstorage ; preset
7	Processos ao nível do <i>sample</i>	Gen~; history
8	Gerenciamento de múltiplas vozes/cópias	Poly~; mc~
9	Rampas e escalas	Line~; slide~; average~; pow~; sqrt~; *~; scale~
10	Comunicação com controladores externos	Midiin/midiout; udp SEND/udp RECV

Fonte: o autor. Detalhes sobre os objetos podem ser acessados diretamente na documentação disponível no site da Cycling74¹²⁸.

Tabela C.2 – Lista de *patches* implementados e utilizados nos experimentos

	Nome do Patch	Função
1	Controle de sinal de entrada	Controles e monitoração de sinal de entrada, equalização (opcional) e primeira camada de linha de atraso (ver Figura 4.10)
2	Input Mix	Mixagem entre os quatro sinais processados pelos respectivos Controles de sinal de entrada
3	Feedback control	Controle de retroalimentação acústica-digital
4	Matriz (I/O)	Roteamento de entradas e saídas de áudio
5	FiltroZ (Processos paralelos)	Filtragem simultânea e inversamente proporcional nas quatro saídas (ver Figura 6.12)
6	S.Split (Processos paralelos)	Filtragem usando bandas espectrais como atratores (ver Figura 6.13)
7	BP Filters (Processos paralelos)	Quatro filtros passa-banda ressonantes de controle manual (ver Figura 6.11)
8	Delay 8vozes (Processos paralelos)	Banco de linhas de atraso com oito cópias (ver capítulo 6.4.1)
9	Delay 4D (Processos paralelos)	Linha de atraso com controle relativo tipo Matriz (ver capítulo 6.4.1)
10	Layers	Mixagem dos sinais vindos dos processos paralelos e da Matriz
11	Output Mix	Mixagem dos sinais encaminhados para cada alto-falante
12	Master out	Controle dos sinais de saída

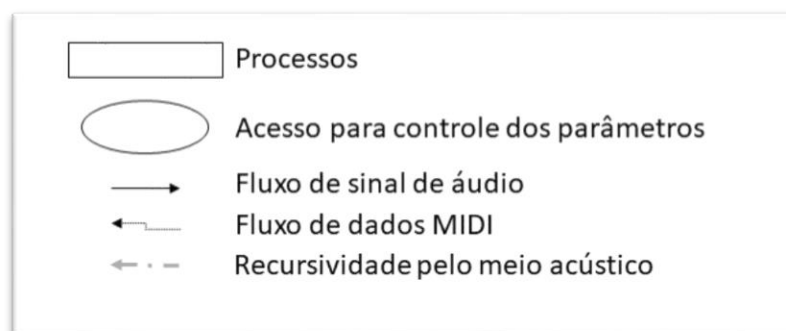
Fonte: o autor.

¹²⁸ www.cycling74.com e respectiva documentação em <https://docs.cycling74.com/max8>

3 FLUXOGRAMA BÁSICO DOS *PATCHS* IMPLEMENTADOS

Os fluxogramas abaixo são referentes aos *patches* componentes do Instrumento Espacial que foram citados no capítulo 6, e utilizados para a criação de planos de retroalimentação. Três deles são baseados em processos de filtragem e três em linhas de atraso, como mostram os itens 1, 5, 6, 7, 8 e 9 da Tabela C.2. A Figura C.1 apresenta a legenda das formas utilizadas nos gráficos.

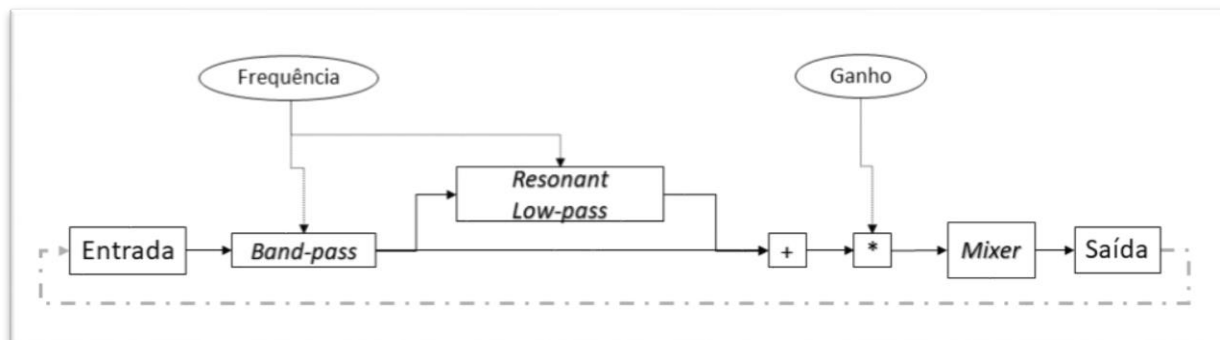
Figura C.1 – Legenda para os Fluxogramas



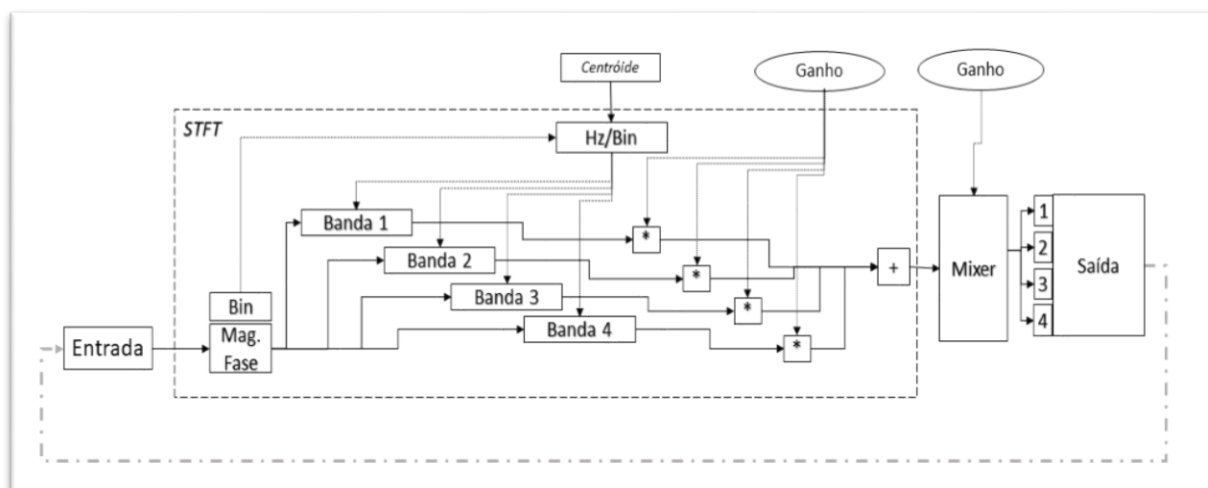
Fonte: o autor.

3.1 *Patches* baseados em processos de filtragem

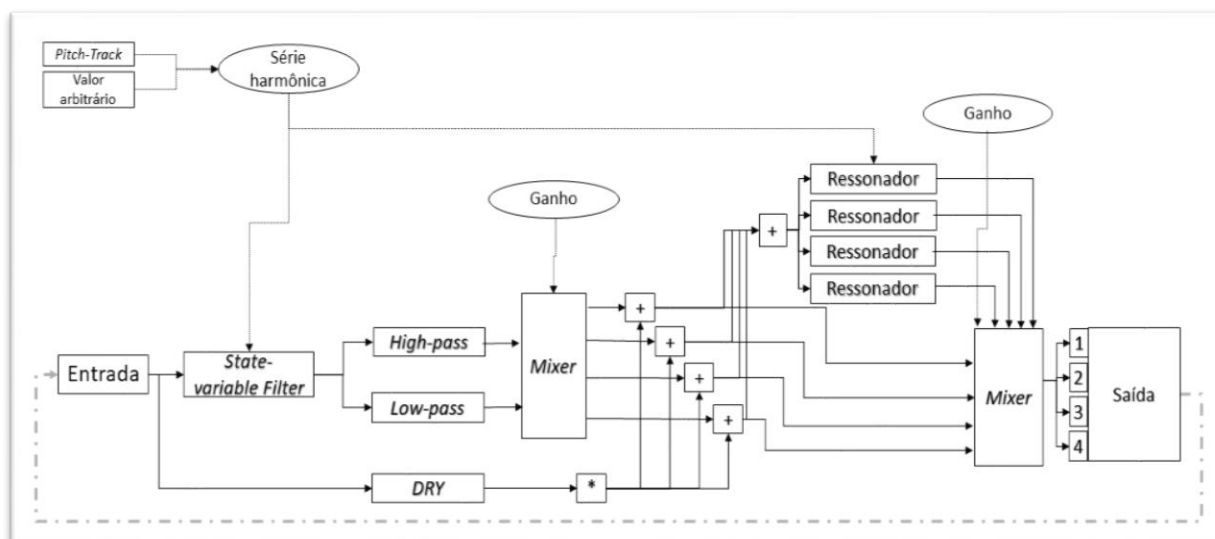
Figura C.2 – Fluxograma do *patch* BP Filters



Fonte: o autor. O *patch* é composto por oito cópias deste mesmo circuito.

Figura C.3 – Fluxograma do *patch* S.Split

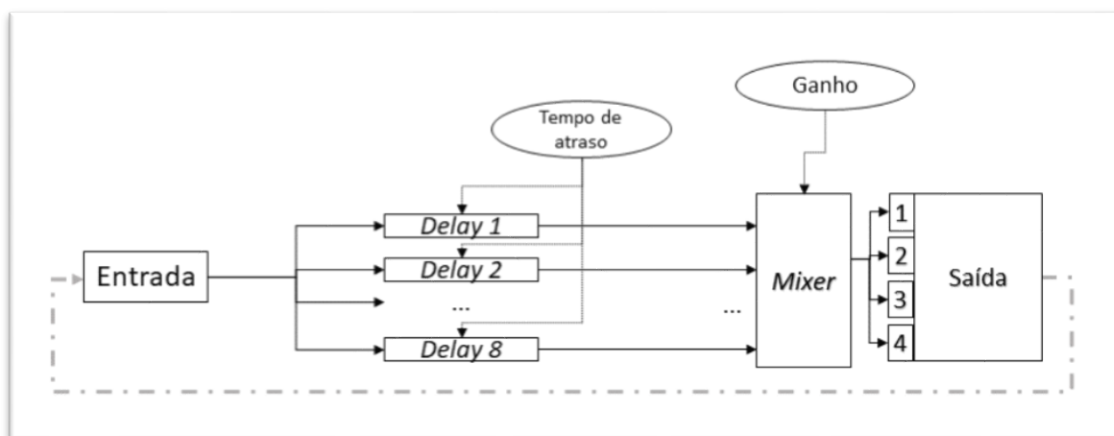
Fonte: o autor

Figura C.4 - Fluxograma do *patch* FiltroZ

Fonte: o autor

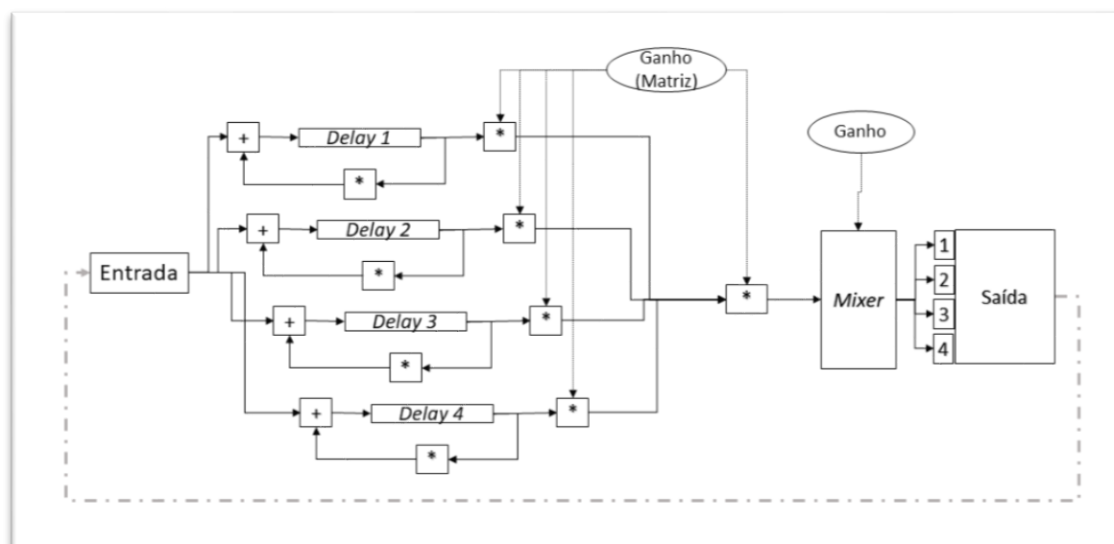
3.2 Patches baseados em linhas de atraso

Figura C.5 – Fluxograma do patch Delay 8Vozes



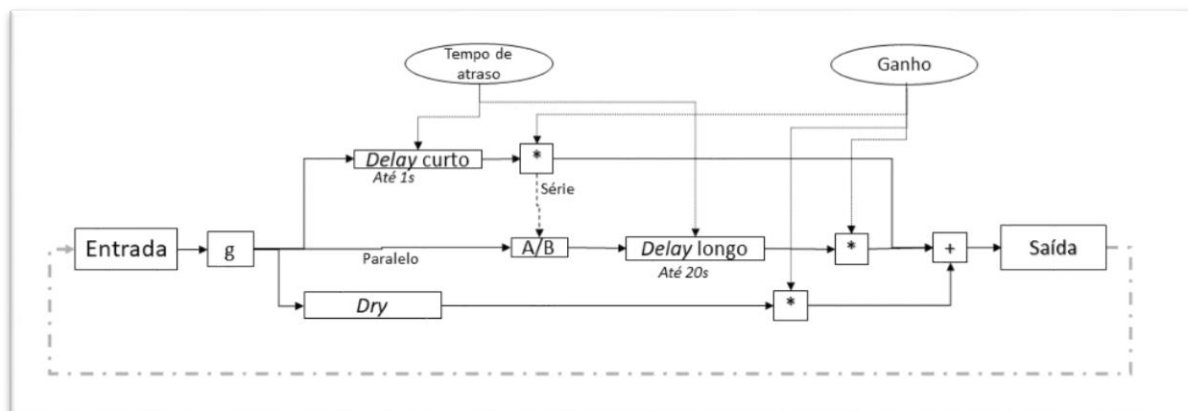
Fonte: o autor

Figura C.6 – Fluxograma do patch Delay 4D



Fonte: o autor

Figura C.7 – Fluxograma das linhas de atraso do patch Controle de sinal de entrada



Fonte: o autor.