

U.PORTO

MÚSICA, RAZÃO E/OU EMOÇÃO

Horácio Tomé Marques

Programa Doutoral em Media Digitais

Orientador: Miguel Carvalhais

Coorientador: Bruce Pennycook

Agosto de 2019

© Horácio António Barbosa Tomé Marques, 2019

MÚSICA, RAZÃO E/OU EMOÇÃO

Contributos para a representação interativa em tempo-real dos comportamentos do cérebro no contexto da prática artística pela via do EEG/BCI

Horácio António Barbosa Tomé Marques

Tese submetida como preenchimento parcial dos requisitos para o grau de Doutor em Media Digitais, especialização Criação de Audiovisual e de Conteúdos Interativos

Fundação para a Ciência e a Tecnologia: Bolsa SFRH/BD/51826/2012

Programa Doutoral em Media Digitais

Orientador:

Miguel Carvalhais

Professor Auxiliar

Faculdade de Belas-Artes da Universidade do Porto

Coorientador:

Bruce Pennycook

Professor Associado

Universidade do Texas em Austin



(página em branco)

RESUMO

Este projeto toma música, razão e emoção como trinómio ponto-de-partida para o estudo, reflexão e construção crítica sobre o cérebro qua sistema dinâmico racional e sensorial, orquestrado e interativo, no contexto ecológico da manifestação artística. Usa o fenómeno elétrico do cérebro e o método da electroencefalografia baseada em interface cérebro-computador enquanto sistema que, potencialmente, permite a descodificação, e uso instrumental, de experiências, estados e atos cerebrais como emoções e decisões razoadas.

Alinha por dois regimes: um, de suporte, ancorado nas neurociências, e outro, fundamental, ancorado na arte. É um projeto multidisciplinar e colaborativo. Toma música, razão e emoção — enquanto estímulo, atuação e reação — como pontos-de-partida para o estudo, reflexão e construção crítica sobre o cérebro enquanto sistema dinâmico racional e sensorial no contexto ecológico da manifestação artística. Mas a reflexão fundamental, alinhando pela arte, estende-se ao — e recaí sobre — o ser humano, problematizando-o enquanto organismo, progenitor de tecnologia, artilhado com uma série de mecanismos complexos, sobretudo um cérebro atuador, que lhe permite alterar os contextos onde habita, frui e atua.

Estabelece o palco, onde ocorre a criação e manifestação artística, como laboratório da possibilidade de materialização — em tempo real — de representações que possam denotar aqueles fenómenos, diretamente do cérebro. Isto é, sem usar o corpo como local de possíveis manifestações que os possam representar. Assenta numa visão holística, observando e incluindo o próprio contexto e a ecologia inerente. Simultaneamente, consubstancia-se como reflexão sobre algumas premissas e ações humanas relacionadas com aquilo que preconiza na sua demanda epistemológica. Alinha por dois regimes: um, de suporte, ancorado nas

neurociências, outro, fundamental, ancorado na arte. Usa o todo como potencial criativo e provocador estético — emocional e intelectual.

Para o realizar fizemos primeiramente uma pesquisa prévia que nos informou sobre algumas iniciativas científicas e artísticas que procuraram estudar emoções e processos volitivos e denotá-los através de representações, mas onde detetámos lacunas de abordagem, técnicas e metodológicas. Seguidamente, desenhámos e realizámos experiências em laboratório, onde variáveis contextuais, contingentes, foram acauteladas, com o objetivo de analisar e validar a tecnologia EEG/BCI que escolhemos. Depois criámos, materializámos e manifestámos objetos e eventos artísticos, qua narrativas holísticas e estatísticas, que pudessem representar aquela(s) essência(s).

Discutimos e colocámos em perspetiva algumas características do cérebro — e o seu comportamento, e a relação deste com o contexto — que não estão completamente esclarecidas, nem empiricamente nem teoricamente, em nenhum domínio do conhecimento, e o potencial impacto que isso pode ter no desenho experimental. Fizemos também este exercício sobre representações científicas e artísticas e sobre a sua objetividade e subjetividade em várias situações e contextos de produção de conhecimento. Concluímos que, independentemente da complexidade e da potencial subjetividade de alguns dos nossos resultados, é possível criar representações que denotem processos racionais e experiências emocionais cerebrais e a simultaneidade da ecologia contextual e que, ao mesmo tempo, tenham potencial de provocação e questionamento, mesmo que não explícito.

Palavras-chave: *Cérebro, Estímulos, Razão/Emoção, EEG/BCI, Representações científicas e artísticas*

ABSTRACT

This project takes music, reason and emotion as a trinomial starting point for the study, reflection and critical construction about the brain qua a dynamic, sensorial, orchestrated and interactive system within the ecological context of the artistic manifestation. It uses the electrical brain phenomenon and the electroencephalography method based on the brain-computer interface, EEG/BCI, as a system that allows for the potential decoding, and instrumental use, of brain experiences, states and processes such as emotions and reasoned decisions.

It establishes the stage of creation and artistic manifestation as a possibility of materialization — in real time — of representations that can denote those phenomena, but directly from the brain. That is, without using the body as a place of possible manifestations that can represent them. It is based on a holistic view, observing and including the context itself and its inherent ecology. Simultaneously, it is an insight on some premises and actions by the human being related to what he advocates in his epistemological quest. It aligns by two regimes: one, supportive, anchored in the neurosciences; the other, fundamental, in the arts. It uses the whole as a creative and provocative aesthetic potential — emotional and intellectual.

In order to do this, we firstly did preliminary investigation that informed us about some scientific and artistic initiatives that sought to study emotions and volitional processes and to denote them through representations, but where we detected technical, methodological and approach gaps. We then designed and performed experiments in the laboratory, where contingent contextual variables were taken care of, in order to analyze and validate the EEG/BCI technology we have chosen. Lastly, we created, materialized, and manifested artistic objects and events, as holistic and statistical narratives which could represent those essences.

We discussed and put into perspective some characteristics of the brain — and its behavior and its relation to the context — which are not completely clarified, neither empirically nor theoretically, in any domain of knowledge, and the potential impact this might have on the experimental design. We also performed this exercise on scientific and artistic representations and on their objectivity/subjectivity in various situations and contexts of knowledge production. We concluded that, regardless of the complexity and the potential subjectivity of some of our results, it is possible to create representations which denote the rational processes and emotional experiences of the brain and the simultaneity of the contextual ecology while, at the same time, having a provocative and questioning potential, even if not explicit.

Keywords: *Brain, Stimulus, Reason/Emotion, EEG/BCI, Science, Art*

PUBLICAÇÕES E PROJETOS

Publicações

- Tomé-Marques, Horácio, e Miguel Carvalhais. 2017. «I Will Play The Electric Brain: The Manipulation of the Brain's Electric Capacity, and its Clusters, Through Sensing and Imagination, to Synthesize Sound Entities.» Em 16º Encontro Internacional de Arte e Tecnologia: #16ART: Artis intelligentia: Imaginar o Real, Livro de Atas 2017, 100–111. Porto: i2ADS - Instituto de Investigação em Arte, Design e Sociedade.
- Pereira, Bruno, Dimitris Andrikopoulos, e Horácio Tomé-Marques. 2015. «Quartas Paredes: Performance para presença, voz, mixed media e manipulação de som e imagem em tempo-real.» Em *Cadernos IRI: Imagens do Real Imaginado* (1), editado por José Quinta Ferreira e Vítor Quelhas, 14–25. Porto: DAI, Escola Superior de Música, Artes e Espetáculos, Politécnico do Porto.
- Tomé-Marques, Horácio, Bruce Pennycook, e Miguel Carvalhais. 2014. «Brain: the ultimate enactive interface?» Em *ICLI 2014 - INTER-FACE: International Conference on Live Interfaces*, editado por Adriana Sá, Miguel Carvalhais e Alex McLean, 231–240. Lisboa: Universidade do Porto, CECL (Universidade Nova), CESEM (Universidade Nova), MIPTL (Universidade de Sussex).
- Tomé-Marques, Horácio, João Meneses, Bruce Pennycook, e Miguel Carvalhais. 2014. «From the unseen to the s[cr]een: EshoFuni, an approach towards real-time representation of brain data.» Em *xCoAx 2014: Proceedings of the Second Conference on Computation, Communication, Aesthetics and X*, editado por Miguel Carvalhais e Mario Verdicchio, 333–342. Porto: Universidade do Porto.
- Tomé-Marques, Horácio. 2013. «Music, Reason and/or Emotion?» [Resumo] Em *3rd International Conference on Music & Emotion (ICME3), Jyväskylä, Finland, 11th - 15th June 2013*, editado por Geoff Luck e Olivier Brabant, 32. Jyväskylä: University of Jyväskylä, Department of Music.

Tomé-Marques, Horácio. 2013. «Sound oscillations or brain self dynamics on music ornaments?» [Resumo Poster] Em *3rd International Conference on Music & Emotion (ICME3)*, Jyväskylä, Finland, 11th - 15th June 2013, editado por Geoff Luck e Olivier Brabant, 94. Jyväskylä: University of Jyväskylä, Department of Music.

Submissões

Tomé-Marques, Horácio e Miguel Carvalhais. 2013. «A portable brain interface that visually communicates autonomously.» Poster submetido a *xCoAx 2013: First Conference on Computation, Communication, Aesthetics and X*. 27-28 junho 2013. Bergamo, Itália.

Projetos tecnocientíficos

Tomé-Marques, Horácio. 2013. «Música e Emoções: Estudo de validação da interface Emotiv Epoc.» Projeto/ resultados apresentados em *Digital Media Doctoral Symposium*, UT Austin | Portugal, Futureplaces, Media Lab for Citizenship, 15 de outubro de 2014, UPTEC PINC, Porto, Universidade do Porto.

Tomé-Marques, Horácio, e Francisco Marques-Teixeira. 2013. «willRacer - A brain controlled electromechanical vehicle: Estudo da inteligência artificial do pacote de desenvolvimento Emotiv Research SDK, Emotiv, módulo Cognitiv Suite.» Projeto/ resultados apresentados em *Digital Media Doctoral Symposium*, UT Austin | Portugal, Futureplaces, Media Lab for Citizenship, 15 de outubro de 2014, UPTEC PINC, Porto, Universidade do Porto.

Tomé-Marques, Horácio, e Hugo Cardoso. 2013. *HoMy_EmoRAW*, versão 1.0, 2013-2014. Mac OS. Porto, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal.

Tomé-Marques, Horácio. 2013. *MAC@rt*. Um MBT, Monitor de Batimentos Cardíacos que permite a monitorização visual, em tempo-real, à distância. Porto, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, INESC TEC, UT Austin Portugal.

Projetos artísticos

Horácio Tomé-Marques, *I Will Play The Electric Brain*, *Opusii19*, 2019. Performance [maio 2019]. Laboratório Multimédia da Escola Superior de Media, Artes e Design, P. Porto, Vila do Conde, Portugal.

- Horácio Tomé-Marques, *EshoFuni@TheAbyss, Chapter V*, 2019. Performance [maio 2019]. Escola Superior de Media, Artes e Design, Auditório Luís Soares, Vila do Conde, Portugal
- Horácio Tomé-Marques, *I Will Play The Electric Brain, Opus117*, 2017. Apresentação de áudio capturado [outubro 2017]. #16ART - 16º Encontro Internacional de Arte e Tecnologia: Artis intelligentia: Imaginar o Real, Faculdade de Belas-Artes da Universidade do Porto, Porto, Portugal.
- Horácio Tomé-Marques, e Tiago Ângelo, *EshoFuni@TheAbyss, Chapter IV*, 2015. Performance [outubro 2015]. EmMeio#7.0, #14ART - 14º Encontro Internacional de Arte e Tecnologia: Arte e Desenvolvimento Humano, Museu de Arte Nova, Casa da Capitania, Aveiro, Portugal.
- Fanni Fazakas, Francisco Marques-Teixeira, e Horácio Tomé-Marques, *FindingSomething BondingSound*, 2015. Performance [setembro 2015]. MTF Central, Ljubljana, Eslovénia.
- Fanni Fazakas, Francisco Marques-Teixeira, e Horácio Tomé-Marques, *FindingSomething BondingSound*, 2015. Performance [maio 2015]. MTF Scandi, Music Tech Fest Scandinavia, Umëa, Suécia.
- Horácio Tomé-Marques, e Tiago Ângelo, *EshoFuni@TheAbyss, Chapter III*, 2014. Performance [novembro 2014]. ICLI 2014 - INTER-FACE: International Conference on Live Interfaces, Lisboa, Portugal.
- Horácio Tomé-Marques, João Menezes, e Tiago Ângelo [Bruce Pennycook, e Miguel Carvalhais], *EshoFuni@TheAbyss, Chapter II*, 2014. Instalação audiovisual [27 junho 2014]. xCoAx 2014: Second Conference on Computation, Communication, Aesthetics and X. 2014, Porto, Portugal.
- Horácio Tomé-Marques, e João Menezes, [Bruce Pennycook, e Miguel Carvalhais], *From the unseen to the s[cr]een: EshoFuni, an approach towards real-time representation of brain data*, 2014. Instalação audiovisual [26-27 junho 2014]. xCoAx 2014: Second Conference on Computation, Communication, Aesthetics and X, Porto, Portugal.
- Bruno Pereira, Dimitris Andrikopoulos, e Horácio Tomé-Marques, *Quartas Paredes: Performance para presença, voz, mixed media e manipulação de som e imagem em tempo-real*, 2014. Performance e ressonância [maio 2014]. Museu Municipal abade Pedrosa, Santo Tirso, em *The Corner*, Santo Tirso, Portugal.
- Bruno Pereira, Dimitris Andrikopoulos, e Horácio Tomé-Marques, *Quartas Paredes: Performance para presença, voz, mixed media e manipulação de som e imagem em tempo-real*, 2014. Performance e ressonância [abril 2014]. Escola Superior de Música, Artes e Espetáculos, Sala Preta, em *Festival ESMAE*, Porto, Portugal.

Bruno Pereira, Dimitris Andrikopoulos, e Horácio Tomé-Marques, *Quartas Paredes: Performance para presença, voz, mixed media e manipulação de som e imagem em tempo-real*, 2014. Performance e ressonância [março 2014]. Faculdade de Belas-Artes da Universidade do Porto, Museu, em *Experimento: o Processo Criativo em Análise*, Porto, Portugal.

Nota: para mais informações consultar [Anexos](#).

ÍNDICE

Preâmbulo	23
Essência de uma motivação	23
Dando alguns exemplos específicos	26
Uma outra dimensão do questionamento e processo	27
Fechando este preâmbulo	28
1 Introdução	29
1.1 Cérebro, contexto, estímulos e comportamento	29
1.2 Questão Principal	32
1.3 Questões Secundárias	33
1.4 Hipóteses	33
1.5 Ambições projetuais	34
1.6 Motivações	35
1.7 A investigação prévia	36
1.8 Síntese dos objetivos	36
1.9 Metodologia	36
1.10 Sobre terminologia, idiomas e traduções	38
1.11 Glossário	40
2 O Cérebro Conhecido	45
2.1 Sistemas e subsistemas em rede	45
2.1.1 Muitos milhões de conexões	45
2.1.2 Ligações, contextos, sensações, emoções e ação	46
2.2 O que é o cérebro?	46
2.2.1 O Córtex Cerebral	47
2.2.2 Homúnculos	50
2.3 Caminhos da Visão	53
2.4 Caminhos da Audição	55
2.5 Síntese funcional	57
2.5.1 Sensores e aferentes	57
2.5.2 Processos executivos	58
3 O cérebro funciona a eletricidade	61

3.1	Bioeletricidade	61
3.1.1	Neurónios e dipolos	62
3.1.2	Potenciais, sinapses e sensores	63
3.2	Ritmos do cérebro	64
3.3	A eletroencefalografia	66
3.3.1	Os sítios do EEG	68
4	As interfaces cérebro-computador	71
4.1	A possibilidade de ligação ao computador	71
4.2	Definições e métodos dos sistemas cérebro-computador	72
4.3	Estímulos, eventos e potenciais	72
4.4	Passivos e ativos	74
4.5	Caracterização específica	75
4.5.1	Imaginação motora	75
4.5.2	O método P300	76
4.5.3	Soleturação P300	76
4.5.4	Potencial Evocado Visualmente em Estado Estacionário	77
4.5.5	Interfaces baseadas em código	78
4.6	Inteligência artificial?	78
4.7	Sistemas EEG clínicos modernos assistidos por computador	81
4.8	Sistemas EEG/BCI portáteis	82
5	Estímulos e consequências	87
5.1	Contexto e utilidade	87
5.1.1	Reação e ação	88
5.2	Contexto, partilha e performance	89
5.3	Um estímulo especial (?)	91
5.3.1	Possibilidades de (in)definição	91
5.4	Um superestímulo	93
5.5	Música, emoção, razão e reação/ação	94
5.6	A música e o movimento	95
5.7	A música e a memória	95
5.8	A música e a linguagem	96
5.9	A música e a evolução	97
5.10	A música como possibilidade de regeneração	97
6	Definições relevantes	101
6.1	Introdução	101
6.2	Emoção	101
6.2.1	Categorizações e modelos	105
6.3	Razão	106
6.3.1	Teórica e prática	107
6.4	Memória	109
6.4.1	Categorias e tipos de memória	110
6.4.2	Memórias de curto-prazo	111

	6.4.3	Memórias de Longo-Prazo	113
	6.5	Estética	114
	6.5.1	Conceitos e teorias	114
	6.5.2	Estímulos e estética	117
	6.6	Estética emocional e/ou racional	119
7		Limitações, idiosincrasias e mitos do EEG e do Cérebro	121
	7.1	Falácias do EEG	121
	7.2	Problema de generalização anatômica	122
	7.3	O mito do cérebro normal padrão	123
	7.4	Problemas funcionais na perspectiva de segmentação	126
	7.5	Problemas de acesso a áreas significativas	126
	7.6	Complexidade de eletrogênese no fluxo comportamental	127
	7.7	Gênese elétrica por outras células e outras regiões	128
	7.8	A possibilidade de ausência das ondas Alfa	129
	7.9	Problemas de contextos-estímulos contingentes	129
	7.10	Problemas de evocação e articulação de memórias e conceitos	130
	7.11	Inter-contaminação dinâmica e ubíqua	130
	7.12	Problemas de percepção e interpretação da tecnologia	131
	7.13	Problemas de desenho e ergonomia das interfaces EEG/BCI	132
	7.14	Cérebros superiores ou inferiores	132
8		O palco do cérebro	135
	8.1	Teatro anatômico	135
	8.1.1	Uma longa história de objetividade e subjetividade	136
	8.2	Narrativas elétricas	144
	8.2.1	A eletricidade do cérebro, <i>in vivo</i>	146
	8.2.2	O cérebro elétrico humano, <i>in vivo</i>	148
9		Grafias da eletricidade do cérebro	151
	9.1	Novas possibilidades do cérebro escrever	151
	9.1.1	Invenções para uma topografia do cérebro funcional	152
	9.1.2	Escrever, mas também controlar	155
10		Representações estéticas	159
	10.1	O cérebro pelas grafias das artes	159
	10.1.1	O espetáculo das ondas cerebrais	159
	10.2	Ondas mais recentes	172
	10.3	Notas críticas	178
11		Paradoxos e idiosincrasias das representações	181
	11.1	Emanação, propósitos e posições	183
	11.2	Conceções e Funções	186
	11.3	Contextos, objetividades, subjetividades e ambiguidades	187
	11.4	Pensar ao contrário (?)	193
12		Projetos tecnocientíficos	195
	12.1	Validação, dois estudos	195

	12.1.1	Música e Emoções	196
	12.1.2	<i>willRacer - A brain controlled electromechanical vehicle</i>	200
13		Projetos artísticos	205
	13.1	Contributos para a representação do cérebro em (re)ação	205
	13.2	Fundamentais técnicos	205
	13.2.1	Interface EEG/BCI	205
	13.2.2	Posição relativa dos sensores	206
	13.2.3	Recolha, conversão, encriptação/descriptação e transmissão	208
	13.2.4	Endereçamento seletivo de dados	210
	13.2.5	Filtragem e extração de sinal	211
	13.2.6	Assimetria frontal Alfa, computação	213
	13.2.7	Módulo Cognitiv Suite	214
	13.3	FROM THE UNSEEN TO THE S[CR]EEN:	217
	13.3.1	Introdução conceptual	218
	13.3.2	Desenvolvimento	219
	13.3.3	Aspetos técnicos específicos	222
	13.3.4	Resultados	226
	13.4	ESHOFUNI@THEABYSS	227
	13.4.1	Introdução conceptual	228
	13.4.2	Desenvolvimento	230
	13.4.3	Aspetos técnicos específicos	232
	13.4.4	Resultados e particularidades	240
	13.5	QUARTAS PAREDES	245
	13.5.1	Introdução conceptual	246
	13.5.2	Desenvolvimento	247
	13.5.3	Aspetos técnicos específicos	249
	13.5.4	Resultados	253
	13.6	FINDINGSOMETHING BONDINGSOUND	255
	13.6.1	Introdução conceptual	256
	13.6.2	Desenvolvimento	257
	13.6.3	Aspetos técnicos específicos	259
	13.6.4	Resultados	261
	13.7	I WILL PLAY THE ELECTRIC BRAIN	263
	13.7.1	Introdução conceptual	264
	13.7.2	Desenvolvimento	266
	13.7.3	Aspetos técnicos específicos	269
	13.7.4	Resultados	274
14		Discussão	277
	14.1	No que concerne o cérebro	277
	14.1.1	O cérebro, esse desconhecido	277
	14.1.2	Entre falácias e generalizações problemáticas	279
	14.2	No que concerne as representações	281

	14.2.1	Representações em estado crítico	281
	14.2.2	Representações em tempo real	283
	14.2.3	Sobre as nossas propostas de representação	283
	14.2.4	Sobre as métricas usadas	285
15		Conclusões	287
	15.1	Entre o impossível e as possibilidades	287
	15.2	Entidades, enação e realidade	293
	15.3	Sucessos e insucessos	296
	15.4	O futuro em aberto	300
16		Bibliografia	303
17		Anexos	329
	17.1.1	HoMy_EmoRAW	329
	17.1.2	Outros resultados	331
	17.1.3	Outros projetos	332
	17.1.4	Extended Abstract	333
	17.1.5	Publicações, cópias	349

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1:	<i>Pain, Life and Freedom.</i>	24
Fig. 2:	Contexto, constituintes e eventos.	30
Fig. 3:	Diagrama/fluxograma síntese da implementação tecno-projetual	34
Fig. 4:	Síntese diagramática da arquitetura do cérebro.	49
Fig. 5:	Os homúnculos corticais e as suas relações.	52
Fig. 6:	Fundamentais do sistema da visão.	54
Fig. 7:	Fundamentais do sistema auditivo.	57
Fig. 8:	Conexões e lógica de trânsito de sinais/dados.	60
Fig. 9:	Neurónios e dipolos.	63
Fig. 10:	Sistema 10-20 de Herbert Jasper.	69
Fig. 11:	Lógica das Interfaces Cérebro-Computador.	80
Fig. 12:	Interfaces Cérebro-Computador.	84
Fig. 13:	Estímulo, Razão, Emoção.	90
Fig. 14:	Diagrama simplificado do modelo de Russel.	106
Fig. 15:	A conceção de Robert Fludd sobre o cérebro em 1619.	138
Fig. 16:	Diagramas de Leonardo e Vesalius.	139
Fig. 17:	Ilustração de Nicolas Henri Jacob para o tratado de anatomia de Bourgerie.	140
Fig. 18:	Neurónios ilustrados por diferentes métodos.	143
Fig. 19:	Abstrações diagramáticas de conexões cerebrais.	144
Fig. 20:	A primeira fotografia de eletroencefalograma alguma vez publicada.	147
Fig. 21:	Dois dos traçados históricos de Hans Berger reportados em 1929.	149
Fig. 22:	Electroencefalógrafo Modelo Grass I, 1935 (Grass 1984).	150
Fig. 23:	<i>Christmas Reverie</i> , Herbert Jasper, 1938.	152
Fig. 24:	Imagens geradas pelo <i>Toposcope</i> de William Grey Walter (1).	154
Fig. 25:	Imagens geradas pelo <i>Toposcope</i> de William Grey Walter (2).	154
Fig. 26:	Dois quadros do documentário da CBS de 1963 (1).	155

Fig. 27:	Dois quadros do documentário da CBS de 1963 (2).	156
Fig. 28:	<i>Music for Solo Performer</i> , 1965.	161
Fig. 29:	Alex Hay em <i>9 Evenings: Theatre and Engineering</i> , 1967.	162
Fig. 30:	<i>Organ Music</i> de Richard Teitelbaum em 1968.	164
Fig. 31:	David Rosenboom em <i>Some Eastern Strains, The Mike Douglas Show</i> , 1972.	165
Fig. 32:	Pierre Henry e a arte cortical, 1971.	167
Fig. 33:	<i>brain-tv</i> , por Richard Kriesche, 1980.	168
Fig. 34:	<i>Cyber_Mondrian, 2001, por Neam Cathode</i> .	170
Fig. 35:	<i>ReGEN - ReGENerative Braiwave Electrofunk</i> .	171
Fig. 36:	<i>ReGEN - ReGENerative Braiwave Electrofunk (2)</i> .	171
Fig. 37:	<i>Wave UFO</i> de Mariko Mori (1).	173
Fig. 38:	<i>Wave UFO</i> de Mariko Mori (2).	173
Fig. 39:	<i>INsideOUT</i> de Claudia Robles Angel, 2009 (2).	174
Fig. 40:	<i>Multimodal Brain Orchestra</i> , pelo SPECS, 2009.	176
Fig. 41:	<i>Global Mind Project: Spectacle of the Mind</i> e os seus protagonistas.	177
Fig. 42:	O movimento por Étienne-Jules Marey e Eadweard Muybridge.	189
Fig. 43:	<i>The Visual Cortex of the Cat</i> .	190
Fig. 44:	Duas representações da amplitude elétrica de sítios cerebrais específicos.	190
Fig. 45:	Duas representações da atividade elétrica cerebral.	192
Fig. 46:	<i>Música e Emoções (Ciência 2.0)</i> .	199
Fig. 47:	<i>willRacer</i> , controlado pelo investigador.	202
Fig. 48:	<i>willRacer</i> , sessão de explicação e treino.	203
Fig. 49:	Sistema 10 – 20 e funções.	207
Fig. 50:	Lógica de recolha Emotiv EPOC.	208
Fig. 51:	Receção e endereçamento Max.	210
Fig. 52:	Filtragem: remoção e seleção de frequências.	212
Fig. 53:	Cálculo da Assimetria frontal Alfa.	213
Fig. 54:	Treino e testes do Cognitiv Suite.	215
Fig. 55:	<i>EshoFuni, xCoAx 2014 (1)</i> .	217
Fig. 56:	<i>EshoFuni, xCoAx 2014 (2)</i> .	218
Fig. 57:	Proto <i>EshoFuni</i> , 2013.	220
Fig. 58:	<i>EshoFuni</i> , fluxograma.	224
Fig. 59:	<i>EshoFuni</i> , painéis de controlo e monitorização.	225
Fig. 60:	<i>EshoFuni</i> em exibição em xCoAx 2014.	226
Fig. 61:	<i>EshoFuni@TheAbyss II, xCoAx 2014 (1)</i> .	227
Fig. 62:	Organismos do abismo.	231

Fig. 63:	<i>ArtMathAttractio.</i>	231
Fig. 64:	<i>EshoFuni@TheAbyss, Capter II e V, fluxograma.</i>	235
Fig. 65:	<i>EshoFuni@TheAbyss, Capter V.</i>	236
Fig. 66:	<i>EshoFuni@TheAbyss, Chapter V.</i>	237
Fig. 67:	<i>EshoFuni@TheAbyss, Capter III e IV, fluxograma.</i>	238
Fig. 68:	<i>EshoFuni@TheAbyss, Chapter III.</i>	239
Fig. 69:	<i>Quartas Paredes.</i>	245
Fig. 70:	Ecologia de um contexto performativo.	247
Fig. 71:	Representações em <i>Quartas Paredes.</i>	248
Fig. 72:	<i>Quartas Paredes</i> , estrutura narrativa formal.	249
Fig. 73:	Painel de controlo <i>Quartas Paredes.</i>	251
Fig. 74:	Entrada, distribuição e seleção de nível.	252
Fig. 75:	<i>FindingSomething BondingSound</i> (1).	255
Fig. 76:	<i>FindingSomething BondingSound</i> (2).	257
Fig. 77:	Painéis de decisão e gestão de <i>FindingSomething BondingSound.</i>	260
Fig. 78:	Blue Vynil MusicBricks Award.	262
Fig. 79:	<i>I Will Play the Electric Brain.</i>	263
Fig. 80:	<i>My electric brain will play my guitar, 2011.</i>	264
Fig. 81:	Caminhos da visão e das imagens.	267
Fig. 82:	Ondas Alfa no córtex occipital.	267
Fig. 83:	Somação de ondas.	268
Fig. 84:	Painéis de sinal: entrada, endereçamento e controlo.	271
Fig. 85:	Painel <i>I Will Play the Electric Brain.</i>	272
Fig. 86:	Detalhes do sistema <i>Will Play the Electric Brain.</i>	273
Fig. 87:	HoMy_EmoRAW.	330

DEDICATÓRIA E AGRADECIMENTOS

Dedicatória

Este projeto é dedicado ao meu pai, a pessoa que não só conseguia perceber e diagnosticar a máquina a partir do lado-de-fora, assim como para a qual fazia os seus microconstituintes, as suas micro-engrenagens. O meu pai foi torneiro-mecânico de precisão e mecânico-eletricista de fosse-lá-o-que-tivesse-de-ser. Foi também o desenhador mais extraordinário que alguma vez conheci. Foi o que posso denominar, sem vacilar, um verdadeiro génio. À minha mãe, a pessoa que quando dizemos (as)sim, ela diz ou sugere não, e quando dizemos não, ela diz ou sugere sim. Isto sempre me fez pensar no outro lado.

É ainda dedicado à Sónia, minha companheira há mais de 35 anos, pela sua paciência gigante. Ao meu filho Miguel, um irrequieto interno, o que lhe traz problemas, mas trará coisas boas com toda a certeza.

Finalmente, a Stephen Hawking, porque não tenho palavras para descrever um ser humano como este.

Agradecimentos

Ao Miguel Carvalhais, pela sua capacidade de trabalho inigualável, pela sua crítica clara, objetiva e rápida, e por nunca ter desistido de mim. Ao Bruce Pennycook, pela sua sabedoria e conselhos incisivos e pela sua paixão pelas artes.

Pelas aventuras nas Artes e nas Neurociências, algumas das quais nunca pensei vir a ter, um agradecimento especial ao Francisco Marques-Teixeira e ainda à Fanni Fazakas, Michela Magas, Andrew Dubber, Francisca Gonçalves (Sininho), Ivo Teixeira e Miguel Ortiz Pérez. Também à Sofia Leite e ao Tiago Rocha pela partilha, companheirismo e energia, e ainda João Lopes pela assistência nas experiências, no arranque desta aventura. Ao Pedro Almeida, pelo apoio inicial e crítica arguta e absolutamente pertinente. Ao Pedro Santos pela mestria em Max. Ao Carlos Guedes e ao Artur Pimenta Alves por terem iniciado e acreditado neste projeto e a António Coelho e José Azevedo pela sua dedicação à continuidade do programa.

E, finalmente, um agradecimento muito especial para a Marisa Silva.

PREÂMBULO

Essência de uma motivação

O Astronauta Alan Bean foi a pessoa mais extraordinária que conheci. Era uma combinação única entre técnica, como astronauta, e artística, como pintor. (Mike Massimino, astronauta, n/d)

Não quero que este manuscrito sugira uma autobiografia, nem existe nenhuma intenção dessa essência. Contudo, não é possível falar de motivação para uma tarefa tão densa como é um projeto de investigação longo, se não se perceber que essa motivação tem uma origem muito mais remota, vasta e permanente do que a que aquela que possa ser percebida como potencialmente confinada ao projeto em si.

Olhando para trás, consigo ver, inesperadamente, um percurso, artístico também, impregnado de questões filosóficas e metafísicas, mas também científicas, relacionadas com o cérebro, a sua posição, os seus mecanismos e funções. Mas também com os contextos, os seus ingredientes e as suas cronologias, e o potencial impacto e significado na ontogénese e homeostasia, e ainda na filogénese, geral dos humanos. Penso assim que, posso sugerir, já praticava o questionamento e observação sistemáticos, mesmo que por método não formal.

E rebuscando neste passado, o que tenho agora não são exclusivamente memórias, na sua forma molecular, incisadas em populações neuronais do meu cérebro a elas dedicadas. São, sim também, memórias grafadas em artefactos que produzi ao longo desse percurso. E alguns exemplos são, parece-me, dignos de serem reportados neste manuscrito, enquanto objetos que possam ajudar a contextualizar o que aqui me trouxe, e, nesse sentido, o presente e a justificação

duma decisão e processo. Citando um texto incluído em *Textos da Razão de Horácio*, de 1982, um conjunto de pensamentos que posso aceitar como *naïf*, mas vendo-os também como índice de um significado, agora mais relevante.

Assim, citando:

Há o achado, premente, essência do coaxar, do fluir das vísceras da sub-superfície, força de que nem todos gozam, que dá uma lucidez, um certo ritmo de sentir e um grito que blasfema, não raras vezes, os arquétipos sistemáticos vigentes a que, ironicamente ou não, todos estamos ligados. (...) Não é, absolutamente, necessário masturbar-me, ou “pôr a ferros” a serotonina, para ficar “ganzado”, para que a minha obra seja, toda ela, infra-extravasada... basta olhar o infinito da música ou ouvir a harmonia do élan gestual (...) (Horácio, 1982)

Um outro artefacto, este mais anterior ainda, é *Pain, Life and Freedom*.

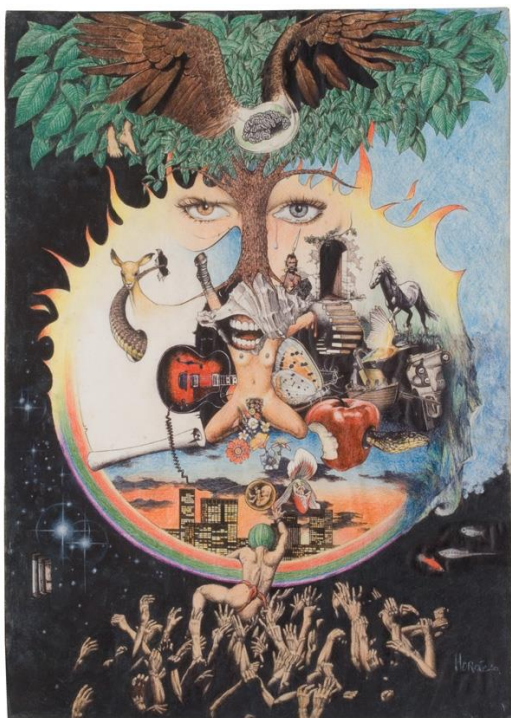


Fig. 1: *Pain, Life and Freedom*.

Esferográfica, lápis de cor, grafite e nanquim sobre papel, 61x43cm. Circa 1978

Neste trabalho de técnica mista, produzido pelo ano em que fiz 18 anos, é clara a representação de um cérebro, mas a entidade onde ele está encarnado é constituída por umas asas e o contexto onde ela se insere é constituído por um conjunto vastíssimo de elementos, entre referências físicas concretas e referências conceptuais abstratas. Assim, também esta obra está impregnada de elementos de sensação, percepção, cognição, questionamento (racionalização) e emoções. E, parece-me, também com um ponto-de-vista ecológico.

À altura, não fazia ideia real do significado dessa curiosidade e da sua dimensão. Vagueava, antes, numa introspeção e colocava hipóteses, especulava.

Mas parece-me que tanto as dimensões epistemológica e ontológica estiveram presentes desde cedo. Os meus questionamentos de foro mais científico também começaram cedo. Dos mais relevantes prendem-se com a prática da música — percepção, controlo e execução instrumental, produção — atividade que iniciei por volta dos 14 anos, em que dei primazia à guitarra (aos 28 foi publicado o meu primeiro trabalho). Lembro-me que sempre refleti sobre questões como: como é que, quando tocamos guitarra temos capacidade de controlar tantos eventos em simultâneo. Quais são os mecanismos cerebrais e biomecânicos que nos permitem articular uma miríade — necessária — de mecanismos sensoriais, cognitivos, racionais, executivos e comportamentais por forma a tanger um instrumento musical e a produzir os sons que queremos que sejam produzidos com competência.

Mas a reflexão não se fazia só sobre a produção. Simultaneamente questionava-me como é que a música perpetra em nós autênticas manipulações emocionais muitas vezes impossíveis de contrariar!

Entretanto, a reflexão não se fazia só relativamente à música, a objetos sonoros organizados verticalmente e manifestados longitudinalmente, mas sim relativamente aos sons em geral e à sua natureza. Por isso, sempre me questioneei também sobre o que é que os sons gerados por um coro, um Fórmula 1 ou a guitarra de Michael Lee Firkins tinham em comum?

Dando alguns exemplos específicos

Lembro-me de que quando fui ver a primeira corrida de Fórmula 1 da segunda era em Portugal,¹ em 1984 no Autódromo do Estoril, o impacto que este evento teve em mim foi extraordinário e inusitado. À medida que os carros passavam, estando eu perto da pista, na curva que antecedia a reta-da-meta, o meu sistema cognitivo entrava espontaneamente num estado superativo, deflagrando descontroladamente reações emocionais numa mistura não totalmente explicada, entre alegria, tristeza, e mesmo discernimento afetado, que ainda hoje recordo com alguma precisão.

Lembro-me também, com bastante presença, do impacto e da minha reação subsequente a uns cantos da Liturgia Eslava. Aliás, praticamente qualquer canto do disco compacto *Chants De La Liturgie Slavonne*,² pelo Coro dos Monges Beneditinos do Mosteiro de Chevetogne, em Ciney, Bélgica, editado pela etiqueta francesa Harmonia Mundi, em 1989. Assim que os ouvi pela primeira vez, o meu sistema emocional sobrepôs-se à compostura e chorei, copiosamente. Em boa verdade, confesso que, sempre que ouço alguns temas deste disco, posso ainda chorar descontroladamente.

O que é que tudo isto teria em comum? Era a pressão acústica? Era a relação inter-harmónica? A intra-harmónica? Era o contexto onde se produzia? Era o contexto onde se percecionava? É absolutamente relevante destacar que alguns destes estímulos tinham (e têm) impacto tal que me retiravam a força física temporariamente — literalmente, sentia problemas de sustentação no estar-de-pé pela debilitação dos músculos das pernas, pelo fraquejar.

Conjetei, mas colocando a hipótese de vir observar,³ sobre o potencial e principal fator responsável por aquele fenómeno. Isto é, sobre a possível fonte geradora de um estado carregado de fenómeno emocional de grande impacto. E a conjectura recaía não sobre uma possibilidade abstrata e subjetiva, mas sim, e acima de tudo, sobre o som qua matéria estímulo e sobre potenciais processos físicos correlacionados — assim como uma interpretação subjetiva sobre o que é

¹ A primeira era foi nos anos de 1958, Porto, 1959, Lisboa e 1960, Porto.

² *Chants De La Liturgie Slavonne*. Choeur Des Moines De Chevetogne. Harmonia Mundi – HMA 190567. Serie: Musique D'Abord. CD, França, 1989, Clássica, Medieval.

³ E trabalhámos experiências neste tema já no processo de investigação. É, sem dúvida, um tema ao qual voltaremos no futuro.

o calor não retira o impacto físico deste em quem tem aquela interpretação subjetiva, parecia-me um fenómeno não emanado de uma minha interpretação ancorada no meu processo cultural.

E quando pensei no som, pensei na frequência a que os sons ocorriam, talvez misturada com a amplitude. E sons porque não seriam exclusivamente uma frequência única, mas o conjunto harmónico a que aquilo ocorria. Um motor automóvel Fórmula 1 funcionava nessa altura a cerca de 18.000 rotações por minuto, ou seja, na frequência de 300 Hz, na sua velocidade máxima. Seria perfeccionado como 9.000 *picos* — *o ciclo de explosão* — por minuto, isto é, 150 Hz. Mas gerava uma série de sub-frequências correlacionadas e co-potenciadas as quais o nosso sistema cognitivo poderia percecionar como um todo orquestrado. Seria, antes de mais, especulava eu, um fenómeno físico com causa e efeito.

Uma outra dimensão do questionamento e processo

Há muitos anos, no final da década de 1970, era eu pré-adulto ainda, quando apareceu o *Cubo de Rubik*. Fiquei fascinado com o desafio que ele criava enquanto puzzle. Aliás, aquele inusitado objeto fascinou-me ainda mais por outro motivo: o facto de ter geometria variável. Era uma espécie de enigma, de puzzle ainda mais puzzle do que o puzzle ele mesmo. Se tinha geometria variável, tinha de ter uma arquitetura interna que permitisse essa proeza. As suas entranhas tinham de ser consubstanciadas por um mecanismo que lhe permitisse agregação de partes, rotação de partes e recolocação de partes. Tudo isto, no seu cerne mecânico, invisível a partir do exterior.

A curiosidade foi de tal maneira que, após discussões com alguns amigos, desafiei-me a mim mesmo a deslindar o enigma, mas sem desmantelar o artefacto. Aliás, nem percebi muito bem como seria possível à primeira vista. Ou seja, quis resolver o problema somente pela observação do todo estrutural e funcional — partes e manuseamento — e por exercícios de abstração espacial das possibilidades da sua arquitetura interna. E consegui. Claro que percebi que consegui depois de dissecar o artefacto. Claro que também apurei o conhecimento por consequência disto. Mas o que interessa aqui é, sobretudo, sublinhar que a curiosidade e o método foram réplicas do processo, podemos dizer, de observação empírica e prática científica, ou com esse carácter, mesmo não institucionalizada. E estas características estiveram sempre presentes até hoje e foram cruciais para

este projeto, projeto que potenciou e requisitou uma incontornável incursão e prática nas neurociências e na neurotecnologia.

Fechando este preâmbulo

Isto não é nenhuma justificação científica, nem artística, porque o propósito último não é esse. É, tenho a certeza, a justificação de uma motivação, interminável, que, aliás, se transformou numa paixão. Mas, finalmente, também posso dizer que sinto que sempre estive numa posição privilegiada: entre a implementação e a experienciação, na primeira pessoa, tanto de projetos artísticos como de projetos científicos e isso coloca-me questões incomuns, inusitadas e difíceis, mas também me dá ferramentas interessantes de reflexão e produção.

Contudo, aviso já, que não estou convencido de nada. Tenho umas propostas interessantes de quando em vez baseadas em reflexão e ponderação multimodal, mas, como sou desmesuradamente curioso, a maioria das vezes revejo e evoluo essas propostas, ou mesmo refuto. A curiosidade e a forma como me deixo rodear de informação, desmesurada muitas vezes, é tal que, muitas vezes, me coloca problemas de sistematização, síntese e especialização. Mas sou aprendiz porque quero ser e espero sê-lo até que a (re)configuração da minha matriz não me permita, eventualmente.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Cérebro, contexto, estímulos e comportamento

O ato artístico performativo ao vivo, como, a exemplo, a manipulação de um instrumento musical para gerar música, é baseado num comportamento dinâmico racional, motor, visual, auditivo, tátil e sensorial orquestrado, onde vários mecanismos interagem em múltiplas e complexas detecções e tomadas de decisão em tempo real, para controlar adequadamente os sistemas musculares, auditivos e visuais. Desencadeia fenômenos emocionais que nem sempre são detetados conscientemente, e que funcionam como energia de realimentação espontânea incontornável e concorrente ao sistema volitivo, consciente, deliberativo e arbitrário. Um fator que pode influenciar decisões racionais e afetar o próprio ato performativo. Mas o ato performativo ao vivo, aquele com performer(s) e audiência, qua entidades-cérebro que compartilham o ato, também é um evento participativo e multi-contributivo onde ambas compartilham e alimentam sinergicamente um conjunto simultâneo de eventos interligados no espaço-tempo, isto é, no contexto da sua consubstanciação, a ecologia do palco onde o ato acontece.

Este contexto, onde os constituintes e eventos podem ser autónomos, ingredientes previstos, mas também contingentes, podem-se intrometer uns nos outros de forma consequente numa estimulação ubíqua e permanente, é ao mesmo tempo, propomos, o próprio estímulo — ou, melhor, um superestímulo⁴ — de configuração dinâmica, onde são geradas narrativas espontâneas e/ou provocadas, controladas e/ou manipuladas na cronologia do espaço-tempo de ocorrência, impossíveis de segregar na simultaneidade.

⁴ Ver capítulo 5, *Estímulos e Consequências*.



Fig. 2: Contexto, constituintes e eventos.

Abstração conceptual de contexto e dos constituintes participativos, 2015. A dinâmica de um contexto performativo cria uma sinergia que pode influenciar o próprio ato e caracterização performativa. O círculo maior e os elementos mais dispersos representam o contexto global; o círculo superior, com os elementos mais organizados, representa o performer; o círculo da direita representa a manifestação performativa.

O cérebro é um sistema neuro-físico, químico, elétrico, com capacidades operacionais embutidas, intrínsecas, a priori, pré-experiência e independentes da experiência, mas também moldáveis a posteriori via interação/exposição com/a estímulos (Buzsáki 2006). Há dois processos que são pilares no funcionamento cerebral e, conseqüentemente, impactam no comportamento do corpo que habita: *sentir e atuar*. A parte sensorial tem uma relação direta com o fenómeno emocional. A atuação tem uma relação direta com o raciocínio. Mas estes processos não são independentes, nem entre si, nem entre si e o meio-ambiente — considerando o exo- e o endo-contexto — onde opera e a que pertence. Existe uma interação recíproca que constitui um ciclo cibernético, iterado e retroativo, que liga o organismo ao seu ambiente (Marques-Teixeira 2000).

Alguns processos são explícitos. Podem ser apercebidos quando inferidos de observação e análise da expressão comportamental e fisionómica do bio-mecanismo hospedeiro (Tipper, Signorini, e Grafton 2015). O corpo, neste sentido, cria potencialmente representações dos processos do cérebro. Também é capaz

de, através de estratégias e mecanismos que o próprio cérebro implementa e usa, materializar representações externas — ações e/ou artefactos — que possam denotar fenómenos e processos como os mencionados. Mas há processos cerebrais que permanecem incógnitos, sendo, contudo, determinantes para o comportamento desse corpo e para o meio onde o atua.

O cérebro gera oscilações elétricas, também designadas de ondas cerebrais, com tensão e frequências múltiplas (Berger 1929), um fenómeno relacionado com o seu funcionamento. Este fenómeno pode ser captado,⁵ transduzido, decomposto e individualizado em bandas de frequência e amplitudes correlativas que podem denotar e classificar estados e comportamentos mentais, pela via do método-sistema da eletroencefalografia (Sanei e Chambers 2007), mais conhecida por EEG, sendo uma das suas versões contemporâneas a interface cérebro-computador, divulgada como BCI.⁶ Este sistema, para além de permitir denotar estados mentais, pode permitir a utilização de procedimentos volitivos cerebrais para atuar eventos e ou objetos diretamente (Wolpaw et al. 2002), isto é, dispensando o biomecanismo que normalmente usa: o seu hospedeiro, ou seja o corpo humano.

O conhecimento do cérebro — e as explicações e representações produzidas por esse conhecimento — construiu-se, ora por imaginação, ora por especulação, ora baseado na lógica científica, ora na lógica artística. Construiu-se ao longo da história usando várias abordagens e métodos, desde observação indireta, investigando-se o comportamento das pessoas no seu ambiente ou sob condições provocadas, e colocando-se hipóteses sobre a possível lógica daqueles comportamentos (Clarke, Dewhurst, e Aminoff 1996).

Mas aquele conhecimento também se fez usando técnicas de observação direta da sua substância orgânica e da organização desta, ora *in vitro*, ora também, muitas delas, *in vivo*, deliberadamente invasivas — literalmente desmantelando o cérebro de seres vivos, incluindo humanos — sob pretexto da razão científica (LaFollette e Shanks 1994; Finger 2001).

⁵ O fenómeno eléctrico cerebral pode-se detetar com sensores colocados na superfície do escalpe, ou seja, sem invadir fisicamente o interior do cérebro, mas também se pode fazer de forma invasiva, literalmente colocando sensores diretamente nos neurónios e tecidos adjacentes.

⁶ Ver capítulo *As Interfaces Cérebro Computador*.

Neste percurso inventaram-se tecnologias como o eletroencefalógrafo⁷, que permitiu “conhecer” o cérebro para além da sua substância corpórea e, pressupostamente, a operar baseado na eletricidade, um fenómeno sem formas físicas aparentes, mas absolutamente imprescindível para o seu funcionamento. Surgiu, por consequência, a possibilidade do cérebro se mostrar a ele mesmo a funcionar através de uma nova escrita, uma oscilografia grafada por ele mesmo em tempo real (Borck 2008).

O repositório do conhecimento sobre o cérebro e algumas descobertas particulares sugerem que algumas sensações e emoções emanam como que automaticamente de causa-efeito e em locais específicos e precisos e isso pode permitir detetá-los, caracterizá-los e classificá-los com alguma confiança e objetividade (Kandel 2013). Mas outros, como a volição, o comportamento razoado — consciente, deliberado, espontâneo e arbitrário — emana de uma articulação complexa multi-sítio, por exemplo, entre sítios do lobo frontal, ou entre sítios do lobo frontal em articulação com sítios do lobo parietal (Fuster 2008; Koziol 2014). Mas, lembremos, o cérebro, qua próprio-sistema, para além de funcionar como um todo integrado, articula-se em ecossistema com o meio-ambiente onde opera num todo complexo, que se percebe, em parte, lógico, mas permanece, em parte, codificado, desconhecido. (Kandel 2013)

A complexidade, mas também, o *enigma* foram a centelha de uma curiosidade incontornável, da vontade conhecer, mas também de especular sobre a essência, relações, comportamento, impacto e responsabilidades do cérebro. Daqui emanaram várias questões, das quais se elencam as determinantes do racional de investigação.

1.2 Questão Principal

Seria possível denotar processos racionais e experiências emocionais diretamente do cérebro à sua representação, isto é, através de métodos e manifestações que não usassem o bio-mecanismo seu hospedeiro?

⁷ Mais à frente, no capítulo *O Cérebro Funciona a Eletricidade*, teremos notas históricas sobre esta tecnologia.

1.3 Questões Secundárias

- 1) Seria possível denotar as emoções e a volição e as suas possíveis influências recíprocas e consequentes comportamentos, simultaneamente, em tempo real, usando exclusivamente o fenómeno elétrico e tecnologia EEG/BCI não invasiva (e de baixo custo)?
- 2) Seria possível denotar a ecologia contextual destes processos e experiências?
- 3) Seria possível materializar representações que denotassem os processos e as experiências com clareza científica, mas que tivessem, simultaneamente, uma substância artística e filosófica capaz de provocar questionamento sobre os próprios comportamentos e posicionamentos do cérebro?

1.4 Hipóteses

Pensámos ser possível, num espaço-tempo de manifestação artística, considerando a exposição cronológica dos constituintes representantes dessa manifestação constituindo-se como narrativas geradas em tempo-real, denotar aqueles processos e experiências de forma objetiva, ou o mais clara possível, observando qual deles, considerando o contexto, deixaria uma maior pegada, qual deles estaria mais presente, qual deles prevaleceria sobre o(s) outro(s), qual condicionaria o quê.

Pensámos ser possível uma manifestação que pudesse ser estatística pela via de uma exposição cumulativa iterada e justaposta das ocorrências correlacionadas com aqueles fenómenos/procedimentos. Pensámos ser possível criar documentários estatísticos, mesmo que fossem metafóricos.

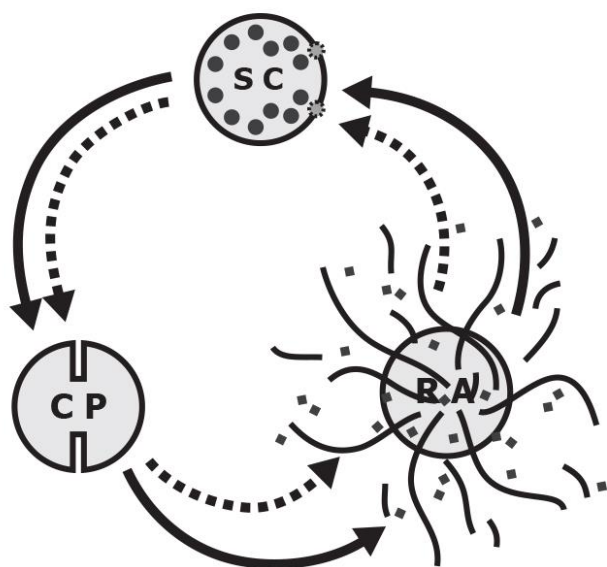


Fig. 3: Diagrama/fluxograma síntese da implementação tecno-projetual

Neste diagrama/fluxograma, S C, refere-se a sensores-cérebro e engloba o interface EEG/BCI e o Cérebro; C P, refere-se a computador(es)-projetor(es) —vídeo e/ou áudio— e engloba o software de computação EEG, de implementação artística e de exposição audiovisual; finalmente, R A, refere-se a representações-artísticas, e é uma abstração dos objetos/eventos artísticos em manifestação. 2017

1.5 Ambições projetuais

Música, Razão e/ou Emoção é uma investigação-projeto, artística, técnica e científica, que teve como essência estrutural e racional a criação, realização e manifestação multimídia artística em tempo real de representações de processos e experiências cerebrais, que potencialmente denotem emoção, enquanto possibilidade de reação espontânea, e razão, enquanto possibilidade de deliberação arbitrária espontânea e/ou premeditada, que ocorrem em tempo real no contexto do ato artístico performativo, e simultaneamente a ecologia desse contexto — o cérebro enquanto palco, mas também o cérebro no palco — usando sistemas EEG/BCI sem-fios, portáteis, não invasivos, de baixo-custo e multicanal. Estas características, de acordo com as nossas premissas e balizas, são as que possibilitam usar o palco como laboratório. A característica multicanal afigura-se-nos como imprescindível para usar a volição e denotar emoções.

Como a nossa missão é fundamentalmente artística e propondo que a arte é o último reduto da liberdade, mas também da ética e da verdade, propusemo-nos

a responsabilidade de, seja por via explícita ou metafórica, simultaneamente observando a missão de denotar com objetividade aqueles processos e experiências, colocar em perspectiva pressupostos racionais, de classe, exclusivos, e de denunciar comportamentos e impactos humanos na sua própria ecologia. E procuramos fazê-lo por manipulação estética como possibilidade de provocação e questionamento intelectual, para além de sensorial, por via do razoar não vinculado a normas consensuais e pela disrupção das emoções.

As nossas propostas de representação e as narrativas que lhe dão substância procuraram a manifestação holística da simultaneidade e ubiquidade do cérebro em vários contextos e a ecologia contextual, incluindo eventos, constituintes, inanimados ou animados, comportamentos e consequências.

1.6 Motivações

No preâmbulo expusemos elementos biográficos que achamos que tiveram impacto na nossa essência enquanto investigadores e demos a entender que os contextos de prática artística, em particular a música, foram importantes.

Contudo, a nossa prática artística nunca foi exclusivamente música. Aconteceu em várias áreas e usando múltiplos meios, por vezes misturados, entre pintura, escultura ou escrita. Depois da sublimação dos sistemas digitais, e de um acesso mais fácil às tecnologias computacionais, a criação e exposição/manifestação de objetos e narrativas de, por exemplo, síntese digital 3D, ou instalações multimédia, enfim uma produção sustentada em media digitais, foi um passo natural. A prática artística também nos colocou cedo outras questões, filosóficas e políticas, onde a dimensão e comportamento humanos e o impacto destes no meio-ambiente foram centrais na promoção de reflexão e produção artística.

Mas o que achamos que foi a motivação principal de facto foi a visualização, em 2008, de um documentário *60 Minutes*, um programa da CBS apresentado por Scott Pelley, sobre Catherine Hutchinson. Cathy (como Pelley a chamava) tinha sofrido um derrame cerebral que a deixou completamente paralisada e incapaz de falar, mas, apesar disso, “perspicaz mentalmente”⁸ (Pelley e Cetta 2008; Pelley e CBS 2008). Cathy permitiu que os cientistas ligassem o seu cérebro diretamente a um computador — literalmente conectando-a ao computador através de um

⁸ “Sharp in mind”

EEG/BCI cujos cabos passavam através de uma tampa embutida no seu couro cabeludo e eram ligados a eléctrodos implantados cirurgicamente na matéria intracranial, isto é, diretamente nos tecidos do córtex cerebral. Cathy foi um dos primeiros seres humanos a ter o cérebro diretamente ligado a um computador na esperança de que o sistema lhe pudesse devolver alguma autonomia.

1.7 A investigação prévia

Apesar de existirem projetos artísticos manifestados em palco que usavam potenciais elétricos do cérebro, nomeadamente invocando uma correlação com o fenómeno emocional e preocupações holísticas, não existiam projetos que usassem simultaneamente as vertentes emoções e/ou a volição para caracterizar e/ou controlar objetos e eventos com métodos que pudéssemos aceitar como o suficientemente objetivos de acordo com critérios científicos para denotar aquelas vertentes, e gerassem, interactivamente e em tempo real, narrativas representativas daquelas dimensões simultaneamente com as potenciais causas/efeitos num todo crono-ecológico da sua ocorrência.

1.8 Síntese dos objetivos

- 1) Aprofundar conhecimentos sobre fenómenos, processos e mecanismos do cérebro enquanto potenciais de comportamento próprios e na relação ecológica com seu meio-ambiente interno (bio-mecanismo hospedeiro, ou endo-contexto) e externo (contexto geral onde opera, ou exo-contexto);
- 2) Criação interativa, em tempo real e no palco, de conteúdos e narrativas digitais baseados, controlados, manipulados e (re)caracterizados diretamente pelos potenciais elétricos do cérebro;
- 3) Conteúdos e narrativas que usem e denotem os atos razoados e emocionais ocorridos no cérebro no contexto do seu comportamento e a ecologia desse contexto, incluindo todos os seus constituintes.

1.9 Metodologia

Para isso, a nossa a revisão bibliográfica e projetual focou-se fundamentalmente em duas grandes vertentes: o cérebro e as representações.

No que concerne o cérebro, investigámos sobre os fenómenos emocionais e volitivos deste revendo explicações baseadas nas descobertas derivadas das experiências científicas e respetivas observações empíricas sobre domínios e dimensões físicas e funcionais daquele, nomeadamente anatomia/arquitetura, conexões intra- e inter-sítios, fenómenos químicos e elétricos, fluxo e processamento de dados, interação com o contexto e comportamento reativo, ativo/enativo. Mas também as invenções tecnológicas e os métodos e procedimentos que permitiram detetar e caracterizar e perceber a lógica do seu funcionamento e fenómenos particulares como os suprarreferidos, e/ou ainda, lidar com contingentes contextuais que, em análises balizadas por interesses particulares podem ser ingredientes considerados ruído e artefactos interferindo por isso na objetividade dessas análises.

No que diz respeito às representações, analisámos e revimos iniciativas de representação do cérebro e dos seus processos e incluímos, necessariamente, propostas, projetos e objetos científicos, mas também artísticos que se mostraram como relevantes ora por significado e/ou marco histórico ora por originalidade, fosse pertinente ou impertinente. Como as representações dos elementos e eventos da realidade são fundamentalmente abstratas e arbitrárias, independentemente de serem mais miméticas ou mais sintéticas, para além da análise às iniciativas dedicadas ao cérebro, revimos outras relacionadas com o próprio conceito representação e os consensos ou controvérsias em torno deste nos domínios da ciência e da arte, por forma a contextualizar e justificar as nossas propostas projetuais de representação que se constituíram como o resultado-resposta do processo de investigação.

Os projetos realizados incluíram realizações tecnocientíficas em laboratório controlado e artísticas em palco. As primeiras, duas delas transpostas para este manuscrito, visaram fundamentalmente validar a tecnologia e as suas possibilidades de utilização de acordo com duas hipóteses — denotar emoções e controlar eventos. As artísticas, cinco delas analisadas neste manuscrito, tiveram por objetivo materializar propostas que permitissem a manifestação daquelas hipóteses — de forma informada e vigiada por premissas científicas —, mas, simultaneamente (manifestar) o palco e a sua dinâmica ecológica, ou seja, o contexto da prática/produção artística onde aqueles processos cerebrais acontecem e impactam. Ainda, não menos relevante e pelo contrário, que também problematisassem alguns dos próprios consensos, teorias e postulados que se têm vindo a escrever no domínio das neurociências.

Usámos abordagens inovadoras e incomuns que visaram a materialização inovadora também por criação, geração, controlo, manipulação e re-caracterização de conteúdos em tempo real, manifestados em narrativas multimédia de expressão visual e/ou sonora, que pudessem ser representantes significantes de, simultaneamente, o comportamento do cérebro, a sua interação no contexto onde é agente, o próprio contexto, a sua ecologia e consequência.

A materialização passou por desenhos, métodos, ferramentas e experiências científicas e artísticas. Nas científicas usámos aquelas que as recomendações da bibliografia e projetos de referência investigados sugeriam. Laboratórios controlados, onde as condições de recolha dos potenciais cumprissem as condições paradigma, nomeadamente aquelas em que ruídos e artefactos de contexto e tecnologia pudessem ser acautelados e mitigados.

1.10 Sobre terminologia, idiomas e traduções

A maioria da bibliografia e outras fontes consultada estava em idioma inglês. Algumas estavam em alemão e também latim. Todas as traduções são da nossa responsabilidade. Contudo, os originais foram sempre transpostos para notas de rodapé.

Nos elementos de carácter técnico especializado, nomeadamente naqueles que descrevem o cérebro em termos anatómicos, onde existem convenções mais ou menos consensuais pelas respetivas classes, foram consultadas traduções especializadas em português, sempre que possível, por forma a garantir que os termos usados estivessem dentro dessa terminologia. Outros termos, por exemplo, explicados em notas, por serem termos menos específicos, mesmo que fossem de técnicos — por exemplo, de medicina — foram transpostos de dicionários especializados.

Algumas denominações ficaram na sua forma original, nomeadamente nomes de instituições e lugares quando não encontrámos traduções, ou as nossas nos sugeriam uma potencial mutação de sentido.

Decidimos também usar o mínimo possível de acrónimos pelo facto de que este tipo de síntese linguística, sendo útil nos manuscritos de investigação e reflexão específicos e de construção relativamente curta, não é suficiente normalizada e é

difícil de gerir em articulados longos. Esta opção não a aplicámos a denominações de carácter tecnocientífico institucionalizados, nomeadamente símbolos e fórmulas quando usados. Um dos exemplos é EEG, enquanto designação de eletroencefalografia, ou EEG/BCI, que promovemos como termo que agrupa os termos eletroencefalografia e interface cérebro-computador, BCI (designação em inglês amplamente divulgada). Fomos motivados pelo facto de que estas designações, e a essência que encerram, seja técnica seja científica, alinham por uma concomitância mais unívoca do que dicotómica.

Termos como hardware, software ou outros de divulgação generalizada, apesar de terem origem estrangeira, são usados sem tradução pois fazem parte do léxico comum e a maioria deles estão inscritos nos dicionários de língua portuguesa. Independentemente disto, para facilitar o reconhecimento e entendimento de algumas denominações elaborámos um pequeno glossário. O glossário refere-se a termos, entre siglas, designações ou termos técnicos, referidos no articulado e relevantes para a compreensão das partes onde estão inseridos. Mas não é, nem pode ser, exaustivo. Se quiséssemos cobrir a totalidade dos termos passíveis de explicação, o glossário incorreria no risco de ter uma dimensão enciclopédica e isso seria, neste contexto, contraproducente.

1.11 Glossário

Designação	Significado / descrição sumária
*	Multiplicação de dados
+	Adição de dados
ADC	Conversor analógico digital
ADN	Ácido Desoxirribonucleico. Ácido que contém as instruções genéticas que coordenam o desenvolvimento e funcionamento dos seres vivos
AP	(Access Point) Ponto de Acesso ou a capacidade dos dispositivos de rede permitirem expandir a cobertura de rede
ARRAY	Grupo de elementos (que formam uma unidade)
BANG	Mensagem tipo impulso único
BCI	Interface Cérebro-computador. Tecnologia que permite captar sinais cerebrais e transmiti-los a um computador para processamento e uso intencional (interesseiro, oportuno) - por exemplo, para controlar uma prótese
BUFFER~	Retentor temporário de memória no qual amostras são armazenadas para serem editadas, referenciadas ou salvas
CLOCKER	Relógio de reporte de tempo
CMS/DRL	(Common Mode Sense / Driven Right Leg) Eléttodos que formam um circuito de realimentação, que conduz o potencial médio do sujeito o mais próximo possível de uma tensão de referência
CYCLE~	Oscilador de ondas sinusoidais
Datagram	(adaptação do inglês: Datagrama) Entidade de dados independente e completa que contém informações suficientes para ser encaminhada da origem ao destino sem necessitar de confiar em trocas anteriores entre a fonte, a máquina de destino e a rede de transporte
DC	(componente) Amplitude média de um sinal
DELAY	Adia um bang por um período de tempo especificado depois do qual envia o bang para um objeto determinado
DRIFT	Deriva
ECG	Eletrocardiograma / Eletrocardiografia*. Método de captação, registo gráfico e análise do fenómeno elétrico que ocorre no coração
ECoG	Eletrocorticograma / Eletrocorticografia. Método de captação, registo gráfico e análise do fenómeno elétrico que ocorre no cérebro, usando sensores colocados diretamente no córtex cerebral — fisicamente invasivo
EDF	(European Data Format) Formato Europeu de dados para troca e armazenamento de sinais multicanal biológicos e físicos

* O elemento de composição -grafia está relacionado com grafar, ou sistema que dá forma escrita a (o processo), e o -grama com o grafado, ou aquilo que o sistema grafou (o resultado). Todavia, é comum usar a mesma designação (ou sigla, nestes casos), como representante de ambas as expressões. Isto aplica-se a todas as expressões baseadas nesta característica inscritas neste glossário.

EEG	Eletoencefalograma / Eletoencefalografia. Método de captação, registo gráfico e análise do fenómeno eléctrico que ocorre no cérebro, usando sensores colocados à superfície do escalpe — fisicamente não invasivo
EEG/BCI	Proposta de designação que agrega o método EEG e a tecnologia BCI (emergida nesta investigação)
EMG	Eletromiograma / Eletromiografia. Método de captação, registo gráfico e análise do fenómeno eléctrico que ocorre nos músculos
EOG	Eletro-oculograma / Eletro-oculografia*. Método de captação e análise do fenómeno eléctrico que ocorre nos globos oculares
Ethernet	Arquitetura de interconexão de redes locais
FFT	(Fast Fourier Transform) Transformada Rápida de Fourier
fMRI	MRI funcional é uma versão do MRI que, para além da morfologia do cérebro, é usada para detetar e mapear a atividade deste
FTM	Biblioteca compartilhada para Max que fornece um sistema pequeno e simples de objetos para tempo real e um conjunto de serviços otimizados para ser usado dentro com externos Max. O objetivo é estender os tipos de dados trocados entre objetos num patch Max — estruturas de dados complexas, como, entre outras possibilidades, sequências, matrizes e/ou dicionários. Por: ISMM {Sound Music Movement} Interaction, antes Real-Time Musical Interactions, grupo baseado no IRCAM, Institute for Research and Coordination in Acoustics / Music, Centre Pompidou, Paris, França
FUNCTION	Objeto para editar graficamente, x e y, ponto(s) de quebra função
GAIN	Objeto que permite programar o ganho (algumas variações, por exemplo, live.gain~, também permitem visualizar)
GROOVE~	Objeto que permite uma reprodução não linear dos ficheiros armazenados temporariamente no objeto buffer~
GSWITCH	Objeto que permite selecionar um de múltiplos inlet(s) e disponibilizar os dados que aí entram num outlet
GSWITCH2	(ggate) = Objeto que permite selecionar um de múltiplos outlet(s) e disponibilizar aí os dados que entram num inlet
IF	Objeto que avalia a entrada de acordo com uma instrução condicional em forma se-então-ou (if-then-else) e disponibiliza saída de acordo com a condição requerida
INLET	Entrada de dados (num objeto Max, como exemplo)
JIT.ANIM.NODE	Objeto que permite transformações hierarquizadas (posição, orientação e escala) num espaço 3D
JIT.GL.GRIDSHAPE	Gerador de formas geométricas simples em modo grelha
JIT.GL.PATH	Objeto que gera linhas (no espaço 3D e com formas 3D)
JIT.MATRIX	Matriz que pode ser usada para armazenamento e recuperação de dados, re-amostragem e operações de conversão de planos e matrizes
JIT.PHYS.6DOF	(seis graus de liberdade - 6 degrees of freedom no idioma inglês) objeto que permite restrições lineares e angulares em qualquer um dos três eixos x, y e z. Cada eixo pode ser bloqueado, livre ou limitado
JIT.PHYS.BODY	Objeto rígido associado a um colisor que permite detetar e usar colisões numa simulação física
JIT.PHYS.MULTIPLE	Objeto que permite usar várias matrizes para simular corpos rígidos nem mundo físico (virtual)
JIT.PHYS.WORLD	Objeto que encapsula um contexto de simulação física para realizar a deteção de colisão e a dinâmica rígida de objetos
JIT.WORLD	(versão Max 7 ou superior) Objeto que encapsula várias funcionalidades e objetos num patch básico como, entre outros, janela e motor de visualização (rendering) e física, ajustes da geometria do contexto de rendering
KSLIDER	Teclado virtual (de tipo musical, analogia teclado piano)

Likert	(Escala de) Método que usa uma escala na qual se especifica o nível de concordância com uma afirmação
LINE	Objeto que determina como um valor de entrada é disponibilizado na saída gerando transições programadas dentro de um período de tempo programado
LOG	Logarítmico
MEG	Magnetoencefalograma / Magnetoencefalografia. Método de detecção e mapeamento da atividade do cérebro por meio de captação do campo magnético produzido pela atividade elétrica do cérebro
METRO	Emissor de impulsos em intervalos regulares determinados
MIDI	(Musical Instrument Digital Interface) Interface digital de interconexão e lógica para a comunicação em tempo real entre instrumentos musicais eletrônicos, computadores e dispositivos relacionados
MnM	(Mapping is not Music) Biblioteca modular constituída por um conjunto de objetos externos para Max baseados em FTM dedicada à gestão de fluxo(s) de dados multidimensionais, obtidos normalmente de sensores ou descritores de som
MRI	Imagiologia por Ressonância Magnética. É um método que consegue discriminar os diferentes tipos de tecidos cerebrais e, assim, a morfologia do cérebro
MULTISLIDER	Objeto com deslizador(es), que permite visualizar ou controlar dados. Enquanto visualizador recebe dados num inlet e denota-os rolando automaticamente os deslizadores. Enquanto controlador deslizante emite dados e disponibiliza-os em outlet
OSC	(Open Sound Control) Protocolo aberto de controlo de som que permite a comunicação entre computadores, sintetizadores de som e outros dispositivos multimédia que assenta em interoperabilidade, precisão, flexibilidade
OSC-ROUTE	Objeto que encaminha dados OSC
OSCBANK~	Banco oscilador não-interpolante, com entradas de sinal e número, que possibilita determinar o número de osciladores e definir a frequência e magnitude de cada oscilador
OUTLET	Saída de dados (num objeto Max, como exemplo)
P300	Componente que ocorre 300 milissegundos após um estímulo relevante derivado da atividade elétrica cerebral que pode ser detetado pelo sistema EEG
Passa-alto	Filtro ajustável que rejeita sinais abaixo, e deixa passar os acima, de um interesse
Passa-baixo	Filtro ajustável que rejeita sinais acima, e deixa passar os abaixo, de um interesse
Passa-banda	Filtro ajustável que deixa passar bandas de interesse em detrimento de outras
PAST	Objeto que notifica quando um limite determinado é ultrapassado
PATCH	Programa Max. Os programas Max, denominados de patch, são realizados organizando e conectando objetos-bloco construtivos (isto é, fragmentos que contribuem para um todo) dentro de uma janela a isso dedicada. Os objetos, programas eles mesmos, correspondem a bibliotecas ligadas dinamicamente
PATCHER	Um subpatch dentro de um patch
PET	(Positron Emission Tomography) Tomografia por Emissão de Positrões
POLY~	Objeto que permite encapsular um número determinado de instâncias de outros objetos e controlá-los enquanto alvos
PUSH	(tradução literal, do inglês: EMPURRAR) Um dos rótulos padrão do módulo Cognitiv Suite, do sistema Emotiv. Os rótulos são usados para mapear ações na utilização da interface Emotiv EPOC enquanto atuadora.

	Existem mais de uma dezena de rótulos e as suas designações remetem para ações como PUSH, PULL (PUXAR, na tradução literal) ou LEFT (ESQUERDA, na tradução literal), para mapear uma ação tipo deslocar para a esquerda. O mapeamento é arbitrário
QMETRO	Objeto semelhante ao metro, o qmetro suspende, dinamicamente, impulsos se o processamento estiver sobrecarregado
R-IoT	Dispositivo do âmbito da internet-das-coisas que incorpora sensor digital, acelerómetro, giroscópio e magnetómetro e permite a computação a bordo, autónoma, da orientação absoluta do dispositivo no espaço. Os dados dos sensores são processados localmente, analisados e transmitidos via Wi-Fi (UDP, Open Sound Control)
RESON~	Filtro baseado em filtro passa-banda
Router	Dispositivo mediador das rotas de transmissão de pacotes de dados em redes de comunicação como a Internet
SAW~	Oscilador de ondas dentadas
SEL	(Seletor) Emite bangs de acordo com correspondência programada de dados de entrada por via de seleção determinada
SMOOTH-LINE	Objeto que aplica em tempo-real uma transição suavizada entre números multidimensionais
SSVEP	(Steady State Visually Evoked Potential) Potencial Evocado Visualmente em Estado [ou regime] Estacionário. É derivado de sinais que são respostas naturais à estimulação visual, quando a retina é excitada por estímulos visuais
TCP/IP	(Transmission Control Protocol / Internet Protocol) Protocolo de controle de transmissão / protocolo de internet é um conjunto de protocolos de comunicação entre computadores em rede
UDP	(User Datagram Protocol) Protocolo simples de datagrama de utilizador da camada de transporte, que é a camada responsável pela transferência de dados entre duas máquinas
UDPRECEIVE	Objeto recetor de dados UDP
UDPSSEND	Objeto emissor de dados UDP
VEXPR	Objeto que executa expressões matemáticas e opera em listas em vez de em valores isolados
XML	(Extended Markup Language) Linguagem Estendida de Marcação. É recomendação do Consórcio da World Wide Web para linguagens de marcação genérica

Nota: algumas designações usam capitulares minúsculas — por exemplo, vexpr — porque esta é a forma grafada no contexto do articulado a que se referem. Estas designações estão exclusivamente relacionadas com a programação Max.

2 O CÉREBRO CONHECIDO

2.1 Sistemas e subsistemas em rede

O cérebro humano é um sistema extremamente complexo cuja arquitetura é baseada em múltiplas camadas e (sub)sistemas (poe exemplo, grupos de neurónios dedicados a certas rotinas ou funções, como por exemplo, o sistema auditivo que processa o fenómeno sonoro) ligados em rede, comunicando uns com os outros através de potenciais elétricos (Rubinov e Sporns 2010; Sporns 2010). Este fenómeno eléctrico é caracterizado por ocorrer em oscilações a várias frequências. Mais à frente, na secção dedicada ao fenómeno eléctrico do cérebro, falaremos nisto em mais detalhe.

Baseia-se em relações e interoperabilidade entre microssistemas constituídos por células individuais e sinapses, e macro-sistemas consubstanciados pelo sistema cognitivo e personificado na cognição (Buzsáki 2006; Sporns 2010). O cérebro tem um número estimado de cerca de 100 mil milhões de células nervosas, mas pode estabelecer um número ainda mais impressionante de conexões (via sinapses), porque muitos dos neurónios podem estabelecer milhares de contatos com outros neurónios (Buzsáki 2006) o que significa que o número resultante é “incrivelmente vasto”. (Ramachandran 2011)

2.1.1 Muitos milhões de conexões

O número 100 mil milhões tem sido o número mais divulgado pela comunidade científica, mas ao que tudo indica este nunca foi verificado (Herculano-Houzel 2009). Abordagens à quantidade parece ter havido (Azevedo et al. 2009; Herculano-Houzel 2009), mas de acordo com discussões recentes os métodos usados parecem não ser suficientemente precisos. Novas técnicas de contagem têm sido postas em prática, como o fracionador isotrópico, um método simples

e rápido para a quantificação do número de células e neurónios no cérebro, implementado por Suzana Herculano-Houzel e Roberto Lent (2005), o que lhes permitiu uma contagem mais precisa, mesmo que ainda estimativa (como todas as outras até à data). Sugerem um número mais próximo dos 85 mil milhões. Mas 100 mil milhões ou 85 mil milhões multiplicados por milhares de possibilidades resulta em números de facto vastos.

2.1.2 Ligações, contextos, sensações, emoções e ação

Mas não são só quantidades de neurónios e sinapses que caracterizam o cérebro. Os neurónios, para além do seu número e das possíveis ligações entre eles, são organizados em populações que se interligam e correlacionam, ou seja, pequenas redes, sistema esse que é visto como benéfico para todo o cérebro, pois permite organizações especializadas locais e ser um sistema otimizado de ligações aleatórias (Sacks 2008; Buzsáki 2006; Sporns 2010).

É este sistema de conjuntos de circuitos que permitem detetar e avaliar a relevância dos estímulos físicos no ambiente e planear e executar as reações adequadas. É o cérebro que nos fornece os esquemas funcionais, tais como sentidos básicos, mas também sequências de movimento locomotor e postura integrados (Buzsáki 2006).

Entre os seus processos estão emoções primordiais básicas e sentimentos⁹, por exemplo, raiva, o medo, a territorialidade, a possessividade, a serenidade, a sociabilidade, (Damásio 2008; 2010) e um amplo conjunto de capacidades cognitivas, por exemplo, atenção, procura, avaliação, aprendizagem, memória, reconhecimento, retenção ou conhecimento, introspeção, julgamento, discriminação, pensamento, abstração, propósito, planeamento, generalização, criatividade, escolha (Dafny 2000; Damásio 2010).

2.2 O que é o cérebro?

O nosso sistema nervoso é constituído por duas pragmatizações: o Sistema Nervoso Central e o Sistema Nervoso Periférico. O Sistema Nervoso Central é aquele que é contido e está protegido pelo crânio e pelas vértebras da coluna vertebral. Fazem parte deste o cérebro, cerebelo e tronco cerebral e os seus subsistemas, e a medula espinhal. O Sistema Nervoso Periférico é aquele que não está protegido

⁹ Ou seja, percepções compostas das emoções primordiais (Damásio 2008, 2010).

pelo crânio e pela coluna vertebral. Fazem parte deste o sistema de nervos e células que derivam do interior da coluna vertebral para os sensores, por exemplo, a pele, e para o sistema de músculos, por exemplo, o polegar, ou melhor dito, músculo adutor do polegar (Rubin 2011; Mackay 2011; Haines 2004).

Quando popularmente se fala de cérebro fala-se de todo um macro-sistema biológico que está dentro da cabeça. Mas, na verdade, devemos recordar que esse sistema, no seu todo, é designado por encéfalo, isto é, todas as partes do sistema nervoso central que estão alojadas no crânio e que compreende o telencéfalo (os dois hemisférios cerebrais). Este está ligado ao tronco cerebral através do dien-céfalo que é formado pelo tálamo, o hipotálamo e a hipófise. O tálamo é uma espécie de relé (retransmissor especializado), por onde todas as mensagens sensoriais, com exceção de algumas provenientes dos recetores do olfato, passam antes de atingir a parte exterior do cérebro: o córtex cerebral.

2.2.1 O Córtex Cerebral

O córtex cerebral é um manto extenso e engelhado, caracterizado por circunvoluções e sulcos, que reveste todo o telencéfalo perifericamente. É constituído por corpos de neurónios e células não neuronais que se distribuem ao longo dos dois hemisférios. Os neurónios corticais estão dispostos em camadas e, grosso-modo, são responsáveis pela sensibilidade, associação estética, memória, incluindo codificação, recuperação e gestão, avaliação exo-contextual e endo-contextual, incluindo emoções e estímulos ambientais, decisões executivas, incluindo aquelas que deferem como as que inibem as ações efetivas, linguagem, tanto compreensão como produção, sendo esta parte da motricidade geral que inclui também ação dos vários membros do corpo humano (Rubin 2011; Mackay 2011).

O córtex cerebral está dividido em dois hemisférios conectados pelo corpo caloso exteriormente denotado por uma fissura evidente, uma interface de fibras nervosas que atuam como relés de comunicação entre os dois lados. Os hemisférios são bastante simétricos e cada um deles é dividido em quatro grandes lobos: o occipital (a parte ínfero-posterior da cabeça), o temporal (cada uma das regiões laterais da cabeça, situadas acima do osso malar, o zigoma), o parietal (porção lateral da abóbada craniana situada entre as áreas frontal e occipital) e o frontal (a parte anterior do crânio).

Estas regiões podem ser caracterizadas por serem grandes áreas com funções específicas, mesmo que muitas das funções sejam distribuídas por várias ou mesmo todas as regiões. O lobo frontal é a parte onde a grande maioria dos pensamentos, do raciocínio e da deliberação consciente se processa. É também aqui que se inicia e controla os movimentos dos membros ou dos olhos. Trabalha também processos associados com recompensa, motivação, atenção, memórias de curto-prazo e planeamento. O lobo parietal é a grande região sensorial. Aqui faz-se a entrada e pré-processamento, processamento e associação geral de sinais de fontes externas e de sinais internos com origem nos membros, músculos esqueléticos, olhos ou cabeça. É onde se realiza uma primeira fusão de vários sinais e se cria uma representação coerente do nosso corpo em relação ao meio e aos constituintes desse meio, sejam objetos, animais ou outros elementos. O lobo temporal está associado com o processamento de entradas sensoriais e subsequente derivação em significados de nível mais alto através de associação de memórias, linguagem e emoções. Também é responsável pelas memórias de longo-prazo e onde estão as principais áreas de processamento, discernimento e produção de fala. O lobo occipital é o grande centro do processamento visual, considerando os sinais básicos que entram no sistema visual, até percepção e processamento de orientação, espaço e movimento (Wurtz e Kandel 2000).

Os dois diagramas seguintes apresentam a arquitetura geral do cérebro numa síntese focada nas estruturas e subestruturas globais, inscrevendo legendas que denotam funções, marcos e outros aspetos relevantes. Alguns destes aspetos serão recuperados noutras secções e capítulos mais à frente.

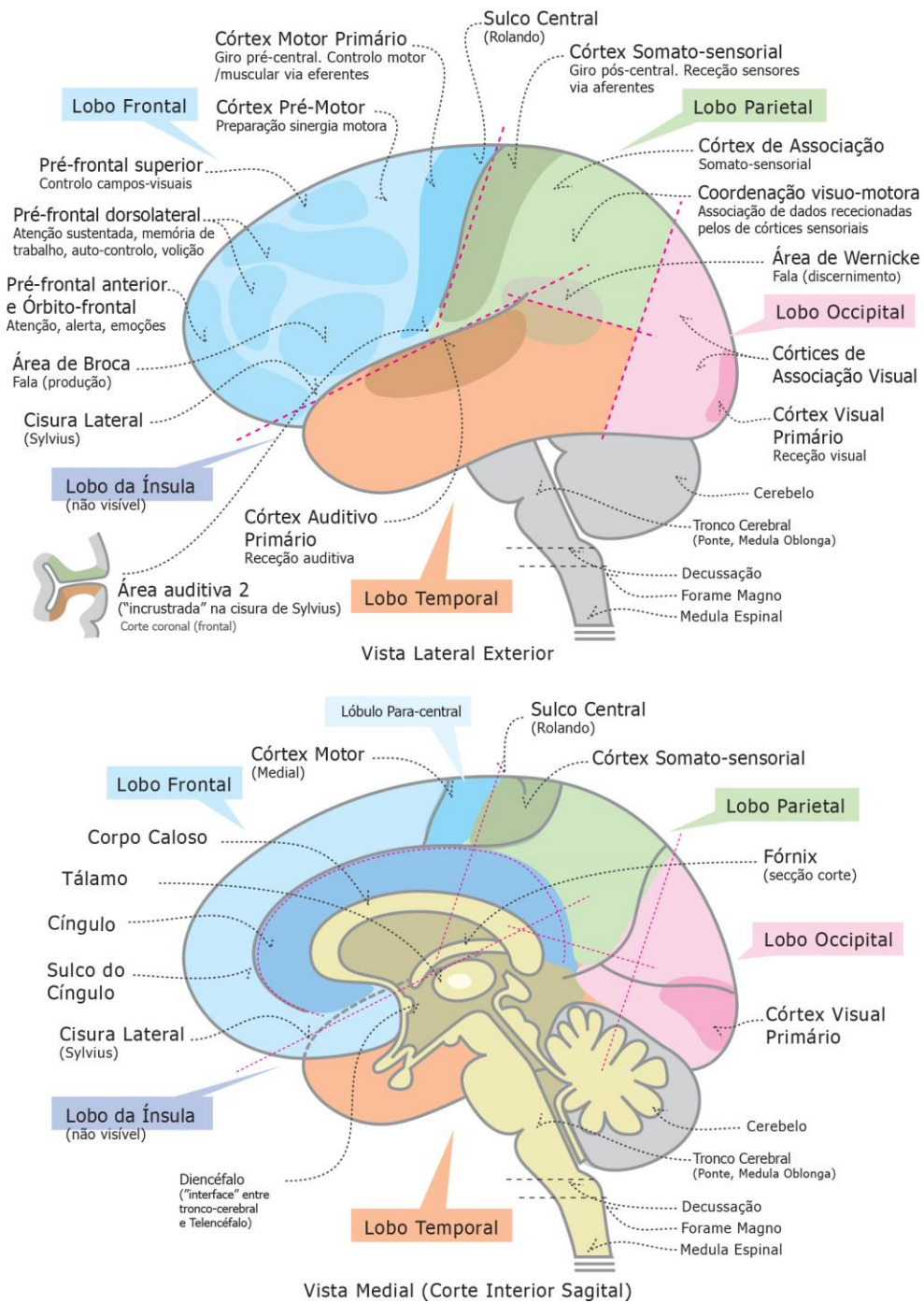


Fig. 4: Síntese diagramática da arquitetura do cérebro.

Estes dois organogramas, um vendo-se o exterior lateral e outro o interior, a partir de um corte entre hemisférios, mostram as principais áreas do encéfalo, incluindo o cerebelo e a medula, e algumas das funções e aspetos relevantes associados a cada região. Adaptado de: Kandel 2013; Kahle e Frotscher 2003; Standring 2010; Mackay 2011; Naidich et al 2013..

2.2.2 Homúnculos

O cérebro é bastante topológico, isto é, tem uma lógica de conectividade, continuidade, convergência, relação e representantes específicos entre partes específicas do corpo e partes específicas do córtex.

Em 1937 Penfield e Boldrey reportaram perante a American Neurological Association, em Atlantic City um dos mais significativos estudos sobre a correspondência de zonas cerebrais sensoriais e motoras específicas com partes do corpo correlacionadas com aquelas áreas (não incluíram a visão, a audição e o olfato) (Penfield e Boldrey 1937).

Demonstraram que existe uma relação direta entre os vários sensores dedicados e instalados e várias partes do corpo e o córtex sensorial, assim como existe uma relação entre o córtex motor e várias partes do corpo que executam ações. Algumas partes do corpo estão, sensorialmente, mapeadas em locais específicos do córtex. Isto é, têm correspondência topográfica. Por exemplo, a mão está mapeada numa zona dorsal média da circunvolução pós-central. Sabemos também que há um mapeamento análogo de partes do corpo no córtex motor, este residente na circunvolução pré-central dorsal médio (homólogo).

As experiências passaram por estimulação elétrica de várias áreas dos córtices sensorial e motor em mais de uma centena de sujeitos. O que denotaram foi, a exemplo: quando se estimula eletricamente o córtex sensorial na área dos lábios, o sujeito tem manifestações sensitivas nos lábios. O mesmo acontece com a parte motora. Contudo, desta vez, uma estimulação específica, por exemplo, da área correspondente ao dedo polegar, faz com que haja ação muscular específica do dedo polegar, contralateral à estimulação. Ou seja, há uma lógica generalizada de arranjo topográfico.

O estudo revelou ainda que esta característica encerra um outro aspeto muito importante. A de que há partes do corpo que têm representações mais expressivas do que outras nos respetivos córtices. Por exemplo, a mão — e, desta, sobretudo o polegar — ou a face, têm uma representação relativa muito mais vasta do que as outras partes do corpo no córtex motor. Outro exemplo são os lábios, cujo mapa é maior em relação à própria cabeça ou à generalidade do corpo no córtex sensorial. Algumas representações são de tal forma “desproporcionadas” que

inspirou Penfield e Boldrey a conceptualizarem o *Homúnculos Cortical* (o diagrama do final desta secção apresenta uma adaptação dessa proposta). Isto derivava do facto de alguns sistemas serem caracterizados por terem maior ou menor acuidade na sensação (córtex sensorial), como de maior ou menor precisão de ação (córtex motor).

O mapeamento não é isomórfico, logo, um dedo, ou a língua, podem ter representações múltiplas em duas ou mais regiões distintas do córtex (Mackay 2011). Pensa-se que isso pode ser uma forma inteligente de o sistema agrupar e capitalizar sinergias — tanto de ação como de inibição.

Qualquer que seja a verdadeira situação, uma coisa está esclarecida: como resultado dos agrupamentos de sinergia, um neurónio motor cortical capaz de desencadear a flexão do polegar, por exemplo, pode estar ativo durante uma preensão precisa (arrancar um pelo facial inestético), mas inativo durante uma preensão de força (abrir a tampa de um recipiente). (Mackay 2011, 177)

É importante notar que há uma circularidade entre a parte motora e a parte sensorial. Quando o córtex motor aciona, por exemplo, o polegar, por via eferente, o córtex sensorial recebe sinais aferentes do polegar.

Estas características têm significado no nosso contexto, já que, a exemplo, se o polegar tem um número maior de neurónios responsáveis do que o resto da mão, isto pode significar que nas ações gerais de uma mão seja o polegar a ter maior contributo e impacto na geração e alteração da electricidade neuronal e, nesse sentido, na possível captação destes à superfície do escalpe (EEG).

É também relevante dizer que essa lógica se estende às várias áreas e funções. O córtex sensorial tem uma lógica de arranjo somatotópico, o motor, mototópico, o visual retinotópico e o auditivo, tonotópico. Seguidamente falaremos destes últimos sistemas.

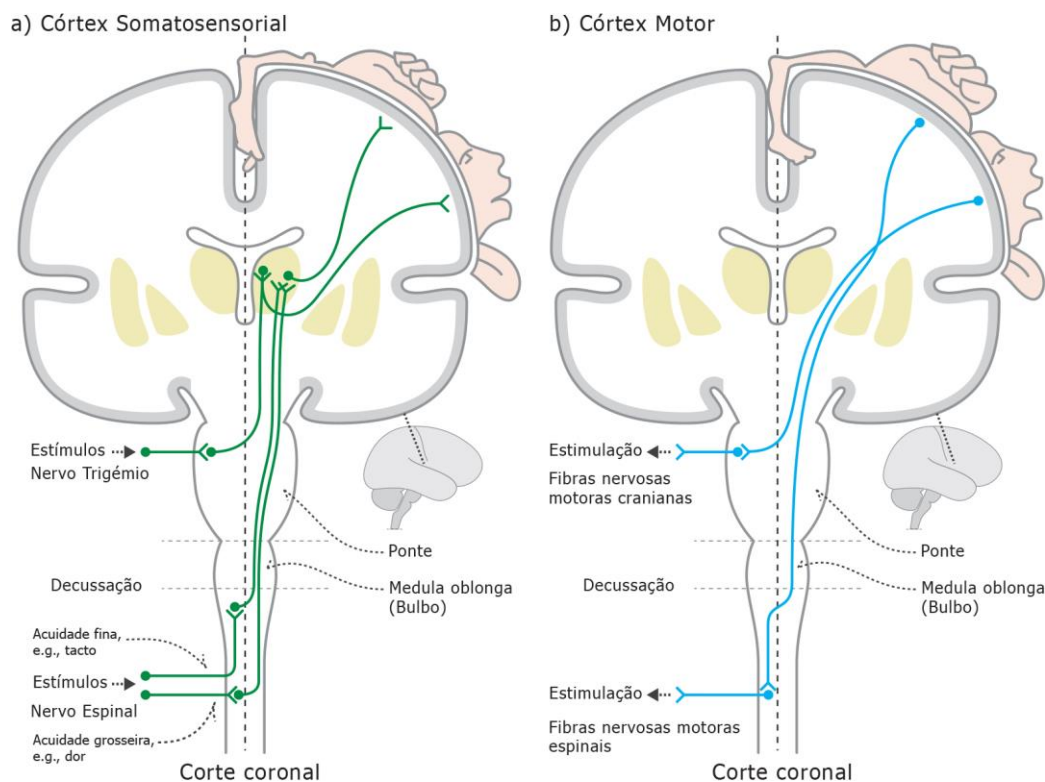


Fig. 5: Os homúnculos corticais e as suas relações.

Estes dois organogramas/fluxogramas representam, para além das caricaturas dos homúnculos, uma síntese das vias que os ligam às várias partes do corpo. Veja-se que há um sistema aferente que leva as informações de dor, temperatura e tato grosseiro/pressão do tronco e dos membros e outro que leva informações propriocetivas e de tato fino (discriminativo) do tronco e dos membros e que os neurónios (axónios) aferentes de cada sistema têm um trajeto diferente depois de entrar na medula espinal.

Adaptado de: Kandel 2013; Kahle e Frotscher 2003; Standring 2010; Mackay 2011; Naidich et al 2013.

O mapeamento implica conexões entre várias partes. Entre o córtex motor e o sistema periférico existe o trato corticospinal, caracterizado por feixes eferentes que levam sinais do córtex aos membros por uma espécie de via direta (os axónios destes feixes são os mais longos de todos). No sentido inverso, existem os feixes aferentes que levam sinais do corpo ao córtex, mas estes, contrariamente ao corticospinal, passam pelo tálamo (é o trato espinotalâmico) (Standring 2010). Daqui ao córtex existem vias corticotálâmicas. De notar que as velocidades de condução periférica e espinal da dor, proporcionados pelos sensores nociceptivos, são muito mais lentas que as informações táteis. No entanto, os tempos de reação à dor são substancialmente mais rápidos. O processamento cerebral da dor é mais rápido do que o da informação tátil e isso compensa as velocidades mais lentas de condução da dor e aumenta as reações e respostas motoras a estímulos potencialmente prejudiciais (Wurtz e Kandel 2000; Ploner et al. 2006).

Seguidamente falaremos sobre os sistemas da visão e da audição. Não o faremos com minúcia, mas estes sistemas merecem alguma atenção, nomeadamente em aspetos que têm potencial impacto na génese elétrica neuronal e também por serem duas das vias de estimulação cerebral mais privilegiados pelas artes para manipulação sensorial e cognitiva e, por isso, fundamentais no nosso projeto e prática artística — não é que outros sentidos, como o tato, ou o cheiro, não sejam importantes ou excluídos.

2.3 Caminhos da Visão

Um dos aspetos mais relevantes da visão é a retinotopia, isto é, uma correspondência geral entre a topografia das células recetoras e a topografia das células de processamento (Purves et al. 2004). Experiências mostraram que as representações formadas nas regiões vizinhas da retina são representadas por regiões vizinhas dos outros sistemas mais profundos da visão: primeiramente na retina, logo no interior do olho, na parte posterior onde residem os bastonetes e os cones. Depois, no núcleo geniculado lateral, um centro retransmissor dedicado às vias visuais no tálamo, no cérebro interior profundo. E, finalmente, no córtex estriado, a área cortical sensorial primária para a visão (Purves et al. 2004).

As experiências denotaram respostas de células visuais específicas a estímulos visuais específicos o permitiu caracterizá-las com alto nível de precisão (Van Essen et al. 2001). Por exemplo, que algumas respondiam melhor a formas gráficas retangulares, a graus de intra-rotação das formas, a movimento (Wurtz e Kandel 2000). Algumas das experiências que denotaram as características tópicas do sistema visual foram feitas *in vivo* usando elétrodos intra-corticais — literalmente inserindo minúsculos elétrodos nos grupos neuronais do córtex visual primário —, no final da década de 1950 e início dos anos 1960, usando gatos como sujeitos (Hubel e Wiesel 1959; Rose e Blakemore 1974).

A característica retinotópica também é relevante no sentido em que a visão periférica está mapeada num local mais interno, medial, do que a visão da área fóvea. Isto pode significar que uma estimulação visual mais frontal pode ter um impacto mais expressivo na génese e modulação elétrica detetável à superfície do escalpe do que uma outra que se faça mais periféricamente.

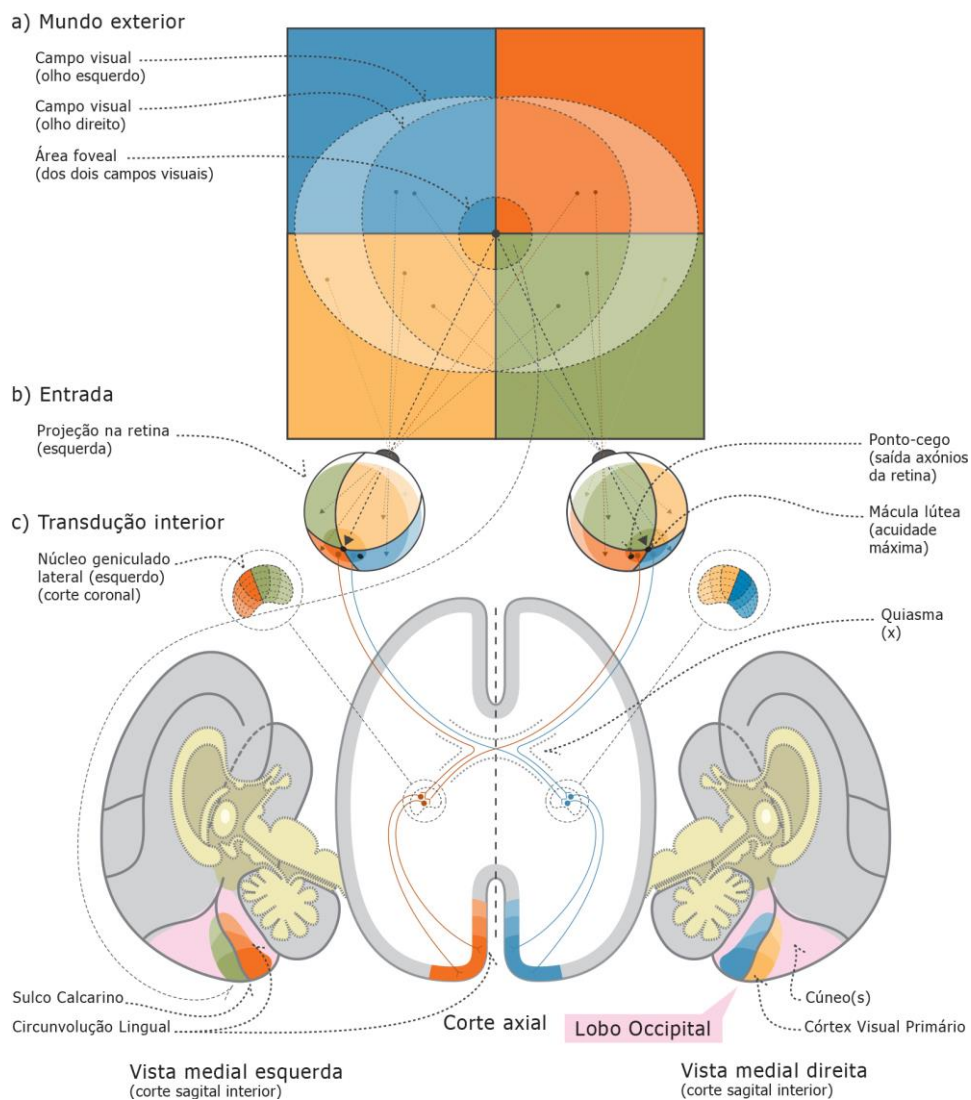


Fig. 6: Fundamentais do sistema da visão.

Estes dois organogramas/fluxogramas representam alguns dos aspetos mais relevantes do sistema da visão. A destacar: 1) o mundo exterior passa a estar de pernas-para-o-ar logo no interior dos olhos, mas mantém essa característica mesmo no mapeamento do córtex visual primário; 2) existe um ponto-cego, literalmente cego, na parte onde o nervo ótico sai da retina em direção aos primeiros núcleos dentro do cérebro; 3) a zona com mais acuidade é a Mácula lútea, pois é onde existe a maior concentração de Cones, um dos dois tipos de células fotorreceptoras do olho. Estes, em três tipos, são responsáveis pela visão de dia e pela mediação da cor, pois têm pigmentos sensíveis a diferentes zonas do espetro da luz. O outro tipo fundamental são os Bastonetes. Estes contêm mais pigmentos fotossensíveis do que os cones e, por isso, conseguem detetar luz de forma mais expressiva. São essenciais em ambientes de muito pouca luz (Kandel, 2013). Adaptado de: Kandel 2013; Kahle e Frotscher 2003; Standring 2010; Mackay 2011; Naidich et al 2013.

2.4 Caminhos da Audição

Ouvimos sons quando recebemos ondas de pressão emanadas de objetos a vibrar a diferentes frequências (Kandel 2013). O som pode ser descrito através de uma sequência de ondas sonoras, que são ondas de deslocamento, densidade e pressão que se propagam pelos meios compressíveis. A onda sonora não arrasta as partículas de ar. Apenas faz com que estas vibrem em torno de sua posição de equilíbrio. O som propaga-se tridimensionalmente pelo espaço em meios físicos/materiais, como o ar ou a água. A velocidade do som no ar, a 20° C, é 343 m/s. Na água é, aproximadamente, 1.450 m/s.

Os sons são estímulos que entram pelo canal auditivo, no ouvido externo, e fazem vibrar o tímpano na mesma fase das ondas. Por sua vez, já no ouvido médio, a membrana timpânica está ligada aos ossículos. Este é um sistema mecânico de alavancas constituído pelo martelo, bigorna e estribo, que transmite aquelas vibrações à janela vestibular, oval, da cóclea. Este sistema amplia a pressão em cerca de 22 vezes, fundamental para contrariar a inércia do fluido coclear (Mackay 2011).

A audição, propriamente dita, começa quando dentro da cóclea, que se enrola por cerca de 35 mm, o órgão de Corti¹⁰ e os seus mecano-recetores — células ciliadas, com os seus cílios¹¹ — transduzem a energia sonora em sinais elétricos ao responderem às vibrações da membrana basilar e os envia para o córtex auditivo através dos nervos do gânglio espiral. A membrana basilar vibra pelo facto de o líquido coclear ser obrigado a mover-se nos canais como consequência dos movimentos da janela vestibular. A cóclea é, assim, um sistema hidrodinâmico e mecânico (Kandel 2013; Mackay 2011).

Uma das características mais importantes é a codificação e sensibilidade por zonas da membrana basilar, onde partes respondem de forma maximizada a diferentes vibrações/frequências e, por isso, as células ciliadas transduzem determinadas frequências de forma maximizada também. A parte mais próxima da janela vestibular, mais “exterior”, é a zona mais sensível às altas frequências e a zona mais apical, mais “interior” é a zona das baixas frequências. O ouvido humano tem uma capacidade de codificar entre, cerca de 20 Hz a 20.000 Hz.

¹⁰ Alphonso Giacomo Corti (1822-1876) (Finger 2001).

¹¹ Cílio deriva de pelo. Os cílios vibráteis constituem-se como os recetores sensoriais dos sistemas auditivo.

A audição é um sistema binaural. É um requisito indispensável que permite localizar as fontes sonoras.

Na audição natural, o sistema auditivo humano usa várias pistas para localizar um evento auditivo no espaço de escuta. A diferença entre sinais sonoros nas orelhas esquerda e direita (indicadores interaurais) são usadas para determinar a componente horizontal (ângulo azimute) da posição da fonte sonora. Pistas espectrais resultantes de reflexões de frequências altas dentro do ouvido externo dos ouvidos do ouvinte ajudam a determinar a componente vertical (ângulo de elevação). (Garas 2000, 10)

O córtex auditivo primário está fundamentalmente instalado no giro de Heschl (circunvoluções temporais transversas). Contém uma representação tonotópica da cóclea. Há publicações que sugerem que, globalmente, as altas frequências estão representadas caudalmente e as baixas frequências rostralmente (Standring 2010; Kandel 2013). Contudo, (Langers e van Dijk 2012) propõe uma espécie configuração em forma de letra v, com a abertura voltada para o exterior, no qual as altas frequências rodeiam as baixas, mas onde estas últimas parecem ter uma presença mais expressiva, preenchendo o interior do v, mas também estendendo-se até às bordas do córtex, aquelas viradas para o crânio. Isto pode significar que, na gênese elétrica derivada do processamento auditivo, serão potencialmente as baixas frequências que mais facilmente se detetam à superfície do crânio.

A imagem seguinte é uma síntese do sistema auditivo que denota aspetos importantes tanto de organização e fluxo de sinais, mas também particularidades como tonotopia tanto ao nível da cóclea como do córtex.

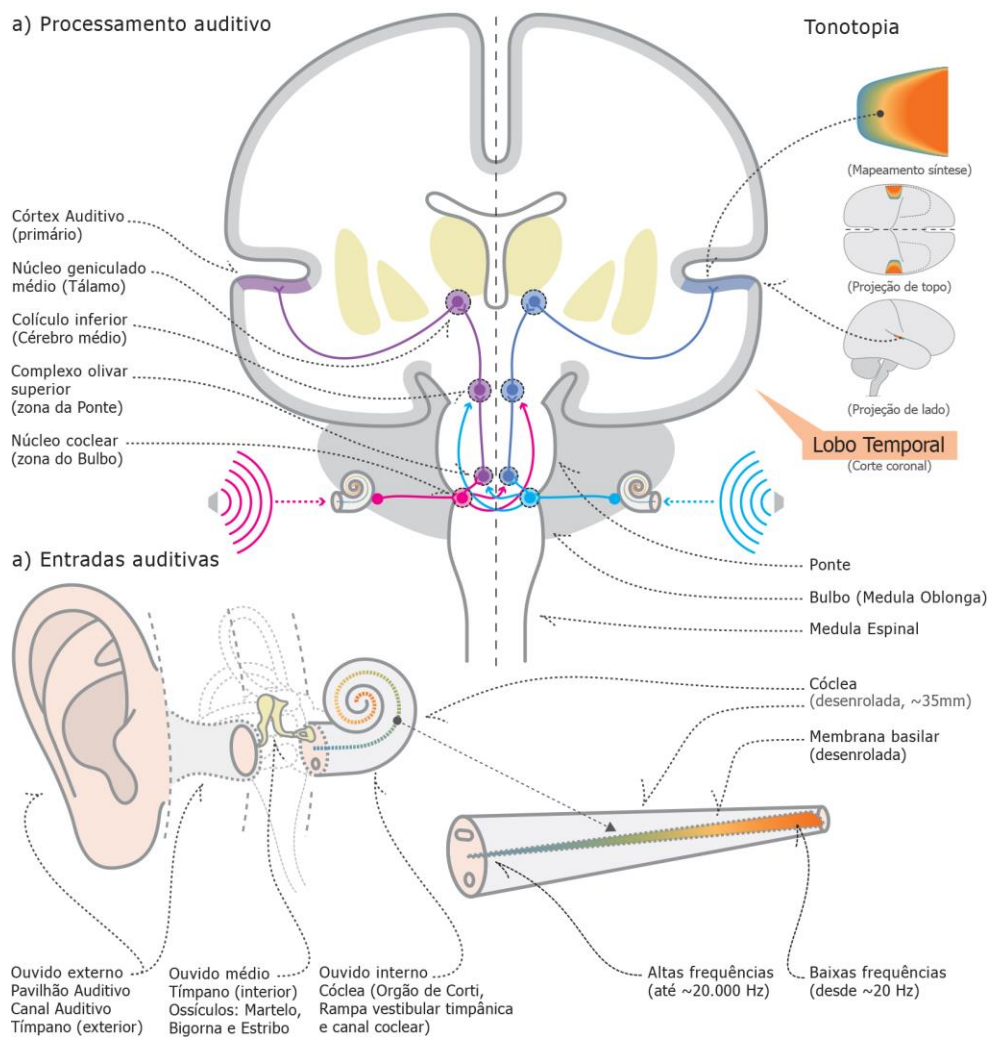


Fig. 7: Fundamentais do sistema auditivo.

Nesta composição diagramática podemos observar as estruturas principais da audição, mas incluindo a síntese das ligações neuronais entre a cóclea e o córtex auditivo. Nestas ligações pode-se observar que os nervos cocleares, entre a cócleas e os núcleos cocleares, passam a organização tonotópica para estes (primeiros relés) e distribuem os dados acústicos em vias paralelas (Kandel, 2013), isto é, tanto contralateralmente como ipsilateralmente. O paradigma tonotópico dos relés não está denotado na ilustração. De notar também na parte inferior direita a Cóclea desenrolada com o propósito de destacar o mapeamento da Membrana basilar. Adaptado de: Kandel 2013; Kahle e Frotscher 2003; Standing 2010; Mackay 2011; Naidich et al 2013.

2.5 Síntese funcional

2.5.1 Sensores e aferentes

Aproximando-nos do cérebro de uma forma descomplicada e integrada, o trânsito e os centros de processamento mental podem ser vistos — e explicados —, na essência, de uma forma simples.

De acordo com Kandel (2013), experiências sistemáticas¹² denotaram a seguinte sequência:

(...) quando um dedo é pressionado repetidamente contra uma mola, é detetada uma incrementação do fluxo de sangue nas áreas relacionadas com o controlo da mão nos córtices motor primário e sensorial. O incremento na área motora é relacionado com a execução da resposta, conquanto o incremento na área sensorial reflete a ativação dos recetores periféricos. Durante uma sequência de movimentos de dedo complexa o incremento no fluxo de sangue estende-se à área pré-motora medial, que inclui a Área Motora Suplementar e a Pré-Suplementar. Durante um treino mental da mesma sequência sugerida no parágrafo anterior, o fluxo de sangue aumenta somente na área motora medial. (Kandel 2013, 773)

Depois das entradas sensoriais e pré-processamento estético eles passam por um tratamento multimodal que implica correlações várias nomeadamente comparação com repositórios de vários tipos de memória — visuo-espacial, auditiva, etc., — e outros mapas mentais abstratos. Depois, grosso-modo, dados referentes à localização espacial vão das áreas sensoriais dorsais ao córtex dorsal pré-frontal por uma via dorsal, superior, denominada de “onde”. Dados referentes à identificação de objetos vão das áreas ventrais sensoriais ao córtex pré-frontal ventral por uma via ventral, inferior, “o quê” (Naidich et al. 2013). Posteriormente, esses dados podem ser transportados aos córtices frontal medial e orbitofrontal, onde os julgamentos de emoção e valor são processados de acordo com a relevância de dados recebidos, onde é realizada uma associação de alto nível, onde se tomam decisões e se inicia o processo executivo que passa pelo envio de dados para o córtex pré-motor, e, finalmente, se não houver entretanto inibição, deste para o córtex motor para a sinergia final, isto é, envio de sinal para os músculos pelo sistema eferente.

2.5.2 Processos executivos

O cérebro executivo opera várias funções. Como a síntese de estímulos externos, a síntese de fluxos de informação interna, a formação de programas e preparação

¹² Usando várias técnicas além do EEG, como por exemplo Tomografia por Emissão de Positrões (PET)

para a ação. Mas também é crucial na autorização das ações para que estas ocorram efetivamente, e — muito importante —, inibição para impedir que estas ocorram, e ainda verificação que as ações estão a seguir o curso adequado.

Os geradores corticais de padrões incorporam um círculo interativo de áreas frontais, parietais e temporais com vista a selecionar e a desencadear, no córtex motor, sinergias musculares. (Mackay 2011, 184)

As ações executivas são processos que passam por uma série de etapas, em forma simultaneamente sequencial e paralela, que podem, a exemplo, ter na gênese uma resposta sensorial um estímulo exterior, por exemplo, a observação de um alimento. Um exemplo de sequência: vemos uma maçã “maravilhosa”¹³; seguidamente produz-se uma motivação no córtex límbico (interior); essa informação é disponibilizada ao polo frontal, que analisa os dados, seleciona a estratégia comportamental, por exemplo, vou comprar maçãs, as disponibilidades e constrangimentos contextuais, por exemplo, ainda tenho uma hora; seguidamente, no córtex pré-Frontal, é selecionada a implementação motora, que pode ser guiar, ou, pela disponibilidade de tempo, mandar um email, mas recebendo um lembrete “fome” a partir da área motora complementar (quase toda interior, nas áreas mediais) e lobo da ínsula (interiores) (Mackay 2011; Naidich et al. 2013).

Tomada a decisão passa à execução das ações necessárias propriamente ditas. Recruta no córtex pré-motor os circuitos de programas motores possíveis para uma ação motora, dando-lhe instruções como, a exemplo, carregar no acelerador. Isto faz-se com a colaboração da área motora do cíngulo (interior); seguidamente o córtex motor seleciona e implementa a sinergia muscular que passa pelo envio de impulsos elétricos aos músculos necessários ao comportamento-resposta. Entretanto, no decorrer da ação os sensores continuam a coletar e a enviar dados que continuam a ser processados e analisados e, de acordo com a sua relevância, podem contribuir para alterações no comportamento: por exemplo, contextualmente ao meio ambiente exterior, luz vermelha no semáforo, ou interior, “bexiga-cheia”, que pode levar a carregar o pé no travão (Mackay 2011; Naidich et al. 2013).

¹³ O “maravilhosa” já implica per se processos multi-modais e multi-regionais que recorrem a memórias do objeto observado, de como estas podem estar associadas a, por exemplo, prazer. Ou seja, é colocado aqui como elemento não isento de reconhecimento derivado de uma pré-incisão.

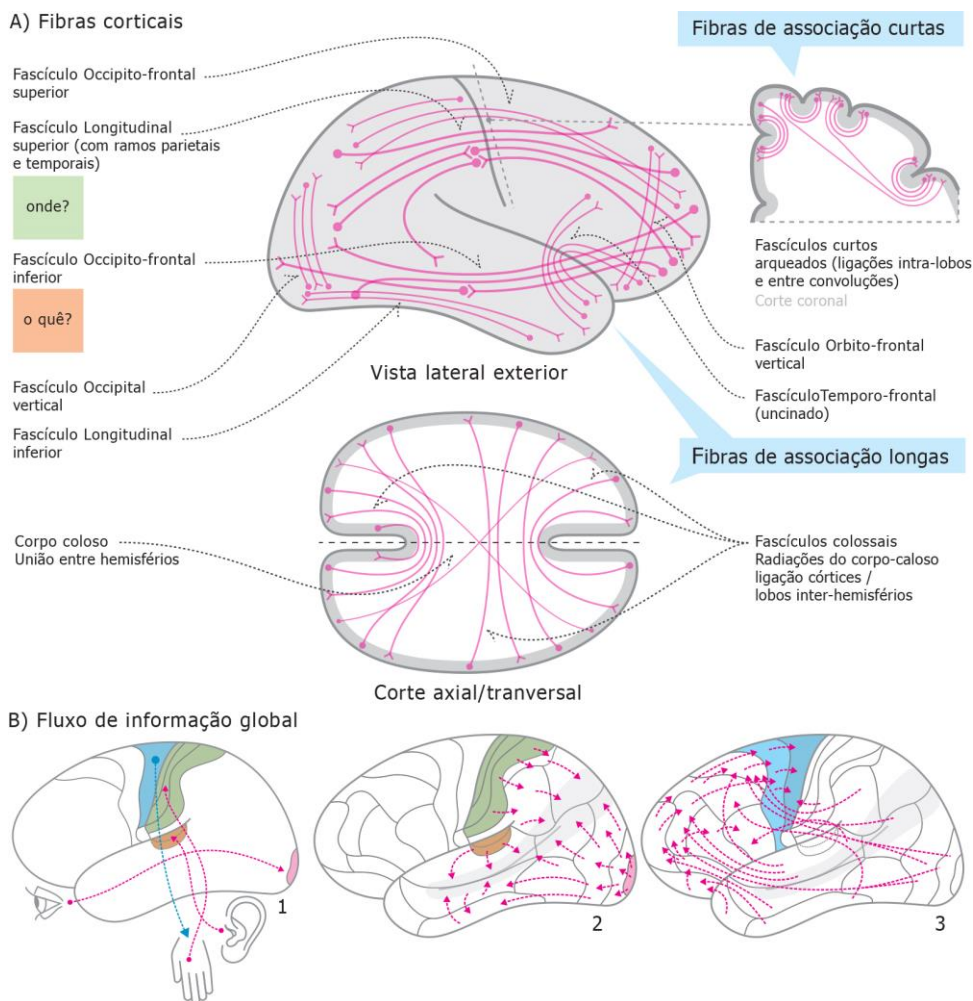


Fig. 8: Conexões e lógica de trânsito de sinais/dados.

Em A sintetizam-se as fibras que estabelecem a lógica conexiva dentro do cérebro. Os três diagramas/fluxogramas B denotam, de forma generalista, de como o fluxo de informação se faz entre os vários sensores espalhados pelo corpo e o cérebro. Lógica do fluxo: dados primários para sensações únicas, unimodais, alcançam áreas corticais sensoriais primárias específicas (ilustração 1, “fibras” magenta). A partir destas fibras curtas de associação transmitem-se dados unimodais para zonas próximas de associação unimodal para processamento inicial. Estes dados, parcialmente processados, são depois transportados para zonas adjacentes de associação (na ilustração 2, as derivações próximas das zonas primárias). Depois, os dados de várias modalidades diferentes, já bastante processados, convergem para zonas de associação multimodal (zona acinzentada das ilustrações 2 e 3) para integração das demais sensações/dados relevantes. A partir das áreas de associação unimodal e multimodal, os dados transitam para o córtex pré-frontal onde se fazem associações, integrações e processamentos de alto-nível que incluem emoções, juízos de valor, detecção de relevância de dados recebidos, etc., que contribuem para as tomadas de decisões sobre como responder aos vários dados recebidos e atuar conforme, acionando as sinergias para o comportamento motor (ilustração 3 e “fibras” azul-ciano da ilustração 1). Adaptado de: Kandel 2013; Kahle e Frotscher 2003; Standring 2010; Mackay 2011; Naidich et al 2013.

3 O CÉREBRO FUNCIONA A ELETRICIDADE

3.1 Bioeletricidade

A generalidade das pessoas sabe que o coração é um sistema elétrico. Também é comum saber que o cérebro é um sistema elétrico. Contudo, não haverá muitas pessoas que saibam que os músculos também são sistemas elétricos.

Os bio-sinais, sinais biológicos também designados de fisiológicos (Bronzino 2006; Ferreira 2010) podem ser gerados pelo batimento cardíaco, pela contração de um músculo ou pela atividade de células cerebrais. Denotam a atividade elétrica, química ou mecânica relacionada com eventos fisiológicos e facilitam a compreensão dos mecanismos a estes associados (Bronzino 2006; Ferreira 2010; Nunez e Srinivasan 2006).

Podem ser captados, medidos, processados, analisados e usados para: inferir informações relevantes para produzir diagnósticos; monitorizar funções fisiológicas de uma pessoa; controlar funções fisiológicas; ou atuar próteses.

Os sinais bioelétricos são gerados pelas células nervosas e células musculares. A sua fonte é o potencial da membrana que, sob determinadas condições, pode ser excitada e gerar um potencial de ação (Bronzino 2006).

Um potencial de ação constitui-se como um sinal derivado do fluxo de iões através da membrana celular que pode ser medido com elétrodos-sensores. Os potenciais de ação gerados por uma célula podem ser transmitidos a células adjacentes. A ativação de muitas células gera um campo elétrico que se pode propagar através do tecido biológico (Ferreira 2010; Nunez e Srinivasan 2006; 2007).

No cérebro existem fundamentalmente dois tipos de células a considerar: os neurónios e as células da glia, também designadas de neurógliã, ou somente glia.

3.1.1 Neurónios e dipolos

O neurónio é a principal célula responsável pelo transporte do impulso nervoso. É a célula considerada unidade básica do cérebro e, de forma mais abrangente, do sistema nervoso. É constituído por corpo, ou soma, e prolongamentos, o cilindro-eixo e as dendrites. Também tem o axónio, que é cabo condutor que leva o impulso elétrico às outras células, passando-lhes aquele sinal através de sinapses existentes entre os terminais axonais e os terminais dendríticos, na região de contacto entre dois neurónios onde se efetua a transmissão da atividade nervosa propagada. Entre os neurónios, o piramidal, existente com grande expressão no córtex motor, é dos geradores elétricos cerebrais mais potentes (Nunez e Srinivasan 2007). A neurógliá é uma espécie de sistema de suporte e nutrição dos neurónios, mas também importante no funcionamento e manutenção global do cérebro. Uma das células da neurógliá é o astrócito (célula-estrela) e é a mais abundante do sistema nervoso central.

Há dois mecanismos principais de atividade neuronal. A despolarização rápida das membranas neuronais, de que resulta o potencial de ação, e as mudanças lentas no potencial de membrana, geradas pela ativação sináptica. Estas últimas são, respetivamente, o potencial pós-sináptico excitatório e o potencial pós-sináptico inibitório (Niedermeyer e Silva 2005a).

A atividade elétrica fundamental do cérebro é devida à soma da flutuação dos potenciais pós-sinápticos excitatórios e pós-sinápticos inibitórios. Muita da atividade emerge primariamente das dendrites apicais das células piramidais na camada superior do córtex cerebral, que se alinham perpendicularmente com a superfície das convoluções. Os geradores dendríticos têm dois polos, um relativamente negativo e outro relativamente positivo, e isto tem a denominação de dipolo.

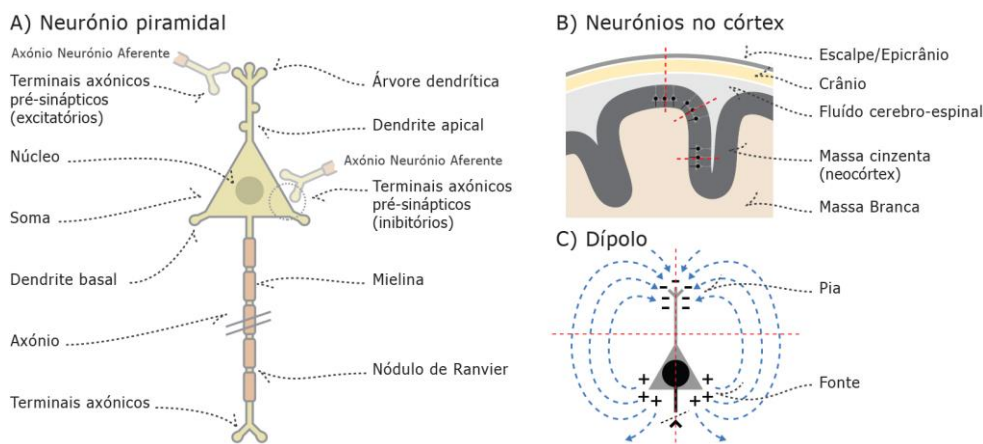


Fig. 9: Neurónios e dipolos.

Nesta composição mostra-se em A o neurónio (piramidal, nesta abstracção síntese) onde se destacam alguns elementos estruturais, incluindo os que têm relevância funcional, nomeadamente a excitatória e a inibitória. Em B, é de notar a orientação generalista dos neurónios no córtex que tem significado na orientação dos dipolos e, por isso, potencial impacto na lógica eléctrica (génese e captação). A ilustração C é uma abstracção síntese de um dipolo que mostra a orientação/fluxo eléctrico. Adaptado de: Kandel 2013; Kahle e Frotscher 2003; Standring 2010; Mackay 2011; Naidich et al 2013.

Os dipolos são fontes de correntes eléctricas que consistem em cargas de polaridade oposta separadas por distâncias relativamente curtas. A electricidade gerada por uma só célula neuronal é muito ténue, na ordem dos microvolts. Mas a atividade eléctrica sincronizada de muitas células no córtex cerebral, e a sua propagação pelos tecidos extracelulares, produz campos eléctricos com amplitude suficiente para serem captada à superfície do epicrânio, isto é, no couro-cabeludo.

3.1.2 Potenciais, sinapses e sensores

As alterações no potencial extracelular podem ser medidas à superfície dos tecidos usando elétrodos-sensores de superfície.

O Eletrocardiografia (ECG), o Eletroencefalografia (EEG) e o Eletromiografia (EMG), são exemplos de métodos usados neste tipo de sinais. Os elétrodos podem ser aplicados diretamente nas células, denominando-se estes de intracelulares. Neste caso, o método é invasivo e designa-se Electroencefalografia (ECoG). A medição também pode ser extracelular aplicando-se elétrodos na superfície dos tecidos, por exemplo, no couro-cabeludo. Neste caso o método é considerado como não-invasivo e designa-se Eletroencefalografia.

Há vários tipos de sinapses. No que concerne a arquitetura, há a axodendrítica, enquanto interface entre o axônio e as dendrites; a axossomática, enquanto interface entre o axônio e a soma; a axoaxônica, enquanto interface entre axônios; e a dendrodendrítica, enquanto interface entre dendrites. No que concerne a função há dois tipos fundamentais: as sinapses tipo I de Gray¹⁴, excitatórias; e as sinapses tipo II de Gray, inibitórias. Por último, também importante é dizer que, no que concerne ao modo, há as sinapses químicas e as sinapses elétricas, mas é ainda mais relevante dizer que o processo químico resulta num fenómeno elétrico sendo este sinal aquele que é usado como fonte nas técnicas EEG (Pereda 2014; Nunez e Srinivasan 2006).

A eletricidade não é só fundamental no funcionamento do cérebro ou do coração. No início dos anos de 1990, Jacqueline Barton descobriu, inesperadamente, que o ADN atua como um fio elétrico para transferir eletrões através de longas distâncias e, mais tarde, juntamente com colegas, demonstrou que as células retiram vantagem desta característica para ajudar a localizar e a reparar potenciais mutações perniciosas do ADN (Fesenmaier 2011).

Um sinal é um fenómeno que transmite informação (Bronzino 2006). Os sinais bioelétricos embebem informação que não pode ser percebida de forma imediata, pelo menos pelos mecanismos padrão humanos de percepção, pois está, diríamos, oculta na sua estrutura. Isto que dizer que essa informação necessita de ser extraída e decodificada para ser passível de interpretação e, nesse sentido, tornar-se útil.

3.2 Ritmos do cérebro

A atividade elétrica do cérebro constitui-se como um fenómeno oscilatório. As oscilações elétricas têm sido gravadas na forma de ondas,¹⁵ sinusoides com frequência e amplitude. Hans Berger, o pioneiro do registo do fenómeno elétrico do cérebro humano *in vivo* chamou-as de “curvas contínuas com oscilações contínuas.” (Buzsáki 2006) As ondas mais conhecidas relatadas são:

¹⁴ De Edward George Gray, que em 1954 identificou dois tipos de sinapses, as assimétricas e as simétricas que, na generalidade são, respetivamente, excitatórias e inibitórias (Marshall e Magoun 2013), (J. H. Byrne, Heidelberg, e Waxham 2014).

¹⁵ “Ondas cerebrais” é a denominação geral e popular do fenómeno elétrico do cérebro que é de essência oscilatória.

- 1) Delta (δ), 0,5-4 Hz;
 - 2) Teta (θ), 4-8 Hz;
 - 3) Alfa (α), 8-12 Hz
 - 3.1) mu (μ), dentro de, praticamente, a banda alfa¹⁶;
 - 4) Beta (β), 12-30 Hz;
 - 5) e Gama (γ), > 30 Hz.
- (Sanei e Chambers 2007)

Para além de serem caracterizadas por terem diferentes frequências e amplitudes elas estão correlacionadas com certas áreas e processos do cérebro. Por exemplo, Delta está correlacionada com o sono profundo principal; Teta tem sido associada com “acesso a material inconsciente, inspiração criativa e meditação profunda” (Sanei e Chambers 2007); pensa-se que Alfa indica simultaneamente uma consciência relaxada sem qualquer atenção ou concentração. É o ritmo mais proeminente da atividade cerebral e, possivelmente, cobre um alcance maior do que o anteriormente aceite (Sanei e Chambers 2007); as oscilações Beta estão principalmente correlacionadas com o cérebro (e corpo) ativo, desperto e consciente. “É o ritmo habitual de vigília do cérebro associado ao pensamento ativo, atenção ativa, foco no mundo externo ou solução de problemas concretos.” (Sanei e Chambers 2007) O cérebro está sempre em contacto e em comunicação com todo o sistema nervoso periférico e sensores (Buzsáki 2006; Damásio 2010; Ramachandran 2011). A amplitude altera-se durante, por exemplo, o planeamento dos movimentos. São “observadas de forma consistente oscilação nas áreas corticais motoras.” (Hatsopoulos 2009) O ritmo Beta de frequência muito rápida pode ser gerado quando uma pessoa está num estado de pânico (Sanei e Chambers 2007).

É interessante notar que há alguma evidência que propõe correlações entre diferentes ondas nas diferentes bandas, nomeadamente no que concerne à sua fase (por exemplo, bloqueio, sincronização). Mas da maior importância, no contexto da nossa pesquisa, é que essas evidências podem ser correlacionadas simultane-

¹⁶ Também designado de ritmo mu central rolândico pois circunscreve-se à proximidade do sulco central, ou Rolando. “Está sobretudo relacionado com as funções do córtex motor. A contribuição do córtex somatossensorial, adjacente, não deve ser, contudo, ignorada.” (Niedermeyer e Silva 2005a, 174) O uso da letra Grega μ , mu, denota a sua morfologia em forma de arco invertido (polaridade invertida).

amente com a música, a cognição e o comportamento, em relação a aspetos centrais como o raciocínio, reações emocionais, processos de memória ou até mesmo interação interpessoal.

Um estudo EEG sugere que a sincronização de ondas cerebrais pode ser conseguida através de condicionamento por estímulos acústicos (pelo menos periódicos) (Will e Berg 2007). Outro estudo, (Bhattacharya, Petsche, e Pereda 2001) que comparou músicos com não-músicos, mostrou “uma interdependência significativamente maior na banda Gama entre várias áreas corticais distribuídas.” (Bhattacharya, Petsche, e Pereda 2001) Este mesmo estudo também mostrou evidências de que a sincronização generalizada, entre as várias áreas, da banda Gama são da maior importância para a compreensão da cognição sofisticada porque esta tem mais dados do que o poder espectral da Gama per se. Parece que a “sincronização global na frequência de gama” também se constitui como um correlato da consciência (Ward 2003).

Outros estudos (Nyhus e Curran 2010; Osipova et al. 2006) têm mostrado evidências de que possíveis relações entre Gama e Teta, e relação de fases e sincronização, poderá fornecer um sistema eficiente para codificar e recuperar (restaurar) memórias, não só as de longo-prazo, e declarativas, mas também “memória de curto-prazo, ou trabalho.” (Ramachandran 2011) Há também evidências de que os processos emocionais assentam (Costa, Rognoni, e Galati 2006; Wyczesany et al. 2011) em interdependências de sinais cerebrais, por exemplo, a sincronização de fase (Costa, Rognoni, e Galati 2006). De maior relevância também é um estudo com pares de guitarristas que contém alguma evidência de que “as ações interpessoais coordenadas são precedidas e acompanhadas por acoplamentos oscilatórios inter-cérebros.” (Lindenberger et al. 2009)

3.3 A eletroencefalografia

A primeira pessoa a propor que existe potencial bioelétrico nos tecidos biológicos foi Luigi Galvani¹⁷, após experiências com uma rã (Dibner 1998) nos anos de

¹⁷ 1737-1798.

1791-1794. Mas foi Richard Caton¹⁸, em 1875, que utilizou o galvanómetro ligado a dois eléctrodos colocados sobre o couro cabeludo e, pela primeira vez, mediu a atividade elétrica do cérebro. (Sanei e Chambers 2007)

As iniciativas de Caton podem ser consideradas como os primeiros passos no desenvolvimento do eletroencefalógrafo, mas o sistema que permite a representação gráfica das oscilações do potencial elétrico do cérebro, mais comumente conhecido por EEG, foi um desenvolvimento faseado¹⁹. O primeiro relatório de gravação de um potencial elétrico do cérebro humano ao nível do couro cabeludo com um tal sistema foi feito por Hans Berger em 1929 (Tan e Nijholt 2010).

Os sinais bioelétricos requerem um transdutor para a sua aquisição e interpretação. Simplificadamente, e primeiramente, este é necessário porque a condução elétrica no meio celular fisiológico é feita por iões enquanto nos sistemas de medição aquela condução é feita por eletrões (Bronzino 2006).

O EEG, é, então, um sistema de captação e registo de sinais bioelétricos cerebrais. Pressupõe pelo menos dois eléctrodos na superfície dos tecidos biológicos. Um a que poderemos chamar de “explorador” (Pérez, García, e Ibáñez 2007; Nunez e Srinivasan 2006; Niedermeyer e Silva 2005b), isto é, aquele que queremos que denote a variação da atividade elétrica no sítio-fonte de interesse, e o “indiferente” (Pérez, García, e Ibáñez 2007), isto é, o que serve de referência, pelo método de subtração ao “explorador”. A referência serve assim como ponto de partida, como linha zero, a partir do qual o sistema mostra a variação da atividade do “explorador”. A referência deve ser colocada estrategicamente e idealmente em sítios que não tenham atividade elétrica, ou melhor, que não tenham uma atividade elétrica com as mesmas características — lógica oscilatória, amplitude, etc. — daquela que decorre da atividade das células do córtex cerebral. Nesse sentido, são usados eléctrodos nas mastoides ou nas orelhas como referência.

Os sistemas EEG usam amplificadores diferenciais para traçar²⁰ a atividade elétrica do cérebro. Cada amplificador tem duas entradas, cada uma com um eléctrodo ligado. Os amplificadores diferenciais medem, justamente como a

¹⁸ 1842-1926.

¹⁹ Ver capítulo *O Palco do Cérebro*.

²⁰ Traçado é o nome tradicional que se dá à representação da onda.

nomenclatura sugere, a diferença de voltagem (tensão) entre os sinais dos elétrodos ligados a cada entrada. O sinal daí resultante é amplificado e mostrado como um canal de atividade EEG.

3.3.1 Os sítios do EEG

A forma como os pares de elétrodos estão conectados ao aparelho EEG é denominada de montagem. Em EEG, montagem é um arranjo lógico e racional das derivações dos elétrodos colocados no escalpe que tem por objetivo potenciar o reconhecimento dos sinais elétricos do cérebro e a localização de atividade registrada num sítio cerebral específico (Niedermeyer e Silva 2005a).

Com o objetivo de facilitar e objetivar a comparação de recolhas EEG realizadas em diferentes laboratórios, foi recomendado no primeiro congresso internacional de eletroencefalografia, em 1947 em Londres, que se tentasse padronizar a colocação dos elétrodos (Jasper 1958).

Designaram Herbert Henri Jasper²¹ para realizar essa tarefa. Na década de 1950 Jasper propõem um modelo que se tornou consensual. O Sistema Internacional 10-20. A sua proposta de padronização incluiu sugestões como a observação de marcas padrão do crânio com adaptação proporcional ou a cobertura adequada aos estudos e diagnósticos praticados na época. Também sugeriu que as designações passassem a incluir, para além dos números até então utilizados, letras também, baseadas nas grandes áreas cerebrais, isto é, frontal, parietal, etc. Assim, nesse sentido, a exemplo, a letra F passaria a designar os elétrodos colocados nos sítios frontais, onde Fp denota Polo Frontal. Neste sistema, são usados dois pontos de referência para determinação das posições, o násio (nasion), localizado no topo do nariz, entre as sobrancelhas, e o ínio (inion) situado na base do crânio, parte posterior da cabeça. A distância desses dois pontos é medida e a partir deles são marcados os pontos sobre a linha mediana do crânio, Fpz e Oz, com 10% da distância entre o násio e o ínio e os pontos Fz, Cz e Pz com 20% desta distância. Com 21 posições de elétrodos no sistema 10-20 e 16 canais, o número de montagens possíveis cobre as necessidades que levaram à própria padronização.

²¹ 1906-1999.

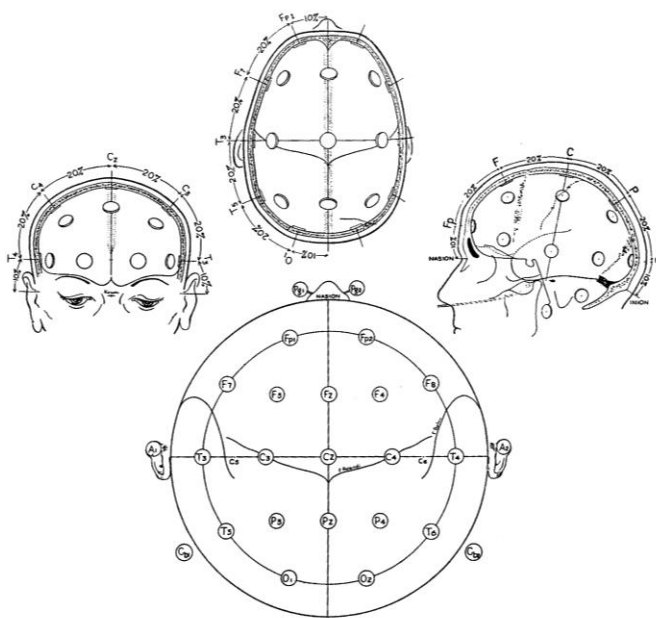


Fig. 10: Sistema 10-20 de Herbert Jasper.

Diagramas apresentados por Jasper em 1959 como proposta para o Sistema Internacional 10–20. Adaptado de Jasper, 1958.

Este sistema foi revisto e atualizado várias vezes, incluindo para possibilitar uma cobertura com mais resolução (mais elétrodos), nomeadamente o que se passou a designar de sistema 10-10 (usando somente distâncias de 10% entre elétrodos, como a nomenclatura sugere), mas, no essencial é o mesmo que aquele proposto por Jasper.

Como vimos, o EEG necessita de pelo menos dois elétrodos. Neste caso, isto é, quando só se usa uma fonte e uma referência, podemos simplificadamente designar de montagem bipolar. Mas há outras montagens que são usadas nos sistemas digitais modernos com muitos elétrodos. Um deles é o de referência média, na qual a atividade de todos os elétrodos é medida, somada e depois calculada a média. O sinal resultante, essencialmente inativo, isto é, considerado base ou zero, é, seguidamente, usado como a referência. Nos sistemas digitais os sinais que foram discretizados podem ser manipulados por forma a permitir a alteração de montagem no momento da recolha e gravação, mas também posteriormente. Esta possibilidade é realizada através da gravação de todos os canais, incluindo uma referência comum. Isso permite que os dados sejam trabalhados e estudados mais tarde optando por montagens diferentes. Como o sistema digital armazena o sinal analógico como valores numéricos, a remontagem é um

processo simples de subtração que resulta no cancelamento da referência comum.

Na sua forma síntese radical, mesmo que nos sistemas digitais e concepções tecnocientíficas atuais, os sinais cerebrais, então captados, amplificados, gravados, filtrados e processados, são finalmente representados em forma de onda(s). A interpretação do EEG é feita tendo por base a frequência, amplitude e morfologia da onda gravada.

4 AS INTERFACES CÉREBRO-COMPUTADOR

4.1 A possibilidade de ligação ao computador

Com base nesses sistemas e catalisado pelo desenvolvimento dos computadores e software na segunda metade do século XX criaram-se as primeiras interfaces cérebro-computador, também designadas de BCI²². Utilizaremos o termo EEG/BCI sempre que nos referirmos a esta versão desta tecnologia²³.

Os EEG/BCI podem estabelecer ligações entre humanos e computadores (Tan e Nijholt 2010). Jacques Vidal, um cientista belga que trabalhava desde 1963 no Brain Research Institute da Universidade da Califórnia em Los Angeles, não só cunhou o termo “Brain Computer Interface”, mas também arquitetou um sistema (Vidal 1973). A partir da abstração desses sistemas, nos últimos anos, os investigadores e as indústrias têm vindo a conceptualizar, desenhar e produzir sistemas de consumo de baixo custo (software e hardware) para permitir vários modos de uso, por exemplo, jogar jogos, gerar música, controlar hardware específico ou escrever em ecrãs de computador (E. R. Miranda e Brouse 2005b; Tan e Nijholt 2010).

Têm-se vindo também a estudar a hipótese de como gerar arte sem utilizar a manualidade como transdutora das ideias que lhe estão na origem. Isto é, usando sistemas capazes de o fazer diretamente do cérebro ele mesmo (Grierson 2008; Miranda e Brouse 2005a). Através desta técnica, um sujeito ligado a um EEG/BCI pode controlar remotamente um instrumento sem se mover, tomando

²² BCI quer dizer Brain-Computer Interface no idioma inglês.

²³ Pelos motivos expostos em *Sobre terminologia, idiomas e traduções*, capítulo *Introdução*.

decisões subjetivas de se concentrar numa determinada escolha que lhe é disponibilidade num ecrã (BrainAble 2010; Miranda e Wanderley 2006). É relevante mencionar que Vidal sugeriu que havia alguma evidência de que:

A ondas EEG contém concomitâncias utilizáveis de experiências conscientes e inconscientes e que o conjunto de sinais elétricos contínuos observados não são constituídos na sua maioria por ruído aleatório como foi muitas vezes sugerido, mas, pelo contrário, constitui uma mistura altamente complexa, mas significativa, que refletem eventos neurais subjacentes. (Vidal 1973)

4.2 Definições e métodos dos sistemas cérebro-computador

A eletroencefalografia é o registo da atividade elétrica intrínseca no cérebro, com base na propagação de impulsos elétricos ao longo das fibras nervosas e dos tecidos adjacentes quando os neurónios disparam. O fenómeno oscilatório, ondas cerebrais com ritmos estruturados (alfa, beta, etc.) é na essência endógeno, espontâneo, permanente, à partida independente de estímulos, denota estados mentais e funções.

Um dos métodos de análise baseia-se na segregação de bandas de frequência que podem corresponder a diferentes estados mentais. Lembramos, a exemplo, que a frequência Alfa pode denotar está um estado mental relaxado. Podemos proceder a uma segregação lógica nas oscilações, passá-las para o domínio das frequências e deprender estados. Mas não tem de ter uma correlação síncrona com estímulos.

4.3 Estímulos, eventos e potenciais

Há atividade espontânea e atividade derivada de respostas do cérebro a estímulos ou eventos ou deliberações específicas. Os eventos convocam atividade específica. Há, por exemplo, um potencial que aparece antes da ação. É denominado de potencial pronto (ou prévio — *Bereitschafts Potential*²⁴), descoberto por Helmut Kornhuber e Lüder Deecke (1965). Esta descoberta é muito relevante pois

²⁴ A tradução mais literal do original alemão será: Potencial de Prontidão. O título completo: Mudanças no potencial cerebral em movimentos voluntários e movimentos passivos do ser humano: Potenciais de

denota que antes de uma execução motora efetivada pelo córtex motor, que pode ser consciente e declarada, a área motora suplementar, na zona medial pré-frontal, denota um potencial prévio sem que disso tenhamos consciência. O tema tem colocado questões muito interessantes sobre o livre arbítrio, a volição, a consciência e imputabilidade dos atos (Libet 1993; Kornhuber e Deecke 2012; Imhof e Fangerau 2013). Descoberta mais recentes por outras técnicas de imagiologia funcional cerebral têm, entretanto, sugerido que o potencial pronto e o que ele pode significar — execução motora efetiva— é precedido em vários segundos — chega aos 10 segundos (Matsushashi e Hallett 2008) — de processos preparatórios dos comportamentos.

Aos fenômenos relacionados com eventos dá-se o nome de potenciais relacionados com eventos.

Ao registrar alterações no sinal EEG imediatamente após a apresentação de um estímulo sensorial, é possível inferir e relacionar respostas cerebrais específicas a eventos sensoriais, cognitivos e outros eventos mentais específicos. É a resposta cerebral medida que é o resultado direto de um evento específico sensorial, cognitivo ou motor (Sanei e Chambers 2007). É a base de um dos métodos clássicos para investigação de estados mentais e processamento de informações. Os potenciais podem ser evocados ou induzidos. Estes denominam-se de potenciais evocados e potenciais induzidos (David, Kilner, e Friston 2006) e são *subtipos* dos potenciais relacionados com eventos, mas são caracterizados como exógenos (Niedermeyer e Silva 2005a) pois dependem de estímulos específicos. São agnósticos relativamente ao conceito de oscilações e a sua segregação deverá observar a sua lógica na amplitude. Os potenciais evocados tendem a ter uma amplitude extremamente ténue, mais baixa do que o EEG espontâneo. Por isso é problemático destacá-los de outros sinais que podem ser considerados ruído — biológicos como cardio-elétricos, mio-elétricos, ambiente— tornando-se necessário calcular a média do sinal. O sinal é bloqueado-em-tempo ao estímulo, isto é, em-fase. Como a maior parte do ruído ocorre aleatoriamente (ou num ciclo conhecido), isso permite que seja calculado na média e retirado à média do sinal de interesse real das respostas repetidas.

Prontidão e Potenciais Reaferentes, originalmente: *Hirnpotentialänderungen bei Willkürbewegungen und passiven Bewegungen des Menschen: Bereitschaftspotential und reafferente Potentiale*.

4.4 Passivos e ativos

Podemos dizer que há dois grandes métodos de abordagem e utilização da atividade eletrofisiológica do cérebro: o passivo e o ativo. O método passivo usa o sistema para denotar a atividade cerebral (seja esta endógena, “autónoma” e arbitrária, ou derivada da reação a estímulos, sejam estes externos ou internos) com propósitos de inferir funcionamento e padrões, fundamentalmente pela análise de quantidades. Podemos considerar o EEG convencional, na sua essência e propósito, passivo. O método ativo é aquele que usa o sistema para atuar ou controlar objetos e/ou eventos. Por exemplo, fazer crescer uma bola, que está a ser visualizada num ecrã de computador, usando a atividade cerebral. A monitorização do comportamento da própria bola pelo utilizador, que tem por tarefa fazê-la crescer, pode servir para supervisionar o resultado da ação.

No caso das novas interfaces cérebro-computador, cérebro-máquina, etc., a sua categorização assenta em terminologia similar, mas deve ser entendida de forma diferente.

As interfaces cérebro-computador permitem uma nova maneira de comunicação entre o cérebro e o computador. A atividade mental gera atividade elétrica e essa atividade pode ser detetada, recolhida, tratada, decodificada e interpretada por técnicas como a Eletroencefalografia (EEG), a Electrocorticografia (ECoG), ou a Magnetoencefalografia (MEG). Estas interfaces, que incluem computadores na sua constituição enquanto sistemas associados ou integrados, podem transcodificar aquela atividade elétrica em sinais de controlo que podem ser usados para atuar. Por exemplo, para ligar/desligar uma televisão, mover um brinquedo ou uma nave num jogo de computador, etc. Mas podem também ser usados para ajudar pessoas com mobilidade reduzida permitindo-lhes mover, por exemplo, uma cadeira de rodas. Ou pessoas com síndromes do bloqueio mais severos permitindo-lhes, por exemplo, escrever letras num ecrã. Nestes casos, servem para restaurar ou devolver, mesmo que de forma limitada, autonomia, de movimentação ou de comunicação.

Tem havido muitas tentativas de definições para as interfaces cérebro-computador. Por exemplo, como sistemas técnicos que “dão a seus utilizadores canais de comunicação e controle que não dependem dos canais normais de saída dos nervos e músculos periféricos.” (Wolpaw et al. 2002; Tan e Nijholt 2010)

Estas interfaces podem ser divididas em dois grandes subtipos. As interfaces diretamente controladas, que permitem a comunicação direta através do mapeamento de atividade mental controlada conscientemente num novo canal artificial de saída. Pode-se, por isso, ignorar, ou passar por cima das saídas naturais do cérebro (Zander et al. 2010; Tan e Nijholt 2010; Wolpaw e Wolpaw 2012). E as interfaces indiretamente controladas, que assentam na modulação consciente da atividade cerebral derivada da resposta deste a estímulos externos (Tan e Nijholt 2010; Wolpaw e Wolpaw 2012).

No que concerne uma categorização mais específica, existem as interfaces passivas, as reativas e as ativas. As interfaces passivas são aquelas que derivam as saídas da atividade cerebral espontânea e arbitrária para enriquecer uma interação humano-computador com informação implícita, sem o propósito de controle voluntário utilizador. As reativas são aquelas que derivam as saídas da atividade cerebral que surge em reação a estimulação externa, que é indiretamente modulada pelo utilizador, para controlar uma aplicação. Finalmente, as ativas são aquelas que derivam as saídas da atividade cerebral, independentemente de eventos externos, que são diretamente controladas conscientemente pelo utilizador (Tan e Nijholt 2010; Wolpaw e Wolpaw 2012).

Podemos também entendê-las, ou enquadrá-las, numa aceção mais relacionada com a teoria e prática EEG, na sua vertente quantificável, que assenta, como vimos na introdução deste tema, em métodos e técnicas que podem denotar padrões funcionais e assinaturas eletrofisiológicas, quando são usados para este fim.

4.5 Caracterização específica

4.5.1 Imaginação motora

Este método pressupõe que o sujeito imagine que está a fazer uma ação. Por exemplo, a cerrar o punho firmemente. Os sinais EEG são então classificados em tempo-real e os resultados apresentados graficamente na forma de, a exemplo, uma bola. Esta deslocar-se-á para a esquerda, se o sistema detetar imaginação motora relativa à mão esquerda ou para a direita, se o sistema detetar atividade motora relativa à ação imaginada cometida com a mão direita (Tan e Nijholt 2010; Wolpaw e Wolpaw 2012; Guger, Allison, e Edlinger 2013).

O sujeito monitoriza sistematicamente e repetidamente as ações e isso permite que este aprenda a produzir uma imaginação motora mais clara, o que leva a uma classificação mais competente. Para otimização do sistema o classificador deve, ainda, ser atualizado após algumas sessões. A análise dos dados em diferido permite uma otimização dos recursos (Tan e Nijholt 2010; Wolpaw e Wolpaw 2012; Guger, Allison, e Edlinger 2013).

Para além desta implementação-base, é significativo dizer que alguns estudos têm mostrado que as interfaces cérebro-computador baseadas em imaginação motora podem induzir, de forma potenciada, a plasticidade hebbiana²⁵ cerebral. Isto quer dizer que pode ser relevante enquanto técnica de reabilitação motora de pessoas que tenham sofrido de acidente vascular cerebral. Relevante é, também, o facto de os estudos sugerirem que esta técnica potencia também as capacidades cognitivas em pessoas normais (Tan e Nijholt 2010; Wolpaw e Wolpaw 2012; Guger, Allison, e Edlinger 2013).

4.5.2 O método P300

O método P300 é também baseado na atividade elétrica cerebral e pode ser detetado pelo sistema EEG. É uma componente que ocorre após um estímulo relevante e não repetido, isto é, que ocorre raramente em contraponto com outros que ocorrem com frequência. É geralmente implementado com base nos elétrodos colocados nos lobos posteriores (parietal, occipital). Mostra-se como uma deflexão positiva no traçado EEG, justamente 300 milissegundos após a entrada do estímulo (Guger, Allison, e Edlinger 2013; Hassanien e Azar 2014).

4.5.3 Soletração P300

Uma das técnicas mais implementadas é a soletração P300. Nesta implementação, visual, é apresentada uma matriz de, por exemplo, 6 × 6 letras, num ecrã de computador. Seguidamente, letras — ou coluna, ou linha de letras —, revelam-se aleatoriamente. Simultaneamente, o sujeito tem que (contar, verificar) verba-

²⁵ Teoria de Donald Hebb proposta no seu livro *The Organization of Behavior (A Organização do Comportamento)* que fala sobre a adaptação dos neurónios cerebrais durante o processo de aprendizagem. Descreve um mecanismo básico para a plasticidade sináptica, onde o aumento na eficácia sináptica surge da estimulação repetida e persistente da célula pós-sináptica por parte da célula pré-sináptica (Hebb 1949).

lizar internamente, isto é, silenciosamente, cada (surgimento) revelação que inclua a letra que quer comunicar. Assim que a letra correspondente se revela, a componente P300 é produzida no cérebro.

O algoritmo analisa os dados EEG e seleciona a letra com a componente P300 mais alta e apresenta-a no ecrã. Para que o sistema tenha precisão, são geralmente necessárias várias revelações por letra, num mínimo de duas e até quinze, sendo que, o número depende de muitos fatores, incluindo a posição dos elétrodos no epicrânio, os parâmetros de processamento de dados e, muito relevante, a amplitude do P300 individual de cada sujeito. A soletração P300 pode ter sucesso se implementada com símbolos ou ícones abstratos que não letras. Isto é, “glifos” com formas gráficas síntese não vinculadas à matriz linguística do sujeito.

De notar que existem outras técnicas de estimulação que podem ser aplicadas ao paradigma P300, como, por exemplo, a estimulação vibro-táctil. Neste caso, transpõe-se mesmo uma limitação da técnica de soletração que, sendo baseada na visão, não é por isso passível de ser aplicada a sujeitos invisuais. A base de implementação é a mesma: deve haver estímulos frequentes e infrequentes. Por exemplo, a estimulação do polegar esquerdo com frequência em oposição a uma estimulação infrequente do polegar direito. A atenção do sujeito relativa à estimulação do polegar direito gerará um P300 (Guger, Allison, e Edlinger 2013; Hassanien e Azar 2014).

4.5.4 Potencial Evocado Visualmente em Estado Estacionário

Esta implementação, designada internacionalmente pela sigla SSVEP²⁶, é baseada em estimulação visual. Usa fontes de luz oscilantes, mas geoestacionárias, como, como exemplos, padrões de xadrez que invertem a fase, ou LED cintilantes colocados numa matriz. As oscilações fazem-se em frequências únicas e determinadas. Quando um sujeito fixa ou fica atento a uma das fontes, ocorre uma alteração de amplitude de poder EEG no lobo occipital, na área do córtex visual, na frequência correspondente.

Isto permite que se use a técnica para mapear diversas alternativas de controlo de eventos, baseadas em várias frequências e quadrantes onde ocorrem a fontes de luz que servem a estimulação. Por exemplo, uma frequência de uma das fontes para fazer andar um objeto para a esquerda, outra para fazer o objeto andar para

²⁶ Do inglês: Steady State Visually Evoked Potential.

a direita e assim sucessivamente! De notar que quando o sujeito não se foca em nenhum estímulo em particular isso também serve para treinar o algoritmo para, por exemplo, ausência de comando. Há estudos que dizem que se pode chegar com facilidade a 4 comandos (Guger, Allison, e Edlinger 2013; Hassanien e Azar 2014).

4.5.5 Interfaces baseadas em código

Uma outra implementação que nos merece expor, é o uso de sequências de estimulação pseudoaleatórias num ecrã, com monitorização. O sujeito tenta controlar um braço robótico. Os movimentos do braço são captados por câmaras de seguimento que detetam as coordenadas x e y dos movimentos e enviam esses dados para o computador. Simultaneamente, outra(s) câmara(s) possibilitam que o sujeito monitorize os movimentos-evento do braço. A correlação das duas informações permite ao algoritmo controlar de forma bastante eficaz, e em tempo real, o braço robótico (Guger, Allison, e Edlinger 2013; Hassanien e Azar 2014; Gandhi 2014).

Há ainda as denominados interfaces híbridas que funcionam somando outras modalidades, como o rastreio das trajetórias do olhar, possibilitando isso combinar sinais de outros e diferentes tipos.

4.6 Inteligência artificial?

A tendência de alguns pesquisadores e praticantes de usar os termos de vários ritmos do EEG, referindo-se apenas às suas bandas de frequência, é enganosa. Algumas observações devem ser feitas: (a) os ritmos EEG devem ser entendidos no contexto de redes cerebrais interconectadas que permitem atividades sincronizadas de conjuntos neuronais; (b) cada ritmo deve ser colocado dentro do contexto do estado comportamental distinto; e (c) o conhecimento dos mecanismos celulares subjacentes a vários tipos de oscilações do EEG é um desafio. (Niedermeyer e Silva 2005b, 76)

Os processos do cérebro são um problema de processar, decodificar, classificar e usar de forma útil, devido à sua essência multimodal, multi-escalar, multi-dimensional, comportamental, contextual, à dinâmica contínua, densidade de sinais, à incorporação de sinais ou componentes fora de interesse, por exemplo, ruído, à necessidade de localizar as fontes elétricas corticais reais, entre outros.

A emergência dos sistemas contemporâneos portáteis invocou a necessidade de se implementarem novas fórmulas e procedimentos matemáticos de mineração de dados e produção de estatística imediata por forma a mitigar e resolver os problemas que da incontornável complexidade referida e permitir o seu uso efetivo e consequente em cenários requeridos.

Como vimos há métodos como o cálculo da média dos potenciais evocados que permitem segregar sinais de interesse daqueles que não interessam. Contudo, e dando exemplos, este método,

(...) não é eficiente para encontrar outras projeções individuais das fontes do EEG individual para além do processamento inicial sensorial. Também, a lógica da média dos Potenciais Relacionados com Eventos só capta um aspeto da transformação da atividade EEG que se seguem a eventos com significado. (Makeig et al. 2012)

Nas duas últimas décadas desenvolveram-se métodos e procedimentos de processamento de sinal adaptativo, aprendizagem adaptativa e inteligência artificial, nomeadamente inspiradas pelo crescente entendimento das redes neuronais e a sua capacidade de processar, adaptar e usar novas informações de forma cega, isto é, sem conhecimento prévio da sua natureza (Brownlee 2011). Isto levou à criação de procedimentos de aprendizagem computacional supervisionados e não supervisionados²⁷ baseados nos conceitos de, a exemplo, redes neuronais.

²⁷ A aprendizagem computacional tem três grandes métodos: 1) o método supervisionado, que é aquele em que todos os dados são rotulados e os algoritmos aprendem a prever a saída dos dados a partir dos dados de entrada. Tem esta designação porque a base-de-dados de treino é como se fosse um professor que o ajuda a rotular até que tenha competência suficientes para operar sozinho. 2) o semi-supervisionado, em que alguns dados são rotulados, mas a maioria não. Pode, contudo, misturar técnicas supervisionadas com não supervisionadas, isto é, necessita por vezes do professor para o ajudar a rotular corretamente e/ou corrigir os rotulados incorretamente. E, 3), o não supervisionado, que é um método sem professor, onde não se rotula nenhuns dados, mas os algoritmos aprendem sozinhos a inferir estrutura somente a partir dos dados de entrada.

Algumas soluções são de utilização padrão, como a separação cega de fontes, por exemplo a análise de componentes independentes²⁸, que usam informação estatística de todos os dados em processamento para inferir mapas de representação das projeções individuais das fontes EEG (Makeig et al. 2012).

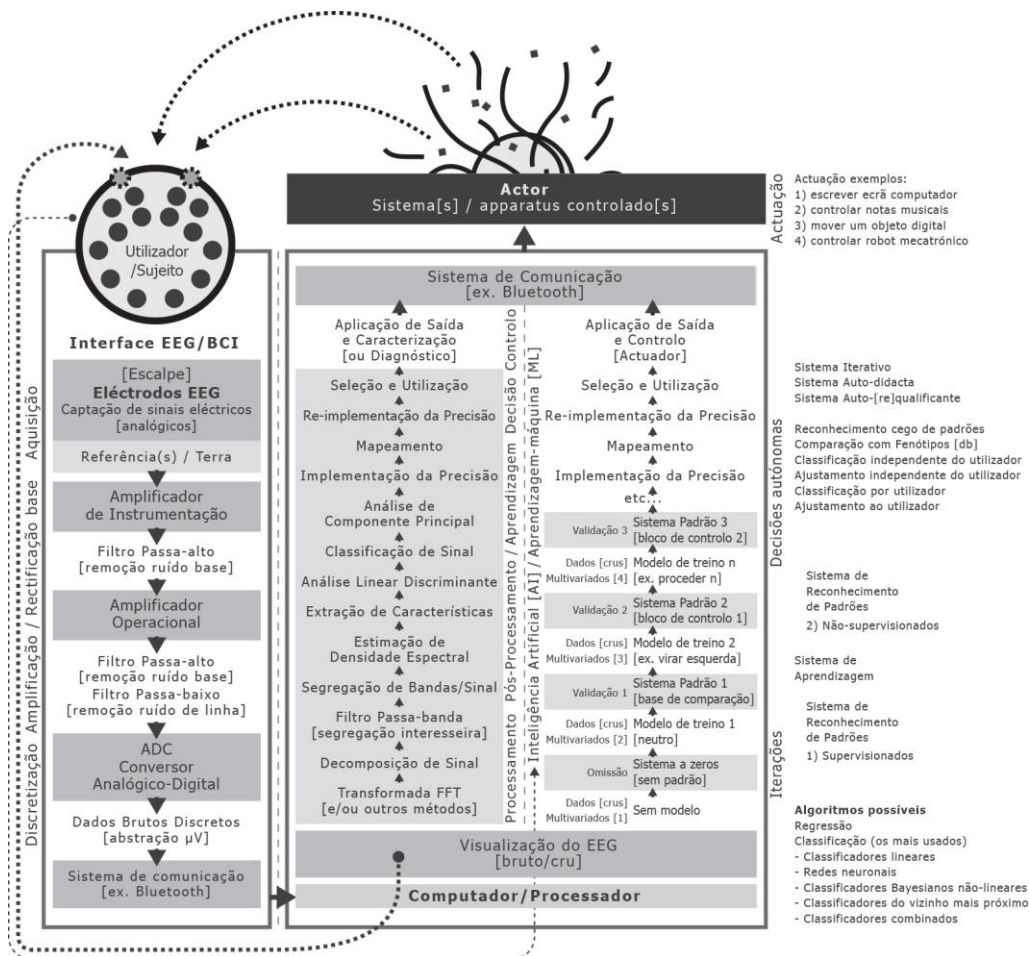


Fig. 11: Lógica das Interfaces Cérebro-Computador.

Diagrama/fluxograma das componentes e etapas de um sistema EEG/BCI contemporâneo.

A sua implementação continua e têm-se implementado — ou tentado implementar — métodos de análise discriminante, análise de subespaço, cancelamento adaptativo de ruído, aprendizagem por dicionários, etc. A conceção de novos procedimentos continuará, com toda a certeza, porque os processos do cérebro são dinâmicos, ubíquos, complexos e adaptativos e isso significa que

²⁸ Denominado de ICA, *Independent Component Analysis* em inglês, termo recorrente na prática EEG.

pode ser conhecido, mas é simultaneamente desconhecido e, conseqüentemente, a solução para o seu conhecimento tem de observar esta essência mutante.

4.7 Sistemas EEG clínicos modernos assistidos por computador

Grande parte da investigação sobre os potenciais elétricos do cérebro e o uso de interfaces baseadas nos princípios EEG tem sido realizada em ambientes de ciências do cérebro aplicadas, por exemplo, neurofisiologia, neuropsiquiatria. De destacar, nos últimos anos, algumas experiências com sistemas invasivos começaram a permitir aos cientistas conceptualizar e desenvolver soluções, por exemplo, neuroprotéticas (hardware e software), para resolver algumas deficiências humanas profundas, por exemplo, paresia, — plegias que implicam deficiência física e, conseqüentemente, alguma diminuição e constrangimento funcional.

Uma das soluções propostas foi destaque no documentário *60 Minutes* apresentado por Scott Pelley na CBS sobre Catherine Hutchinson, que devido a um derrame cerebral ficou completamente paralisada fisicamente, incapaz de falar, mas mentalmente funcional (Pelley e Cetta 2008; Pelley e CBS 2008). Catherine foi ligada através de cabos diretamente a um computador BrainGate²⁹. Através de controlo executivo consciente racional ela conseguiu comandar algumas aplicações informáticas, como, por exemplo, correio eletrónico (Tan e Nijholt 2010).

A maioria da investigação baseada em prática, relativamente aos EEG/BCI e aos seus potenciais usos, tem sido orientada pela e para a programação e design de baixo-nível e contextos clínicos e laboratoriais —por exemplo, neurofisiologia, tecnologias aplicadas. Embora uma das motivações mais comuns para a investigação EEG/BCI tenha vindo a ser o desenvolvimento de tecnologias e sistemas para assistência, e também reabilitação, de pessoas com deficiências físicas graves —particularmente síndrome de encarceramento, ou paralisia completa com incapacidade de falar (Tan e Nijholt 2010) tem havido outras e diferentes abordagens noutras disciplinas e áreas, nomeadamente artes (principalmente performativas), ou entretenimento (sobretudo jogos).

²⁹ A BrainGate (<https://www.braingate.org>) é uma equipa que reúne cientistas, engenheiros e instituições académicas que investigam e propõem soluções relacionadas com problemas do cérebro.

4.8 Sistemas EEG/BCI portáteis

Até há poucos anos a maioria da utilização e produção destas interfaces EEG/BCI confinava-se a contextos clínicos, de investigação e empresariais/ industriais, isto também pelo facto da implementação e produção da tecnologia EEG ser dispendiosa. A sua utilização era “vedada” a uma utilização mais alargada não só por serem dispendiosos, mas também porque eram dependentes de conexões físicas e de unidades de processamento não portáteis.

Entretanto, a evolução das tecnologias e sistemas de comunicação sem fios, como o Bluetooth e Wi-Fi, e dos sistemas de captação e transdução de sinais (sensores, amplificadores, retificadores e conversores) a miniaturização dos seus componentes (antenas, emissores, recetores, amplificadores, microprocessadores, etc.), a otimização dos algoritmos e comunicação digital e a partilha, em rede, de conhecimento, tanto em áreas de engenharia relativas a estes componentes, como em áreas de ciências da computação (por exemplo, algoritmia de filtragem e tratamento de dados, aprendizagem computacional) e uma consequente massificação da produção daquelas componentes e de baterias veio permitir iniciativas de desenho e fabrico destas interfaces baseadas na portabilidade e comunicação sem fios e baixo custo. Isto abriu janelas de oportunidade nomeadamente no mercado de consumo dos jogos, umas das áreas que, como vimos, poderia beneficiar deste dispositivo enquanto atuador.

No final da primeira década de 2000, surgiram as primeiras iniciativas. À data dos primeiros passos da nossa investigação, por volta de 2010, as mais significativas eram a da Neurosky³⁰, tendo colocado no mercado em 2009 o MindSet³¹, o seu primeiro dispositivo com um pacote de desenvolvimento de software³² de acesso livre. Este dispositivo tinha um só sensor EEG, frontal, seco, e referências nas orelhas usando sensores incrustados nas almofadas dos auscultadores. Foi esta interface a primeira a usar em larga escala a versão de sensores secos. A sua aquisição incluía o Brainwave Visualizer, uma aplicação de visualização das vá-

³⁰ NeuroSky, Inc: <http://neurosky.com/>

³¹ Nesse mesmo ano a Mattel e a Uncle Milton Toys usaram, com assinatura própria, a tecnologia da NeuroSky nos primeiros brinquedos com sensores dedicados à eletrofisiologia cerebral.

³² Usualmente denominado de SDK, *Software Development Kit*

rias ondas cerebrais e um jogo simples, que usava um barril que levitava até explodir caso a concentração do utilizador ultrapassasse uma determinada amplitude.

A Emotiv³³ colocou no mercado no final de 2009 o EPOC. Este dispositivo foi pioneiro pelo facto de ter colocado num mercado mais alargado, isto é, não exclusivamente clínico, uma interface de eletroencefalografia com características e qualidade aproximada aos de grau clínico-laboratorial, nomeadamente pela quantidade de canais EEG disponíveis — 14, mais referências. Os elétrodos necessitavam apenas de hidratação ligeiramente salina para que contacto e captação elétrica se realizassem com a impedância padrão. Foi colocado no mercado em duas versões: a de consumo, dedicada ao controlo de jogos e a de investigação e desenvolvimento. A versão de jogo podia ser usada para controlar jogos como o SpiritMountain, comercializado também pela empresa. A versão de investigação era mais onerosa, mas incluía os um conjunto de aplicações — Emotiv Control Panel, EmoKey, EmoComposer e TestBench — e um pacote de desenvolvimento de software, o Emotiv Research SDK, todos proprietários, que permitiam usar o sistema em contextos e propósitos de investigação, nomeadamente pela possibilidade de acesso a dados EEG em bruto,³⁴ e ao desenvolvimento de aplicações tanto para entretenimento como para fins laboratoriais. O Emotiv Control Panel era constituído por vários módulos, cada um deles com objetivos específicos e formas de processar sinais electrofisiológicos de forma diferenciada, para além de verificar ligações, a qualidade de impedâncias ou a carga da bateria. O Expressiv Suite, dedicado às expressões faciais; o Affectiv Suite, dedicado a medir respostas emocionais; e o Cognitiv Suite, dedicado à deteção de intenções conscientes.

Havia ainda a OCZ³⁵ que colocou no mercado o NIA – Neural Impulse Actuator. Este também usava elétrodos secos, somente frontais, em número de 3, dos quais pensamos ser o central a base de referência e os laterais serem usados para os sinais bioelétricos.³⁶ O manual esclarecia à entrada que os sinais eram biosinais

³³ Emotiv Systems, mais tarde (2013) Emotiv Inc (<http://www.emotiv.com>)

³⁴ Também designado RAW (idioma inglês).

³⁵ Em 2011, o sítio da OCZ (<http://www.ocztechnology.com>) anunciou que o NIA deixou de ser fabricado.

³⁶ O manual não refere quais são usados para quê. Também não conseguimos nenhuma informação objetiva sobre a lógica de implementação entre referências e sinais bioelétricos.

elétricos que incluíam, para além do EEG, aqueles gerados pela atividade muscular, miográficos, e pelo movimento dos globos oculares, oculográficos. Era um sistema exclusivo para Windows e não disponibilizava qualquer pacote de desenvolvimento de software.



Fig. 12: Interfaces Cérebro-Computador.

Da esquerda para a direita: OCZ NIA, Emotiv EPOC e NeuroSky MindSet

Para além dos já referidos, estavam disponíveis no mercado outras interfaces de interesse, sobretudo por terem características que os colocavam no patamar dos sistemas EEG clínicos. Entre eles estavam produtos da g.tec³⁷ como o g.USBamp, que, como veremos num capítulo mais à frente dedicado a projetos de referência, foi usado em experiências artísticas em contexto de palco. O g.USBamp era um amplificador de biosinais como EEG, ECG, EMG, etc., de alta performance e precisão e sistema de aquisição / processamento com interface USB tendo na base 16 canais, mas permitindo empilhar várias unidades por forma a obter configurações de 32, 48, 64 ou mais canais. Podia usar elétrodos passivos e ativos. Tinha filtros digitais internos, como passa-banda, calibração e verificação de impedância integrados. Usava software como *Simulink*³⁸ e *LabVIEW*³⁹ para processamento de dados em-linha. É um dispositivo médico com certificação.

³⁷ A g.tec, Áustria, é uma das mais importantes companhias de engenharia biomédica, fundada em 1996, dedicada fundamentalmente ao EEG clínico e de investigação (www.gtec.at/).

³⁸ Ambiente de programação gráfica para modelação, simulação e análise de sistemas dinâmicos de múltiplos domínios e dimensões, proprietário, da The MathWorks, Inc. (mathworks.com)

³⁹ Plataforma de design de sistemas e ambientes de desenvolvimento para uma linguagem de programação visual, proprietário, da National Instruments (www.ni.com) originalmente lançado pela Apple em 1986.

Ainda tivemos conhecimento de outra iniciativa: o Enobio⁴⁰, cujos autores publicaram em 2007 um manuscrito com os primeiros resultados (Ruffini et al. 2007). Todavia, à altura da escolha definitiva da interface a usar este estava em estado de desenvolvimento.

Havendo estas iniciativas, que podíamos enquadrar neste conceito de portabilidade que nos era crucial, o seu preço estava fora do nosso alcance e pressupostos. Assim, as nossas aquisições acabaram por recair somente nas interfaces anteriormente referidas. A interface que acabou por ser a eleita para uma utilização mais sistemática e consequente foi o Emotiv EPOC Research, pelas suas características de portabilidade, qualidade, número de elétrodos e pacote para desenvolvimento de software e investigação. Bastante mais tarde ainda tivemos acesso ao Enobio, com o qual tentámos realizar recolhas. Contudo, mostrou-se demasiado desconfortável de usar e após algumas tentativas desistimos. O abandono também foi baseado num dos critérios que tínhamos na definição projetual: baixo custo.

⁴⁰ Pela Neuroelectrics (www.neuroelectrics.com)

5 ESTÍMULOS E CONSEQUÊNCIAS

5.1 Contexto e utilidade

Como um sistema, o cérebro é um universo com características a priori, isto é, *possibilidades* congénitas, não só estruturais como funcionais, com atividade espontânea intrínseca permanente (Raichle 2010) capaz de *divagar* na ausência de demandas externas (Mason et al. 2007). É um sistema permanentemente ativo com o qual podemos estabelecer um paralelismo conceptual com as Leis de Newton (de equilíbrio e movimento) e a teoria que propõe que o cérebro tem um modo-padrão (Raichle 2011). Newton postulou que um corpo continua no seu estado de repouso — ou no seu movimento uniforme — a não ser que uma força externa o force a alterar esse estado (Newton 1729). O mesmo acontece com o nosso cérebro, tem um modo-padrão. Neste modo “ele desenvolve um estado espontâneo e auto-organizado sem recorrer a qualquer estímulo exterior.” (Buzsáki 2006)

De acordo com algumas experiências científicas, um cérebro é mesmo capaz de viver em isolamento (Llinás e Paré 1991; Mühlethaler et al. 1993; Pakhotin e Pakhotina 1994) — e ser mantido vivo como um sistema isolado se alimentado nas suas funções básicas com perfusões apropriadas (von Bohlen und Halbach 1999) e energia (por exemplo, glucose) (Mergenthaler et al. 2013). Todavia, alguns destes mesmos resultados empíricos também postulam que, embora um cérebro possa viver em isolamento, não produz constituintes úteis (por exemplo, dados) para ele mesmo sem interatividade com o meio-ambiente com que se relaciona (Buzsáki 2006). Bastante interessante é sublinhar que não só não produz aqueles para ele mesmo como também para a(s) entidade(s) que possa(m) ter uma relação com este (por exemplo, o corpo humano que o hospeda, outras entidades que interagem com ele, por exemplo, outras entidades humanas). Ou

mais precisamente, pode não se desenvolver na plenitude se isolado de um contexto dinâmico (Buzsáki 2006; Wilson e Foglia 2015). Tsakiris et al. (2007) postulam que: “a experiência coerente (...) depende da integração da informação eferente com a informação aferente em contextos de ação.”.

Isto que dizer que os contextos podem ser vistos como os próprios estímulos, independentemente dos seus ingredientes específicos. Mas há contextos assépticos, limpos de estímulos espontâneos contingentes, como os laboratórios controlados no seu ambiente por motivos de controlo de variáveis experimentais. E há os contextos ecológicos, onde não há *estimulo-tomia*⁴¹, onde todos os estímulos, sejam autóctones sejam ou alóctones, invariáveis ou contingentes, estão presentes.

5.1.1 Reação e ação

Segundo alguns estudos (Thompson et al. 1992) o tempo de reação que os mecanismos especializados do cérebro levam para detetar um estímulo visual está entre 180 a 200 milissegundos, enquanto no som é de entre 140 e 160 milissegundos. Pesquisas mais recentes (Shelton e Kumar 2010) demonstram que esses tempos médios podem ser de 284 (auditivo) e 331 (visual) milissegundos. Um outro dado importante é que um estímulo auditivo leva cerca de 8 a 10 milissegundos a chegar ao cérebro enquanto um visual leva entre 20 a 40 milissegundos (Kemp 1973).

Há uma janela de integração temporal, referida em estudos como *janela da simultaneidade* audiovisual onde eventos áudio e visuais se integram por “ventriloquismo” (ou colagem) (Spence e Squire 2003) parecendo consensual, assim, que uma integração multissensorial temporal é necessária para que a cognição consciente seja sublimada sem disrupção — parecendo que só o afastamento superior a 250 milissegundos começa a denotar perceção de assincronia. Contudo, sabe-se que a sensação de sincronia pode, num meio-ambiente multimodal, perante estímulos terceiros, parecer assíncrona (Roseboom, Nishida, e Arnold

⁴¹ -tomia é um elemento de formação pospositivo que traduz a ideia de corte. Inspiramo-nos na Lobotomia, que é o corte das fibras nervosas da zona pré-frontal de núcleos medianos do tálamo dos quais o componente afetivo deriva.

2009) e isso pode significar que a integração coerente sincrónica seja desestabilizada refletindo-se isso nos mecanismos de percepção e consequentemente numa “perda-de-noção-das-coisas”.

Há observações empíricas que sugerem que há um diferencial entre sistema ótico, sistema auditivo e restantes sensores que entram na equação da iteração recepção/percepção/cognição/consciência. Mas também, possivelmente ainda, mecanismos de memória de curta duração, operativas e voláteis, e de longa duração, culturais e impregnadas, que, possivelmente, devido a um super-recrutamento por parte de estímulos e à consequente rivalidade entre estes, tudo se transforma numa consequente falta de coerência entre sinais, e incapacidade de conciliação, tornando assim impossível aferir a colocação dos constituintes num vetor temporal — linear ou, já agora, não linear — ou mesmo numa matriz espacial.

5.2 Contexto, partilha e performance

Um ato performativo artístico, com performers e audiência (enquanto entidades que partilham o ato), é um evento participativo onde ambas as partes partilham e constroem um conjunto de circunstâncias interligadas simultâneas. É um evento onde constituintes modais — por exemplo, visual, sónico, olfativo — desencadeiam processos interativos de análise, percepção, apreciação, retorno e co-processamento entre as entidades envolvidas, criando um processo dinâmico e complexo de experiência estética, passando pelo raciocínio e emoção (Tomé-Marques, Menezes, et al. 2014). Relevante é o facto de que algumas formas artísticas, como a música, serem tão poderosas que podem ativar praticamente todas as áreas conhecidas do cérebro, incluindo os sistemas mais viscerais — primitivos e profundos — geradores de emoções, (Levitin 2007) assim como provocar comportamentos involuntários, talvez mesmo por coerção (Sacks 2006).

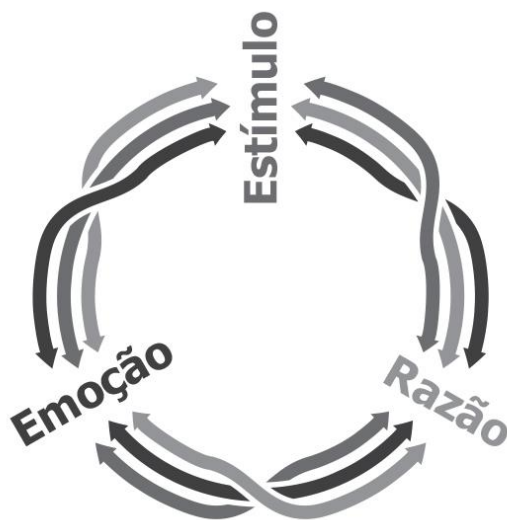


Fig. 13: Estímulo, Razão, Emoção.

Proposta conceptual do potencial dinâmica estímulo-razão-emoção. 2017

Os performers são, para além de emissores, como o público (audiência), recetores, estando, nesse sentido expostos aos constituintes do ato performativo, mesmo que a sua permeabilidade e agência seja diferente da do público, por estarem em missões e posições diferentes dentro do ato performativo e pela sua cognição estar apetrechada de conhecimentos a priori, pré-mapeados, (A. Clark 2008) — unilaterais em relação ao público. Isto significa que podemos definir um contexto performativo como super-contexto, ou super-conteúdo, ou, ainda mais apropriado no nosso ponto de vista, superestímulo.

Ora é possível que pelo facto de se estar perante um superestímulo, isto é, uma quantidade de estímulos a competir entre si, isso recrute um número excecional de processamentos aos centros especializados — via hiperestimulação não usual — isso contribua para a disrupção da coerência pela incapacidade do sistema gerir esses momentos não ordinários de estimulação (Scalf et al. 2013; Baars e Gage 2007). Nos participantes expostos a um superestímulo é provável que isso se reflita na sensação, perceção e cognição.

O desenrolar deste ato torna-se, sugerimos nós, numa espécie de transgressão do equilíbrio entre o discernimento (isto é, cognição lógica consciente) e emoções (processamento emocional não consciente, pré-consciente ou mesmo consciente) (Baumeister, Masicampo, e Vohs 2011) que, por sua vez, por consequência,

se reflete numa transgressão da percepção do tempo e do espaço, onde a linearidade dos acontecimentos deixa de fazer sentido.

Poderemos pensar então o ato performativo como um evento que está entre o discernimento e a capacidade executiva e a perda de noção de tempo e a incapacidade de gestão de emoções, um fenómeno onde a sequência emissão, receção, percepção, cognição, (re)ação se perde enquanto possibilidade cronológica e hierárquica.

5.3 Um estímulo especial (?)

Vimos como os estímulos-contexto — as palavras podem ser intermutáveis neste caso — são cruciais no comportamento do cérebro. No nosso título, *Música, Razão e/ou Emoção*, o termo música não deve ser entendido literalmente, mas sim como um superestímulo. Antes de mais, porque o nosso projeto está, pelo menos na sua essência filosófica, inexoravelmente ligado à música.

Não nos vamos demorar na explicação nem debater sobre os entendimentos sobre o termo música e o que este pode encerrar. Mas como propósito de justificar o nosso conhecimento dos referentes e desvendar um pouco o nosso entendimento sobre o assunto, escreveremos algumas linhas.

5.3.1 Possibilidades de (in)definição

A música tem tido muitas propostas de definição. Se formos aos dicionários generalistas, podemos ver propostas como, “organização de sons com intenções estéticas, artísticas ou lúdicas” (...) e/ou (...) “arte de combinar sons (...), frequentemente de acordo com regras definidas.” (Priberam S.A. 2008) A produção, execução de sons organizados e relacionados e a sua e manifestação também pode ser considerada música. Emery Schubert diz que uma propriedade inegável e fundamental da música é que esta, para existir, requer tempo (Schubert 2010).

Podemos abordar a música por duas vertentes fundamentais. Como arte e como ciência, neste caso pertencendo aos domínios da acústica e enquanto arte situar-se-á no âmbito das manifestações da mente cuja interpretação pertence à estética (Alegria 1976).

A organização e as relações entre os sons podem ser fundamentadas e explicadas pela via da lógica matemática, tendo Pitágoras razoado e realizado as primeiras

experiências com corda tensa e postulado os primeiros argumentos com âncora nesta disciplina. Já mais próximo da nossa era, no final do século XIX, Herman von Helmholtz trabalhou na sua verificação pela via científica (Helmholtz 1895).

Para Rameau a Música seria: “uma ciência que deve ter certas regras; estas regras devem ser tiradas de um princípio óbvio, e este princípio não pode ser conhecido por nós sem a ajuda da matemática.” (Rameau 1722) Mas para Leibniz, seria um “exercício de aritmética que a mente realiza sem perceber que está calculando” (Schopenhauer 1819)⁴² (Alegria 1976). Para Anton Ehrenzweig seria somente uma linguagem simbólica do entendimento inconsciente e, nesse sentido, de análise impossível (Ehrenzweig 2001; Alegria 1976).

Alegria, remata:

A diferença entre o tempo matemático-objetivo e o tempo musical-subjetivo, bem como entre sons físicos e artísticos e dinamismo acústico e psíquico, foi e continua a ser terreno fértil para largas divagações de tom mais ou menos polêmico. (1976)

Independentemente dos postulados, poderemos aceitar que música é, grosso-modo, som organizado e intencional. Pode ser uma organização abstrata seja de sons encontrados, independentemente da proveniência, seja de sons produzidos artificialmente.

Mas não se radicaliza na estreiteza dessa aceção. Aqui música, é música ou sons, provocados ou espontâneos, posicionados em fase ou fora de fase, acusmáticos ou georreferenciados, correlacionados harmonicamente ou conceptualmente. Isto é, tanto pelos sons inerentes, espontâneos, aleatórios, contingentes e presentes nos contextos que habitamos como também pelos sons gerados e organizados pelos humanos, diretamente, qual voz, ou usando tecnologia, artificialmente, quais instrumentos musicais, qual cultura. Música, qua superestímulo abstrato, não vinculado exclusivamente àquela confinada aos significados difundidos e consensuais quanto-baste relativos ao termo. Isto é, música como pretexto-âncora conceptual para artes performativas, palco, palco e contexto, estímulo pervasivo incontornável, não passível de ser impedido de perpetrar impacto emocional-estético, seja por estimulação direta causa-efeito pela via sentidos e

⁴² Original: *exercitem arithmeticae occultum nescientis se numerare animi* por Leibniz citado por Arthur Schopenhauer em *Die Welt als Wille und Vorstellung* (O Mundo como Vontade e Representação) de 1819.

processado no córtex somato-estético, mas também impacto estético pela via de apreciação intelectual. A nossa ecologia tem uma forte essência cultural e artificial não excluindo os sons contingentes espontâneos.

5.4 Um superestímulo

Enfim a ideia essencial é: música qua superestímulo. Tendo nós esta necessidade e posição, faz todo o sentido um desenvolvimento mais denso sobre a relação da música com cérebro.

A história do nosso cérebro musical é a história de uma orquestração primorosa de regiões cerebrais, envolvendo as partes antigas e novas⁴³ deste e regiões tão distantes como o cerebelo. Envolve uma coreografia de precisão entre descargas neuro-químicas e a recolha de sistemas de previsão lógica e dos sistemas de recompensa emocional.

Todas as práticas artísticas assentam numa série de mecanismos psico-sensoriais para a sua própria implementação e pressupõe que o protagonista das ações que as consubstanciam seja um motor psicodinâmico, gerador de sinais elétricos neuronais a vários níveis.

Estudos têm revelado que a música, e a sua prática em particular, é uma das atividades humanas que mais áreas do cérebro ativa ao nível cognitivo e emocional. A atividade musical envolve quase todas as regiões do cérebro e praticamente todos os subsistemas neuronais (Levitin 2007; Wallin e Merker 2001).

Quanto tocamos um instrumento recrutamos o córtex executivo (parte anterior dos lobos frontais) para planear e ordenar execuções, o córtex motor (parte posterior dos lobos frontais) para executar nosso próprio comportamento, mas também a área sensorial (parte anterior dos lobos parietais) para perceber (baseado em de mapas internos) onde temos, por exemplo, os dedos nas cordas de uma guitarra, como a visual (lobos occipitais) para ler música e/ou monitorar

⁴³ A ciências do cérebro propõem que este é um sistema que evoluiu ao longo do tempo e que as suas partes possam ser distinguidas também por este critério. Por exemplo o neocórtex — para além das regiões cerebrais em termos de estruturas globais, por exemplo, córtex frontal

visualmente o tanger do instrumento (estes processam a primeira fase das informações captadas pelo sistema visuo-óptico), como os lobos temporais para ouvir, ou o cerebelo, entre outros sistemas, para lembrar as músicas e as letras.

Mas também ativamos os sistemas mais profundos e geradores das emoções nas áreas e estruturas límbicas antigas,⁴⁴ como, por exemplo, a amígdala, um dos grandes mecanismos do processamento emocional. Como diz Levitin (2007) “o que nos faz gostar de música é uma experiência emocional”.

Um músico, ou o cérebro deste, neste contexto, é, portanto, um motor de psicodinâmico, um gerador de sinais elétricos em vários níveis.

A música tem, como referimos, uma incrível capacidade de evocar estados emocionais em quem a escuta. Ainda mais importante, as emoções que são evocadas pela música parecem estar relacionadas com incisões cerebrais de longo prazo (Levitin 2007) — no que concerne à memória e à sua possível recuperação (seja esta invocada inconscientemente, seja esta declarada conscientemente). Este fator pode também ser de grande importância na pesquisa de doenças como Alzheimer, uma doença caracterizada por alterações em células nervosas, nos níveis de neurotransmissores e na destruição das sinapses, que resulta numa perda de memória exponencial e dramática (Sacks 2008).

5.5 Música, emoção, razão e reação/ação

A prática da música assenta assim numa dinâmica racional, motora, visual e emocional onde vários mecanismos interagem numa tomada de múltiplas e complexas decisões em tempo-real, num controlo adequado do sistema muscular, auditivo, visual, mas exposto também aos sinais emocionais gerados simultaneamente no interior mais profundo do cérebro que servem, muitas vezes, para uma realimentação emocional complementar do sistema cognitivo, fator esse

⁴⁴ A designação “antigo” está relacionada com o neurocientista Paul MacLean que no final dos anos sessenta propôs a teoria do Cérebro Triúno. Nesta refere-se a três zonas/estruturas fundamentais do cérebro como camadas formadas pela evolução e herdadas na ancestralidade: a parte reptiliana, a mais primitiva e mais simples em termos de funções, a parte paleo-mamífera, intermédia e relativa à parte límbica, estando esta muito relacionada com emoções, e a neo-mamífera, a parte mais recente onde se inclui o neocórtex, responsável pelo pensamento evoluído (Newman e Harris 2009).

que pode influenciar as próprias decisões cognitivas e assumir um protagonismo na caracterização da própria prática — modulação da interpretação.

Interessante também é o facto de a música parecer estar sempre ativa no interior do nosso cérebro, tanto em estádios de vigília, como em estados de sono profundo, de forma consciente ou inconsciente. Particularmente interessante, a nosso ver, são os sonhos musicais. Os sonhos em geral emanam de uma mistura complexa de relações gerada no cérebro e são muitas vezes caracterizados por narrativas inexplicáveis, pelo menos aos olhos dos que os sonham. Mas os sonhos musicais caracterizam-se aparentemente como um sistema autónomo, indiferente àquela “modulação” gerada no cérebro pois a música aí percebida, nos sonhos, é igual à percebida quando estamos acordados (Sacks 2008).

5.6 A música e o movimento

Parece também existir uma relação profunda entre o cérebro, a música e o movimento, mas não exclusivamente nos seus praticantes — estes estão diretamente envolvidos e daí essa ser uma conjuntura básica — mas também nos públicos que assistem aos recitais, concertos e atos performativos. Experiências têm mostrado que mesmo em situações de ausência do som desses atos as pessoas reagem aos movimentos dos músicos incorporando em si mesmos e fruindo as intenções rítmicas e expressivas daqueles.

Mas a relação da música e movimento também confirma a descoberta de que, como propõe Levitin (2007), a música e a dança são inseparáveis em todas as sociedades.

5.7 A música e a memória

A música também espoleta no cérebro as memórias mais recônditas e remotas, e gera energias emocionais fortíssimas, impermeáveis ao controlo cognitivo, pelo menos temporariamente e em certa medida, sem que, muitas vezes, os indivíduos que são expostos a essas situações pressintam ou tenham a consciência antecipadamente ou durante a própria ocorrência.

A memória afeta tão profundamente a experiência da audição que não será hiperbólico dizer que sem memória não existiria música.
(Levitin 2007)

Esses processos de recuperação das memórias não se refletem exclusivamente no sistema emocional, mas também em dados mais específicos, como recordar textos (letras de músicas) completos ou de códigos/sequências numéricas, ou mesmo de sinfonias completas já não escutadas há anos ou uma só vez.

5.8 A música e a linguagem

As últimas descobertas sobre o impacto que a audição e prática da música revelam que o desenvolvimento da linguagem e da verbalização, na sua origem, pode estar estreitamente relacionados com a música.

Sabemos que há idiomas que se estruturam de tal forma na musicalidade, ou mais propriamente, na distinção tonal dos seus fonemas⁴⁵ que levaram à descoberta que estas só podem ser inteligíveis se se processarem dentro dos padrões fonéticos que a habilitaram, o que também levou a uma possível relação positiva do porquê a China, cujos nativos usam língua tonal, se caracterizar por ter um número imensamente maior de pessoas com ouvido absoluto⁴⁶ do outras regiões e idiomas cujos nativos não dependem tanto da distinção tonal da fala, como a americana (Sacks 2008; Deutsch et al. 2009; Bidelman, Hutka, e Moreno 2013).

Um artigo de 1995 de Gottfried Schlaug com colegas seus mostrou que nos músicos com ouvido absoluto (mas não em músicos sem este), havia uma assimetria exagerada entre os volumes do plano direito e do *planum temporale* esquerdo, estruturas do cérebro que são importantes para a percepção de fala e da música. (Sacks 2008, 137)

Podemos entender a música como um mecanismo que associa características emocionais, às dos ritmos da própria linguagem, ao despertar das memórias, ligando centro reguladores cognitivos e emocionais e estruturas primitivas do cérebro relacionadas com a motivações as recompensas e emoções (Juslin e

⁴⁵ Língua tonal é toda aquela que usa fundamentalmente tons para distinguir palavras. Nestas, uma mesma palavra pode assumir diferentes significados dependendo do tom de suas sílabas. O mandarim padrão — idioma oficial chinês — é um exemplo. Em linguística, tom refere-se à variação da altura do som. Em música, a altura do som é o atributo que permite distinguir sons graves de sons agudos. A expressão é utilizada muitas vezes, de forma errada, numa relação com intensidade do som (variação entre sons fracos e fortes, amplitude).

⁴⁶ Ouvido absoluto é a capacidade de identificar e rotular tons (altura) sem necessidade de um tom de referência (Oechslin, Meyer, e Jäncke 2010).

Sloboda 2010), repercutindo-se isso em estados de regulação de humor (Putkinen, Makkonen, e Eerola 2017), com potencial sentido positivo, isto é bom-humor.

Estes estudos suportam o facto de alguns pedagogos da música e músicos defenderem que imaginar um ensaio, desde que com a intensidade e a focalização comparável à situação de facto, pode ser comparado ao próprio ensaio, repercutindo-se isso nas capacidades e habilidades como se da prática real proviessem. Pascoal-Leone tem mesmo uma frase síntese interessante sobre este fenómeno: “Se não conseguires fazê-lo, pelo menos pensa sobre isso: pratica mentalmente.” (Peretz e Zatorre 2003)

Também a característica do ouvido absoluto, comentada anteriormente, pode, numa dimensão muito relevante, ser encontrada em cegos (tanto com cegueira congénita ou adquirida). Estudos de alguns destes investigadores demonstraram que há uma grande prevalência de ouvido-absoluto em invisuais (Deutsch 2013).

5.9 A música e a evolução

Alguma antropologia tem perspectivado a música, como uma inteligência e uma aptidão especial, nomeadamente biológica, e isso repercute-se até em comportamentos mais primitivos dos humanos e serviu de base para estabelecer determinadas relações entre causa-efeito, especialmente na da evolução e sobrevivência da espécie. Essa conceção, apesar de não expressa literalmente por Darwin, pode ser retirada dos seus textos em *The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex* (A Origem do Homem e a Seleção Sexual), onde propõe que os humanos começaram a usar as notas e os ritmos, isto é, a música, para sedução do sexo oposto (Darwin 1872). Sabemos que a escolha dos parceiros não só se tem feito baseado na força ou na riqueza, mas muito pelos traços de inteligência social e artística. Isto parece confirmar a ideia evolucionista de que a música é um veículo para a criação de vínculos sociais e para a coesão social (Levitin 2007; Morley 2013).

5.10 A música como possibilidade de regeneração

O cérebro desenvolveu-se de uma forma muito seletiva e estruturada, mantendo partes dedicadas a cada uma das necessidades funcionais, não só primitivas — andar, ver, etc., — como também mais elaboradas, ou de âmbito não motor,

como dedução, e também alguma especialização lateralizada (Barber et al. 2012). Mas a prática da música necessita de muitas áreas do cérebro a operar de forma articulada, seja para percepção sonora, seja para planejar e ordenar as ações, seja para organização espacial, controlo e coordenação motora (Gizzi e Albi 2017).

Estudos sugerem que é no hemisfério direito que o processamento das melodias, o reconhecimento de padrões e coerência temática, etc., se processa (Perani et al. 2010; Gizzi e Albi 2017). Contudo, parece que o ritmo se centra mais no hemisfério esquerdo (Limb et al. 2006) e que os músicos percebem a música de forma diferente das pessoas que não a praticam (Thaut, Trimarchi, e Parsons 2014) e que a música e a linguagem tem uma correlação mais evidente, naqueles do que nestes .

Sabemos, a partir de estudos, (Schlaug et al. 2010) que quando se sofre lesões do lado esquerdo pode-se compreender o que está a ser dito e, mais importante neste contexto, cantar, mas não falar... assim foi possível criar programas especiais de reabilitação da fala (Bitan et al. 2018). Os neurocientistas têm mostrado que a música está intimamente ligada com memória e ambas ligadas de uma forma profunda ao sistema emocional (Juslin e Sloboda 2010). Esses fatores têm servido também como base de experiências terapêuticas.

A neuroplasticidade também é um fator que nos interessa particularmente, pois este representa a capacidade do cérebro de se reorganizar de uma forma seletiva e até regenerativa, como redirecionar ou atribuir novas funções a regiões ou partes do cérebro após traumatismos ou lesões cerebrais (Levitin 2007; Grafman e Salazar 2015).

Esta capacidade do cérebro se reorganizar também tem sido importante, para, por exemplo, estabelecer relações entre a cegueira, anteriormente referida, e o ouvido absoluto.

Um terço ou mais do córtex humano é dedicado à visão, e se a entrada visual for repentinamente perdida, pode ocorrer uma reorganização e remapeamento muito extensos no córtex cerebral, (...) longe de permanecer sem função, são realocadas a outras entradas sensoriais, especialmente à audição (...). (Sacks 2008, 175)

A música é tão especial que consegue que pessoas com características, síndromes e estados complexos e de foro neurofisiológico e neuro-psicológico, sejam congénitos ou adquiridos, como Autismo, Williams, Tourette, Parkinson, tenham comportamentos diferentes durante a audição e/ou prática daquela (Seligman e Hilkevich 1992; Kim, Wigram, e Gold 2009; Chiofalo et al. 2012; Bodeck, Lappe, e Evers 2015; Bienkiewicz e Craig 2017; Scataglini 2017).

Por exemplo, um dos sintomas que caracteriza a síndrome de Tourette é a falta de coordenação motora e tremuras repentinas não controladas. Todavia, em contextos de prática musical esses sintomas parecem poder integrar a prática performativa não como um problema, mas como um potencial ao serviço da expressão (Aldridge 1992).

Uma particularidade, também, destes comportamentos é conseguirem, em muitas situações, estabelecer e sublimar relações interpessoais e de inclusão social pelo menos temporariamente, contrariando pressupostos e estigmas relacionados com aquelas características e abrindo hipóteses a estudos para a sua melhor compreensão.

Consequentemente tenta-se estabelecer novos procedimentos e tratamentos que respondam a esses quadros clínicos, muitos deles optando por formas não convencionais baseados em fármacos, mas sim na própria prática e audição da música, da prática dança, do teatro, ou outras formas criativas e interdisciplinares que assentam em várias artes.

6 DEFINIÇÕES RELEVANTES

6.1 Introdução

Para além da caracterização dos estímulos, simultaneamente ancorada em quadros de referência empíricos e teóricos, é importante caracterizar alguns outros conceitos que fazem parte da essência projetual. Emoção e razão, enquanto pilares do comportamento cerebral, mas também memória, porque faz parte dos processos dinâmicos incontornáveis da cognição e do pensamento, e estética, na sua vertente sensorial, mas também racional.

6.2 Emoção

Uma definição objetiva e final de emoção não tem sido postulada consensualmente (Ekman 2016; Freitas-Magalhães 2012; Scherer 2005; Simonov 1986). Mas tem havido perspetivas interessantes, entre a evolucionária, postulada por Darwin⁴⁷, psicofisiológica, como a seminal proposta de William James⁴⁸ de 1884 no manuscrito *What is an Emotion?* (O que é uma Emoção?) na publicação *Mind*

⁴⁷ Darwin reconheceu que o processo de evolução pela seleção natural se aplica não apenas às estruturas anatómicas e ao comportamento expressivo, mas também à expressão emocional.

⁴⁸ Esta teoria propõe que as emoções vêm depois dos nossos corpos reagir e não que as nossas expressões corporais possam refletir as nossas emoções (James 1884) .

(Friedman 2010), neurológica, por Walter Cannon⁴⁹, ou a psicodinâmica, por Sigmund Freud⁵⁰ (Plutchik 2001).

De notar que há autores que fazem subdistinções relacionadas com as Emoções. Por exemplo, Paul Ekman (2003) fala em Emoções (*Emotion*) e Humor (*Mood*), dizendo que são diferentes e que “ambos envolvem Sentimentos.” (2003, 57). Observa que as emoções são muito curtas, durando apenas segundos ou minutos e que podemos ter consciência delas, e que os humores podem durar um ou mais dias e que muito raramente sabemos porque estamos num estado de humor específico.

Diogo Telles Correia⁵¹, quando fala de emoções ou processos relativos, sintetiza-os em glossário assim:

Afeto: padrão de comportamentos observáveis que resultam da expressão de emoções.

Emoção: resposta afetiva de curta duração ao contrário do Humor que é persistente. Pode dividir-se em 3 componentes: componente afetiva (corresponde à vivência de sentimentos em sentido estrito), componente somática (física) e componente cognitiva (pensamento).

Humor: estado afetivo basal do sujeito, sendo o sinónimo de estado de ânimo. Corresponde a uma disposição emocional a longo termo, prevalecte, que dá a tonalidade à forma subjetiva de percepção do mundo.

Sentimento: constitui a experiência subjetiva da emoção, apresenta uma maior duração e estabilidade e não apresenta correlação somática.

⁴⁹ Walter Cannon propôs que as emoções vêm primeiro e as reações físicas depois. O autor cunhou a frase “lutar ou fugir”, que se refere à resposta de animais e pessoas perante uma situação ameaçadora, e relacionado com o sistema nervoso simpático — aquele que, a exemplos, pode acelerar os batimentos cardíacos e dilatar as pupilas.

⁵⁰ Os eventos pelos quais passámos na infância podem permanecer inconscientes, mas têm uma grande influência no desenrolar da vida adulta e moldam a nossa personalidade.

⁵¹ Psiquiatra e Psicoterapeuta, Professor Auxiliar Agregado Faculdade de Medicina na Universidade de Lisboa, autor de, entre outros, *Manual de Psicopatologia De Acordo com o DSM-5*. Lidel, Lisboa, 2014.

Independentemente das variedades de propostas, umas mais alinhadas, outras menos, parece-nos que António Damásio tem sido protagonista de contributos extremamente relevantes no tema, tanto pelas propostas teóricas, como pela observação empírica dos processos do cérebro, que nos interessa em particular.

Damásio distingue emoções de sentimentos, como se fossem fenómenos e epifenómenos. Simplificadamente, propôs que as emoções são as interpretações do cérebro de reações a alterações no mundo. Sugere que, basicamente, existem dois tipos fundamentais de emoção: a primária e a secundária. As emoções primárias são sinónimas de emoções inatas, pré-organizadas ou Jamesianas⁵², cujos processos ocorrem com expressão nos dispositivos subcorticais — por exemplo, amígdala, hipotálamo. As secundárias são aquelas que ocorrem assim que começamos a formar associações sistemáticas entre categorias de objetos e situações, processo em que a componente avaliativa se torna importante e, conseqüentemente, os dispositivos mais subcorticais passam a não ser suficientes. Sugere assim Damásio (2001a) que “a rede deve ser ampliada para incluir a agência de alguns córtices pré-frontais e somatossensoriais.” Isto sugere que os processos emocionais são, de facto, fenómenos complexos que convocam múltiplos processos em vários sistemas e subsistemas do cérebro.

Mas as suas explicações vão mais além. Diz que as emoções são respostas neurais e químicas produzidas em grande parte por dispositivos subcorticais, que se espalham também a regiões corticais mais altas, e que estes podem ser engajados automaticamente, sem deliberação consciente. Que são processos determinados biologicamente, e têm um papel regulatório. Diz também que:

(...) a variação considerável entre indivíduos, a aprendizagem e a cultura alteram as expressões das emoções, dando-lhe novos significados, sem, contudo, negarem a sua essência automática e regulatória fundamental. (Damasio 2001b, 103)

Sublinha ainda, que “todas as emoções usam o corpo — meio interno, vísceras, sistemas vestibular e musculoesquelético — como o seu teatro”, mas que

(...) as emoções também afetam o modo de operação de vários circuitos do cérebro: a variedade das respostas emocionais é responsável por profundas alterações na paisagem do corpo, mas

⁵² Epónimo de William James, que sugeriu essa essência.

também do cérebro. A coleção dessas alterações constitui o substrato dos padrões neurais que, eventualmente, se tornam sentimentos da emoção. (Damasio 2001b, 103)

Continua, sugerindo:

(...) as respostas em relação ao corpo resultam num estado corporal específico e aquelas em direção ao cérebro resultam num modo específico de operação de rede que implica uma mudança no estilo cognitivo. O primeiro produz modificações fisiológicas, muitas das quais são perceptíveis a um observador externo, por exemplo, alterações na cor da pele, na postura corporal e na expressão facial. O último produz mudanças que são na generalidade mais perceptíveis para o indivíduo no qual são ativados. O cerne do fenómeno da emoção pode ser completado por 1) um processo avaliativo mental, que precede as “respostas disposicionais” acima delineadas; e 2) a percepção do sujeito de todas as mudanças induzidas pelas respostas, pelas quais reservo o termo sentimento. A Gama completa do fenómeno da emoção, no seu sentido mais tradicional, inclui, assim 1) avaliação, 2) disposição para responder e 3) sentimento (...). (Damasio 2001b, 103)

Finaliza dizendo que o sentimento, pela sua importância e necessidade de compreensão, merece definição separada. Sugere que:

(...) sentimento é a) uma imagem mental do estado do nosso corpo enquanto pensamentos sobre conteúdos específicos são processados e b) a imagem mental do modo cognitivo com o qual aqueles conteúdos são processados — por exemplo, a taxa a que as imagens são geradas, a intensidade a que elas são atendidas, como participam nos processos inferenciais e escolha das ações, etc. Se uma emoção é uma coleção de alterações de estados do corpo e do cérebro conectados com imagens mentais particulares cuja avaliação ativou um sistema cerebral específico, o sentimento de uma emoção são as imagens dessas alterações em justaposição com imagens mentais que iniciaram o ciclo. (...) As alterações dos estados cerebrais são ativadas por sinais neurais na direção dos núcleos neurotransmissores e neuromodeladores nos sistemas sub-corticais que, por sua vez,

enviam sinais para sítios mais elevados, nomeadamente para a córtex.
(Damasio 2001b, 103)

Finalmente, relembra que a sinalização direta do corpo também afeta as redes cerebrais.

6.2.1 Categorizações e modelos

Conceptualmente a categorização das emoções, e respetivos modelos, tem sido abordada e proposta com diferentes aproximações. Por exemplo, modelo(s) Circumplexo(s) (Plutchik e Conte 1997), incluindo um Cónico Tri-dimensional de Robert Plutchik (2001); Modelo Circumplexo de Afeto, por James Russell (1980); Modelo PANA, Ativação Positiva Ativação Negativa⁵³, por Watson, Clark e Tellegen (1988); Modelo Tri-dimensional da Emoção por Lövheim (2012). Independentemente das suas diferenças, os referentes sugerem um denominador comum na sua essência fundamental: as coordenadas da Ativação, comumente designada de *Arousal*, e da Valia, comumente designada de *Valence*.

A Ativação refere-se simplificada ao nível de “excitação” ocasionado por um estímulo que vai de muito calmo, ou pouco ativado, a muito ativo, ou muito excitado. Valia refere-se simplificada à dimensão positiva ou negativa da ativação (subjetivamente percecionada).

O Modelo Circumplexo de Afeto, proposto por James Russell em 1980, não sendo o único, tem sido um dos mais usados, pensamos que porque a sua conceção e lógica é bastante clara. Este modelo tem sido objeto de refinamento, revisão e validação (Posner, Russell, e Peterson 2005), e o seu uso generalizado sugere que a sua aceitação é consensual.

Este modelo, na sua caracterização fundamental, propõe que, por exemplo, a Raiva tem uma Valia Negativa e uma Ativação Alta, a Ansiedade tem uma Valia Negativa e uma Ativação Baixa, o Entusiasmo tem uma Valia Positiva e uma Ativação Alta e a Satisfação tem uma Valia Positiva e uma Ativação Baixa.

⁵³ PANA - Positive Activation Negative Activation no original em Inglês.

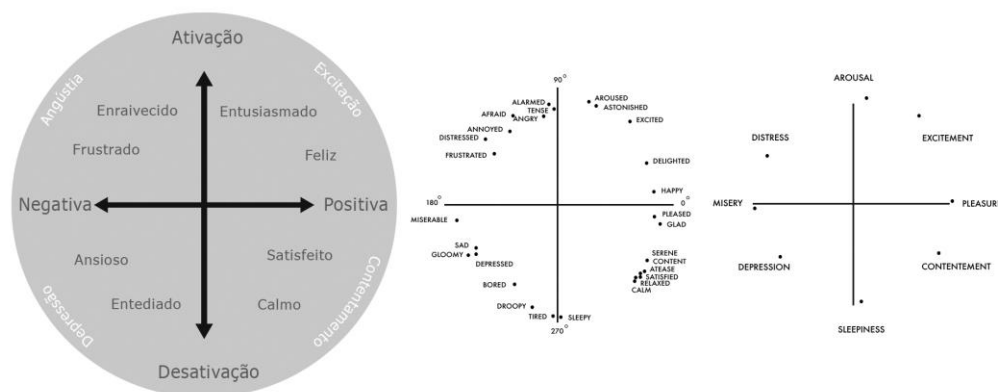


Fig. 14: Diagrama simplificado do modelo de Russel.

À esquerda, o círculo cinza, é uma síntese proposta por nós do modelo. Os dois diagramas à direita são cópia da publicação de Russel (1980) e a sua colocação aqui tem o propósito de transcrever os termos originais para potenciar a interpretação.

6.3 Razão

Algumas partes do plano são mais rotina e requerem pensamentos menos conscientes do que outros, mas sem um plano explícito ou implícito para guiar a requerida sequência dos atos nenhuma letra será digitada. (Ajzen 1985)

Assim como Emoção não tem tido uma definição muito consensual, o termo Razão também tem sido terreno fértil de múltiplas propostas de definição e explicação.

Não sendo do nosso interesse discutir a etimologia da palavra, achamos interessante referir que a origem latina é *ratio*, de *reor* + *-tio*, termo(s) relacionado(s) com avaliar ou computar.

Razoar é, essencialmente, a capacidade de, conscientemente, dar sentido às coisas, aplicar lógica, estabelecer e verificar factos e mudar ou justificar práticas baseadas em informações novas ou existentes, isto é, aquelas embutidas nos dispositivos da memória. Inclui a dedução, que é uma forma de raciocínio em que uma conclusão se segue necessariamente às premissas declaradas. A dedução é geralmente uma inferência do geral ao específico por raciocínio. Inclui também a indução, que é uma forma de inferência que produz proposições sobre objetos

ou tipos não observados, seja especificamente ou geralmente, com base em observações anteriores.

No contexto do nosso projeto, razão, deve ser entendida como volição, isto é o processo intencional e deliberativo não dependente de qualquer estímulo. Melhor ainda, no nosso ponto de vista, o processo deliberativo simultaneamente autónomo, independente de qualquer estímulo, e capacitado de contrariar potenciais eventuais condicionamentos de qualquer estímulo, isto é a capacidade de vetar a execução da ação previamente deliberada. Será uma razão prática.

Já tínhamos visto anteriormente um fluxograma funcional executivo exemplo, mas o não tínhamos relacionado com a ideia de ação razoada de forma substancial. Essencialmente, refere-se ao controlo consciente e efetivo de funções executivas que atuam o córtex motor e as subsequentes ações, baseado em vontade, deliberação e livre arbítrio. Um exemplo simplificado de uma ação razoada é, no nosso esquema, a seguinte sequência: 1) penso “vou tocar um acorde de *Fá Maior* na primeira posição na minha guitarra”; 2) ordeno mentalmente essa ação à minha mão; 3) a minha mão que costuma estruturar os acordes move-se em direção do local da primeira posição em termos de acordes relativa à sua posição em relação ao meu corpo e configura-se na forma relativa ao acorde de *Fá*; 4) a minha mão, já na posição do acorde designado, ajusta a força necessária preênsil da pinça para permitir a produção dos sons; 5) a minha mão que costuma beliscar as cordas, excita as cordas por forma a que estas produzam o som desejado/requerido.

Mas passemos a algum corpo teórico e empírico de referência interessante e importante, nomeadamente no domínio dos processos neurofisiológicos.

6.3.1 Teórica e prática

Antes de mais, duas propostas que nos merecem atenção: a razão teórica e a razão prática. A razão teórica está relacionada com o nosso envolvimento num raciocínio que é dirigido à resolução de questões que são, em certo sentido, teóricas e não práticas, pressupondo a reflexão teórica como raciocínio sobre questões de explicação e previsão (Wallace 2014). Olha para eventos que já ocorreram, pergunta por que ocorreram e olha para os que ainda não ocorreram e tenta determinar o que irá acontecer. Também importante será dizer que:

A Razão Teórica trata os problemas de forma impessoal que são acessíveis, por princípio, a qualquer pessoa. O raciocínio teórico, entendido neste sentido, encontra uma expressão paradigmática nas ciências naturais e sociais. (Wallace 2014)

A razão prática tem um ponto de partida normativo. Pergunta o que se deve fazer ou o que seria melhor fazer a partir de um conjunto de alternativas de ação, nenhuma das quais ainda executada. Não se preocupa com questões de facto e a sua explicação, mas com questões de valor, daquilo que seria desejável fazer (Wallace 2014). No raciocínio prático, os agentes tentam avaliar e ponderar as suas razões de ação e levar em conta as considerações a favor e contra as alternativas de ação que estão abertas perante si, fazendo-o do ponto-de-vista da primeira-pessoa, aquele que é definido em termos de dilema prático em que se encontram (Wallace 2014).

Mas interessa-nos também propostas que integram conceitos de intenção e autonomia programática. A exemplo, Libet, no seu trabalho seminal *Unconscious cerebral initiative and the role of conscious will in voluntary action* (Iniciativa cerebral inconsciente e o papel da vontade consciente na ação voluntária) propõe:

um ato é considerado intencional quando (a) surge endogenamente, não em resposta direta a um estímulo ou sinal externo; (b) não existem restrições ou compulsões impostas externamente que controlem direta ou imediatamente o início e a realização do ato pelos sujeitos; e (c) mais importante, os sujeitos sentem introspectivamente que estão realizando o ato por iniciativa própria e que estão livres para iniciar ou não iniciar o ato como desejarem. A significância do ponto (c) é nitidamente ilustrada no caso de estimular o córtex motor (giro pré-central) em humanos acordados. (Libet 1993)

Ainda nos merece referir propostas que falam sobre a dinâmica e interação de subsistemas e processos e as implicações que uns possam ter nos outros. Os programas executivos são processos dinâmicos que implicam interação de diversos sistemas subcorticais e corticais, incluindo alguns relacionados com as emoções, as motivações a recompensa. Uma das explicações é, a exemplo a possível articulação realizada pelo córtex cingulado, que é visto como uma interface neural entre emoções, sensações e ação, porque é caracterizado por uma grande presença de ligações anatómicas entre si e aquelas funções. Hayden e Platt sugerem:

A centralidade do processamento motivacional e emocional para a função cingulada é destacada pelas suas fortes e recíprocas conexões com os centros de recompensa do cérebro, incluindo o córtex Orbitofrontal, os gânglios da base e, no caso do Córtex Anterior Cingulado, a ínsula. O Córtex Anterior Cingulado é um dos principais alvos dos neurónios dopaminérgicos mesencefálicos, que respondem a uma variedade de parâmetros relacionados com a recompensa. Além disso, o Córtex Anterior Cingulado está reciprocamente ligado à amígdala, uma coleção de núcleos que participam na atribuição de valência positiva e negativa a eventos. Entradas motivacionais e emocionais para o Córtex Anterior Cingulado podem ser comunicadas diretamente ao Córtex Cingulado Posterior através de conexões recíprocas maciças entre estas duas regiões. (Hayden e Platt 2009, 887)

E continuam propondo:

Tanto o Córtex Anterior Cingulado quanto o Córtex Cingulado Posterior estão reciprocamente conectados ao Córtex Pré-frontal Lateral, uma região envolvida no controlo executivo, na memória operacional e na aprendizagem e expressão de regras. As fortes conexões entre o Córtex Cingulado e Córtex Pré-frontal Lateral sugerem que aquela serve como porta de entrada para incorporar informações relacionadas à recompensa em mapeamentos sensório-motores servidos pelo Córtex Pré-frontal Lateral. (Hayden e Platt 2009, 887)

6.4 Memória

Os sistemas de memória são cruciais e incontornáveis para o cérebro. Sem estes o cérebro funcionaria defeituosamente ou estaria mesmo incapacitado de operar, pelo menos eficazmente para a entidade que o hospeda. O processo mnémico cerebral permite adquirir, integrar, reter e recuperar informação.

Uma das funções mais intrigantes e complexas do cérebro é a sua capacidade de armazenar informações fornecidas pela experiência e recuperá-las pela vontade. Sem esta habilidade, muitas das suas funções não podem operar. O processo pelo qual novas informações são adquiridas pelo sistema nervoso e memorizadas pelo

mecanismo de armazenamento e/ou recuperação dessas informações é a aprendizagem. Fascinante e importante também é a capacidade normal de esquecer informação (Purves et al. 2004).

Assim como não há um consenso absoluto relativamente à categorização dos fenômenos de emoção e razão, e ao que estes compreendem na totalidade, os fenômenos da memória também têm merecido discussões sobre a sua essência e sobre a sua categorização. Independente disso, há designações e propostas estabilizadas.

O que é memória? Podemos assumi-la como um conhecimento que está guardado algures (Greene 2005). Em parte, é um conhecimento passivo, memória passiva, que tem de ser transformado em memória ativa assim que necessário. O armazenamento é dinâmico e o recrutamento é também dinâmico.

6.4.1 Categorias e tipos de memória

A taxonomia da memória tornou-se tão abstrata que desafia o próprio armazenamento mnésico. (Mackay 2011, 241)

O termo memória pode designar um número de conceitos diferentes, entre, por exemplo, “capacidade neuro-cognitiva de codificar, armazenar e restaurar (descodificar e recuperar), informação”, “hipotético armazém onde a informação é guardada”, “memória enquanto informação guardada naquele armazém” (Tulving e Craik 2005). Um dos primeiros cientistas a propor a divisão da memória em sistemas foi William James⁵⁴ em 1890. Distinguiu entre memória primária, que via como associada à fisicalidade, mas também a uma consciência ativa, mesmo que momentânea, e a memória secundária ou memória adequada, relacionada com a incisão a longo-prazo, as memórias duráveis, ou o “é o conhecimento de um antigo estado da mente depois de já ter caído da consciência.” (James 1890, I:648)

Há pelo menos dois grandes sistemas diferentes de armazenamento de informação. O designado de memória declarativa e o designado de memória procedimental (Purves et al. 2004).

A memória declarativa é um tipo de memória a longo-prazo que armazena factos, informações gerais e episódios ou acontecimentos pessoais. É caracterizada por

⁵⁴ 1849-1910.

estar disponível para o processamento consciente (Squire 2009). O armazenamento e recuperação de material que está disponível que pode ser expresso pela linguagem. Por isso se denomina de declarativa (Purves et al. 2004), (Tulving e Craik 2005, 545) Esta subdivide-se em memória episódica e memória semântica. Veremos mais à frente algumas características.

A memória procedimental é caracterizada por não estar disponível para a consciência, pelo menos em detalhe (Purves et al. 2004; Squire 2009). Estas envolvem habilidades e associações que são em grande parte adquiridas e recuperadas ao nível inconsciente.

Exemplos de memória declarativa são: lembrarmo-nos de uma canção, uma imagem de um evento passado ou um número de telefone. Exemplos de memória procedimental são: lembrarmo-nos de como cantar a canção, como inspecionar a cena do evento ou como digitar o número de telefone. Não é fácil lembrarmo-nos de como fazemos estas coisas e não estaremos conscientes de memórias particulares durante a sua execução. Curiosamente, provocar um pensamento consciente sobre a execução das coisas pode inibir a habilidade de as fazer de maneira imperturbável e eficiente (Purves et al. 2004).

No que concerne a categorias temporais podemos falar de dois grandes tipos: memórias de curto-prazo e memórias de longo-prazo.

6.4.2 Memórias de curto-prazo

“A memória sensorial refere-se à memória de curta duração dos detalhes sensoriais dos eventos. Isso pode incluir como as coisas pareciam, soavam, sentiam, cheiravam e provavam.” (Cowan 2008a) É um tipo de memória que tem origem nos sentidos. Podemos, por isso, falar de memória sensorial auditiva, visual, olfativa, tátil. Se a informação for atendida pode passar a um outro estágio de memória de curto prazo caso contrário perde-se. Evidência de vários procedimentos sugere que existem duas fases da memória sensorial nas modalidades visual e auditiva (assim como em outras modalidades): uma fase literal, de curta duração, com cerca de 250 ms, e uma segunda fase, mais longa, com duração de vários segundos (Cowan 2008a).

A memória de trabalho⁵⁵ refere-se aos processos cognitivos envolvidos no armazenamento e manipulação temporária de curto prazo e manipulação de representações mentais. Contém três componentes primários: um *loop*⁵⁶ fonológico, um bloco-de-notas visuoespacial e uma central executiva (Mulligan 2008; Gathercole 2008). É como um bloco-de-notas que pode ser usado para gravar material útil por breves momentos conforme a necessidade surge no decurso das atividades cognitivas diárias. É um recurso valioso e extremamente flexível, mas limitado e frágil. O material, para além de poder ser facilmente interrompido, pode-se perder e uma vez perdido não pode ser recuperado (Gathercole 2008; Cowan 2008b). Está associada com a atenção (Mulligan 2008). Miller sugeriu (1956) que podemos conservar na memória de curto-prazo cerca de 7 elementos (mais ou menos 2). Contudo, investigações mais recentes sugerem que o número “mágico” é de 4 independentemente do treino, foco da atenção ou da utilização de estratégias como agrupamento (Cowan 2010). Os processos da memória de trabalho estão ligados a descargas neuronais em sítios dos córtices pré-frontal e pré-motor. Existe a potenciação de curta duração que é um mecanismo relacionado com uma maximização da potencia dos impulsos mais nas sucessões rápidas de potenciais de ação (Mackay 2011).

⁵⁵ A memória de trabalho é frequentemente usada de forma intercambiável com a designação memória de curto prazo. Contudo alguns autores sugerem uma separação. Postle (Postle e Pasternak 2009) propõe que: “a memória de curto prazo se refere à retenção ativa (para humanos, o “manter na mente”) de informações quando não é acessível a partir do contexto. A memória de trabalho pode ser considerada como uma memória de curto prazo+, onde + se refere à capacidade de manipular ou de outra forma transformar essa informação, protegê-la perante interferências e usá-la ao serviço de comportamentos de alto nível, como planeamento, raciocínio e resolução de problemas.” Cowan (2008) propõe que a memória de trabalho não é completamente distinta da memória de curto prazo e que esta inclui aquela.

⁵⁶ *Loop*, enquanto ideia de circularidade. É um mecanismo especializado para a retenção de informações verbais por curtos períodos. Consiste em dois componentes: 1) armazenamento, de curto prazo, que se deteriora rapidamente, e 2) mecanismo de repetição (treino, do inglês *rehearsal*) que permite realimentar e fortalecer o material na memória e resgatar as informações verbais. Estas não se perdem “desde que o treino se mantenha.” (Mulligan 2008)

6.4.3 Memórias de Longo-Prazo

A potenciação de longo prazo é um incremento dos potenciais excitatórios pós-sinápticos desencadeados pelos pré-sinápticos. Funciona por maximização associativa, onde os neurónios que disparam em conjunto ligam-se entre si (Mackay 2011).

A memória episódica contém a memória dos eventos que vivemos pessoalmente. É autobiográfica. É um diário mental com os episódios vividos por nós. Serve, por exemplo, para declararmos quando fizemos o primeiro concerto, ou quando vimos a Torre Eiffel pela primeira vez. Permite que uma pessoa reviva um evento a partir da perspectiva da primeira pessoa, ou seja, permite viajar num tempo mental (Mulligan 2008). A memória episódica sobrepõe-se ao conceito de memória explícita porque apoia a lembrança consciente e intencional do passado.

A memória semântica está dedicada ao corpo organizado de conhecimento geral sobre o mundo (Mulligan 2008). É como uma enciclopédia-dicionário mental com informações abstraídas do espaço e do tempo não relacionadas com episódios pessoais. É relacionada com conceitos, categorias, definições, ideias, vocabulário e factos (Mulligan 2008). Permite-nos declarar articulados como “a minha guitarra tem um timbre particular”. Diferencia-se da memória episódica pela sua natureza despersonalizada. Recuperar informações da memória semântica equivale a recuperar factos em vez de reviver episódios anteriores.

Memória e conhecimento são análogos. Judith Greene usa os termos conhecimento declarativo e conhecimento procedimental de forma intermutável com memória declarativa e memória procedimental, (Greene 2005) sugerindo, como exemplo, que a:

Memória Declarativa é equivalente às estruturas do conhecimento e inclui conhecimento semântico e episódico que se constituem como um emaranhado de unidades cognitivas em forma de redes que contêm informação semântica e episódica. (Greene 2005, 129)

As memórias são os pilares do conhecimento e um mecanismo imprescindível para os processos de raciocínio. O seu armazenamento depende de vários fatores, nomeadamente o contexto, a época da sua perceção e a importância que damos aos seus constituintes, aqueles que o nosso sistema sensorial receciona, sejam

visuais, sonoros, olfativos ou tácteis. Por exemplo, a valia, isto é, se lhe atribuímos subjetivamente valor positivo ou negativo, ou o nível de ativação, isto é, a amplitude da excitação ocorrida no momento da codificação e armazenamento, são cruciais para a profundidade, perenidade e potencial clareza em eventuais ou necessárias recuperações e utilizações futuras.

Se o armazenamento é dinâmico o recrutamento é também dinâmico e dependente de muitas condições, nomeadamente de desafios-tarefas conscientes, mas também de pistas-estímulos, muitos dos quais fora do alcance da consciência e faz-se articulando vários arquivos permanentes e temporários. As memórias estão em arquivos múltiplos. O córtex temporal inferior parece servir como arquivo de memórias visuais de longo prazo. Por exemplo, o córtex pré-frontal tem “controlo executivo sobre a evocação mnésica” (Mackay 2011, 247) abrindo uma via fronto-temporal que ativa o inferior temporal para recrutar a lembrança voluntária de uma imagem (Mackay 2011).

6.5 Estética

Se há uma vastidão de questionamento e propostas sobre os conceitos de emoção e razão, sobre estética isso agiganta-se.

6.5.1 Conceitos e teorias

Há algumas teorias interessantes no que concerne à forma como os objetos e eventos artísticos podem impactar a sua experiência por parte de quem os testemunha ou relaciona de alguma forma, entre as que se explicam por conceito de gosto, imediatismo ou desinteresse. Shelley (2017), articulando postulados e elementos históricos, filosóficos e empíricos, dá-nos uma visão geral sobre o conceito de estética em quatro grandes vertentes. 1) objetos estéticos, conceito que está relacionado com uma visão formalista dos objetos artísticos, que propõe que as suas propriedades relevantes são meramente formais — características, relações e combinações de constituintes —, onde estas propriedades formais são usualmente inteligíveis meramente por via da visão ou audição; 2) julgamento estético, julgamento com base na aplicação de princípios, como, a exemplo: o objeto artístico que tem X é melhor porque tem X; A tem X; nesse sentido, A é melhor porque tem X, assentem esses princípios em lógica, construção crítica razoada, retórica e/ou em consensos de classe e/ou institucionais; 3) atitude estética, conceito que se refere a possibilidades de, dando alguns exemplos, atenção,

alheamento, distanciamento, aproximação, desinteresse, interesse, simpatia, aceitação, etc., por parte da testemunha em relação ao objeto ou evento artístico; e 4) experiência estética que, fundamentalmente, se refere às possibilidades de a experiência ser interna (internalismo), que a relaciona com características fenomenológicas, internas à própria experiência, e externa (externalismo), que a relaciona com características externas à experiência, geralmente características do objeto experienciado.

O nosso projeto não tem uma relação fundamental com a totalidade das argumentações e propostas teóricas no domínio da estética e, por isso, não nos alargaremos neste tema. Mas é crucial fundamentar a nossas sugestões a partir de alguns elementos retirados da leitura de algumas argumentações e teorias.

Antes de mais, falemos um termo relevante: córtex somestético⁵⁷, o outro nome para córtex somatosensorial (Standring 2015) que continua presente nas mais recentes versões da paradigmática obra *Gray's Anatomia* (Standring 2010). O facto de existir este termo denota uma ligação umbilical do conceito estética aos mecanismos corticais da sensação. Isto é, uma relação estímulo-causa sensação-efeito.

A primeira teoria estética de qualquer escopo é a de Platão, (Wilson 2013) principalmente pela sua introspeção filosófica sobre arte e beleza e uma possibilidade de descobrir o vocabulário e as questões do que seria posteriormente designado de estética (Pappas 2016). Aristóteles relacionou a sensação⁵⁸ com a cognição⁵⁹, mas enfatiza que esta não equivale a conhecimento⁶⁰ (Fine 2014).

Independentemente do termo estética derivar da palavra grega *aisthanomai*, que denota “eu percebo” (Wilson 2013) foi Alexander Gottlieb Baumgarten na sua tese de doutoramento *Meditationes Philosophicae de Nonnullis ad Poema Pertinentibus* (Meditações Filosóficas Sobre as Questões da Obra Poética), de

⁵⁷ Tradução de Somaesthetic Cortex. Os dicionários definem a somestesia assim: sensibilidade corporal, com origem nas suas diferentes partes, incluindo músculos, articulações, pele e órgãos internos e a percepção da posição, deslocamento, equilíbrio, peso e distribuição do próprio corpo e das suas partes, isto é o sentido da cinestesia (propriocepção).

⁵⁸ *Aisthêsis*.

⁵⁹ *Gnôseis*.

⁶⁰ *Epistêmê* (no sentido de conhecimento teórico).

1735, que usou pela primeira vez este termo numa relação com a hipótese do conhecimento pela via sensorial. Diz:⁶¹

O Filósofo, que medita (...) tem uma maior ligação à razão imposta pelos sentidos. Assim a Estética (...) seria adequada do que a lógica.

Baumgarten, 1735 — (§CXVII) (p 41) —

Baumgarten procedeu com trabalhos sobre a Estética, com argumentações sobre o conhecimento sensorial, à qual dedicou *Aesthetica*, 1750-58⁶². Na sua obra *Metaphysica*, de 1779, definiu o gosto, em seu sentido mais amplo, como a capacidade de julgar de acordo com os sentidos, em vez de segundo o intelecto. O julgamento de gosto sugeriu-o como baseado em sentimentos de prazer ou desprazer (Baumgarten 1779, 149) (§451).

Em Immanuel Kant⁶³ existe uma componente racional na estética, mesmo que não explícita. Neste autor, um juízo estético é um julgamento baseado no sentimento e, em particular, no sentimento de prazer ou desprazer, mas propõe o julgamento, mesmo que espontâneo e implicitamente desinteressado, puro, como a faculdade de pensar o particular dentro do universal. (Ginsborg 2014) Theodor Adorno⁶⁴ discorda que haja satisfação desinteressada que a apreciação é baseada em julgamento crítico. Propõe que recorremos a juízos críticos para compreender os objetos artísticos, objetos cuja importância reside na dialética entre conteúdo e forma (e também na relação dinâmica sócio-histórica à qual pertencem) (Zuidervaat 2003). Ou seja, havendo juízo crítico, tem de haver um processo racional.

Pierre Bourdieu diz mesmo que não há estética pura, propondo mesmo que o gosto, ou a declaração de gosto — puro, impuro, inteligível, etc., — é de classe. Ou seja, podemos considerar a sua estética como aquela baseada não numa imediatez provida pelas sensações, mas antes num processamento mental intelectual.

⁶¹ Traduzido de: Philosophus, ut meditatur, ita proponit, hinc in proponendo nullae aut paucissimae peculiare regulae observandae. Terminos non curat, qua sunt soni articulati, eatenus enim pertinent ad αἰσθητα. Horum maiorem habere tenetur rationem sensitive proponens, hinc aestheticae pars de proponendo prolixior esset quam logicae..

⁶² Considera-se que *Aesthetica* foi realizada em 2 volumes (The Editors of Encyclopaedia Britannica 1998), mas o título de 1758 é *Aestheticorum pars altera* (Baumgarten 1758).

⁶³ 1724-1804.

⁶⁴ 1903-1969.

Roland Barthes⁶⁵, em *The Pleasure of Text* (O Prazer do Texto) fala mesmo em “prazer intelectual” (Barthes 1978, 10).

Há outras propostas dedicadas a esta fenomenologia, nomeadamente algumas numa ancoradas nas neurociências. Por exemplo, em *Art, Aesthetics, and the Brain* (Arte, Estética e o Cérebro) (Huston et al. 2015) Edmund Rolls (Rolls 2015) sugere a experiência estética da seguinte forma:

A minha proposta é que o sistema do razoar (racional) também contribui para o valor estético de várias maneiras. Faz com que objetivos de longo-prazo sejam atrativos. Introduce o objetivo adicional de que a inovação é atraente (...); (...) essa música toca não apenas nos nossos sistemas emocionais, mas também nos sistemas que proporcionam prazer intelectual, porque se colocam problemas estruturais difíceis e complexos, e soluções para esses difíceis problemas estruturais são proporcionadas, o que proporciona prazer estético (Rolls 2015, 472).

Há mesmo uma área de neuroestética onde emana um renovado interesse nas várias dimensões nesta matéria. Há, também, outras propostas alternativas, mas, essencialmente, as bases gerais aqui colocadas, nomeadamente as que alinham por estética sensorial e estética intelectual servem para contextualizar o tema também com algumas das nossas perspectivas que colocaremos a seguir.

6.5.2 Estímulos e estética

Há muitos estímulos (mesmo que com predicados específicos) que podem desencadear o processo estético. Por exemplo, a observação de artefactos artísticos. Está fora dos nossos objetivos elencar características da arte que contribuem para o processo estético. Mas há alguns aspetos interessantes que podemos colocar aqui em perspectiva.

Parece haver propriedades nos objetos, visuais e/ou sonoros, inerentes a eles mesmos, que são processados e privilegiados universalmente e cujo uso e primazia parece estar mais relacionado com processos biológicos básicos, universais e comuns a todos os seres humanos e não com variações culturais e/ou conheci-

⁶⁵ 1915-1980.

mentos específicos adquiridos e/ou idade. A simetria parece ser um destes elementos. Esta apela à atenção visual — fixação — de forma mais relevante em comparação com a não simetria, e isso independentemente da idade ou da preferência estética pela simetria (Huang et al. 2018). Na área do som, parece haver intervalos musicais, como a oitava e a quinta perfeita⁶⁶, que têm presença privilegiada e sistemática na música de culturas e regiões muito diferentes e diversas (Morley 2013; M. R. Jones, Fay, e Popper 2010; Gill e Purves 2009; Wallin e Merker 2001).

Hideaki Kawabata e Semir Zeki (2004), fizeram um estudo em que tentaram detectar quais as zonas cerebrais que se ativavam perante a visualização de objectos artísticos classificados como neutros (*neutral*), belos (*beautiful*) ou feios (*ugly*), usando Imagiologia funcional por Ressonância Magnética (fMRI). Os objetos eram classificados naquelas categorias pelos participantes previamente. Os resultados mostraram que zonas cerebrais envolvidas com a recompensa são ativadas. Mas, muito relevante, mostraram também que quando um estímulo é percebido como feio (*ugly*) ativava o córtex motor com mais expressão do que quando o estímulo é percebido como belo (*beautiful*). Isto pode significar que os circuitos cerebrais de reação relacionados com a sobrevivência são ativados. Aliás, resultados que alinham com outros de alguns autores que Kawabata e Zeki analisam no seu estudo.

Mas parece que o estar presente num lago, ou escutar um riso de uma criança ou presenciar um pianista virtuoso, também pode desencadear este fenómeno (Dutton 2009).

A observação mediada pela lógica e descodificação por análise intelectual de uma equação matemática pode desencadear o fenómeno estético — uma espécie de prazer intelectual — assim como perceber um objeto musical mediado pela análise racional — eventualmente avaliando a genialidade da construção do tema, a virtuosidade e/ou mestria técnica da interpretação, entre outras possibilidades

⁶⁶ A quinta perfeita, ou justa, é, na série harmónica, o terceiro harmónico, cuja frequência é três vezes a fundamental. O segundo harmónico, cuja frequência é o dobro da fundamental, é a oitava. A vibração de, a exemplo, uma corda de uma guitarra, gera um som que não é puro, isto é, que não é uma onda periódica única. É a combinação de múltiplas frequências puras, denominados de parciais ou harmónicos — uma série de harmónicos. É, assim, uma sequência de sons puros, cuja frequência de cada parcial é um múltiplo, integral, do som fundamental, ou frequência mais grave (Roederer 2008; Helmholtz 1895).

— o poderá (Sinclair 2004; Bannister e Eerola 2017; Hennion 2012; Kubovy 1999). Mas a música pode provocar o fenómeno estético por uma perpetração não mediada por análise consciente e lógica. Um impacto sem filtros (Juslin e Västfjäll 2008). Uma perpetração que por mais lógica que se lhe aplique não se consegue justificar com objetividade axiomática e sincera. Ou seja, os objetos e/ou atos artísticos podem ter predicados recrutadores do fenómeno estético que não dependem, eventualmente da mediação intelectual. Isto é, provocarem diretamente o fenómeno estético, sem filtros, seja pela decisão de os não aplicar, ou, mais radical, mas possível também, pela impossibilidade de os aplicar (Winkielman, Berridge, e Sher 2011; Diano et al. 2017; Sklar et al. 2012; Peretz et al. 2009).

6.6 Estética emocional e/ou racional

Parece, então, depois de olhar para alguns dos argumentos que lemos sobre os possíveis mecanismos estéticos, que o impacto estético se pode dar pela via de uma apreciação de base sensorial, independente de qualquer juízo de valor e que pode não chegar ao consciente, mas que também se pode dar por uma apreciação intelectual. Mas também inferido pelo que lemos nestes parágrafos dedicados à estética, podemos dizer que o facto de o processo se basear no razoar dos elementos em apreciação não o isenta do fenómeno emocional. A atribuição de valor às coisas, mesmo dependendo de uma lógica vertical e inflexível, e deliberadamente atenta ao condicionamento emocional, tem subjacente uma modelação que poderá envolver memórias cuja incisão teve incontornavelmente processos emocionais envolvidos, nomeadamente aqueles produzidos pelos mecanismos do prazer, mesmo que não conscientes. Podemos, então, dizer que a estética será um processo dinâmico entre processos emocionais e cognitivos (Cela-Conde et al. 2013; Perlovsky 2014).

7 LIMITAÇÕES, IDIOSSINCRASIAS E MITOS DO EEG E DO CÉREBRO

7.1 Falácias do EEG

Paul Nunez, professor emérito em engenharia biomédica e uma das autoridades referência no fenómeno elétrico do cérebro e da eletroencefalografia, tem no seu livro partilhado com Ramesh Srinivasan *Electric Fields of the Brain: The Neurophysics of EEG* (Campos Eléctricos do Cérebro: A Neurofísica do EEG), , (Nunez e Srinivasan 2006) um capítulo deveras sugestivo denominado de *Fallacies in EEG*⁶⁷. Aqui, expõe exemplos relevantes sobre pressupostos e entendimentos arbitrários e aproximações a esta disciplina, utilização inadequada de matemática no processamento de dados, entre outras sugestões, e podemos depreender que, apesar do conhecimento acumulado ao longo do tempo e das tecnologias e métodos terem vindo a evoluir, há questões que não têm soluções perfeitas e isso acarreta sempre problemas de objetividade.

E algumas destas questões prendem-se com a própria natureza fisiológica. Por exemplo, a amplitude eléctrica captada na superfície do epicrânio depende da topologia do córtex cuja superfície é, como vimos, caracterizada por convoluções e sulcos, isto é, irregularidades, como se de um terreno se tratasse, com planaltos permanentemente intervalados por vales profundos, tendo essa característica um impacto significativo na posição e orientação dos emissores da electricidade — neurónios, populações de neurónios e dipolos. As fontes corticais podem ser vistas, na generalidade, por camadas de dipolos com força meso-fonte (mesosource) que varia em função da zona cortical (Nunez e Srinivasan 2006). O EEG é mais sensível às camadas de dipolos nas coroas das convoluções, menos sensível às residentes nos sulcos, e insensível àquelas que estão em camadas

⁶⁷ Falácias no EEG, capítulo 2, página 56.

opostas dentro dos sulcos e também nas camadas aleatórias (Nunez e Srinivasan 2006).

Há também uma outra questão que nos merece destacar: a do “problema inverso”. Esta questão reside no facto de que não é fácil delimitar os locais específicos das fontes da eletricidade. O EEG é bom como descodificador temporal, mas não é bom como informador dos locais de ocorrências, isto é, não é bom a dizer os locais precisos onde os sinais elétricos têm origem (Nunez e Srinivasan 2006).

Os neurónios geram eletricidade no processo pós-sináptico. Mas a eletricidade gerada por células singulares é, como vimos, demasiado ténue para poder ser detetado à superfície. O EEG denota de uma forma escalar a eletricidade que gerada por dipolos consequência de populações de neurónios que disparam em sincronia, e não células sozinhas, pois só assim os dipolos são suficientemente potentes e passíveis de serem captados. Mas é importante referir que os dipolos acontecem no tecido extracelular e que os vários tecidos e agregados celulares e extracelulares potenciam a propagação intra-cortical do fenómeno elétrico.

Isto significa que a captação pelos sensores-elérodos é permanentemente contaminada por vários fatores como, como exemplos, proximidade de emissores mais potentes relativamente aos sítios de interesse, variações significativas de amplitude que ocorrem em zonas cerebrais mais profundas em simultâneo com as de superfície. Ou seja, os sítios de interesse podem ser difíceis ou impossíveis de isolar com EEG porque são mascarados por potenciais originados noutras regiões cerebrais (Nunez e Srinivasan 2006).

O EEG será, assim, uma aproximação. Uma aproximação tanto à verdadeira amplitude e variação da eletricidade como também aos sítios onde esta ocorre e não a sua verdadeira grandeza ou a sua localização exata.

7.2 Problema de generalização anatómica

Não há dois cérebros iguais, nem mesmo de gémeos monozigóticos (Bruder et al. 2008; de Manzano e Ullén 2018). A diversidade cerebral humana é evidente mesmo após processos de normalização (Chen et al. 2013). Ora, mesmo que seja a níveis micro coloca problemas de construção de atlas, que, por princípio devem

ser baseados em denominadores comuns e marcas-padrão, por forma a possibilitarem um conhecimento comum, pragmático e reproduzível em vários cenários.

Um outro estudo usando digitalização por Tomografia Computorizada para comparar e aferir a relação dos sítios corticais reais com os sítios padrão do sistema 10-20 que é usado como base fundamental para colocação dos elétrodos nos regiões-de-interesse do EEG, concluiu que a “variabilidade de colocação cortical de elétrodos observada é notável” (Homan, Herman, e Purdy 1987). Isto é, verificou-se que as estruturas corticais podem não estar relacionadas com os sítios dos elétrodos de forma confiável.

Este problema também tem impacto na captação de EEG e, conseqüentemente, na caracterização desta o que pode significar conclusões erradas sobre os processos e estados mentais. Mais à frente veremos que a diversidade estrutural é mais vasta, desconhecida e que pode mesmo colocar questões de padronização fenotípica.

7.3 O mito do cérebro normal padrão

Christopher Seed, um dos primeiros pianistas conhecidos e documentados a tocar piano invertido, próprio para canhotos encomendou, em 1997, à Poletti and Tuinman Fortepiano Makers, Holanda, um piano que respondesse a essa necessidade (talvez o primeiro alguma vez construído). Mas, para além de tocar de forma competente nessa condição-característica este extraordinário pianista, também toca o piano “normal”, isto é, aquele para os convencionalmente denominados de destro, igualmente com competência similar.

Originalmente a sua aprendizagem foi nesta convenção. Sugere, entretanto, que sente que toca mais instintivamente e consegue uma expressão de determinadas partes mais interessante no piano da mão dominante — em *The Reversed Musicians*⁶⁸ (Ho 2013).

Em 2006, Lutz Jäncke (Jäncke et al. 2006) fez um estudo usando Imagiologia de Ressonância Magnética e testes neurológicos, na tentativa de descobrir como o pianista C.S. (a denominação do participante em estudo), que era profissionalmente competente em ambos os pianos — regular e reverso — utilizava as áreas

⁶⁸ Os Músicos Inversos (observando o significado “oposto ou contrário a uma condição anterior ou normal.”

Em Dicionário Merriam-Webster: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/reverse>).

especializadas para o controlo motor, integração motora-auditiva, percepção auditiva, transferência de informação inter-hemisférica, entre outros. Entretanto, entre várias conclusões o estudo sugeriu que o seu corpo caloso tinha uma “cablagem” muito mais densa do que os pianistas “normais” e dos que as pessoas que não praticam piano. O estudo dessas conclusões foi apresentado em Lisboa, no dia 25 de maio de 2013, no simpósio *Music, Poetry and the Brain: Celebrating Wagner’s Bicentennial* (Música, Poesia e Cérebro: Comemorando o Bicentenário de Wagner) por Lutz Jäncke e documentado por nós.

No seminal estudo de 1995 publicado Michael Gazzaniga (1995) sobre cérebros divididos⁶⁹ os autores que estudaram sistematicamente pessoas cujo Corpo Caloso foi cortado. Os estudos, que tiveram réplicas (Gazzaniga 2000; Wolman 2012) sugeriram muitos aspetos interessantes, nomeadamente alguns inesperados em relação à percepção e cognição, dos sujeitos com Cérebro-Dividido. Como, como exemplos, podem mover os seus braços com a coordenação e a precisão suficientes para tarefas como assemblagem de modelos pequenos; denotam dissociação espacial, não denotam dissociação temporal. Descobriram ainda que cada hemisfério pode iniciar movimentos sacádicos. Que, apesar da ausência de um corpo caloso, o hemisfério pode monitorar a amplitude de sacadas iniciadas pelo outro hemisfério, mesmo quando não há feedback visual disponível. Mas outros aspetos completamente imprevistos emanaram. Por exemplo, que pacientes comissurotomizados podiam coordenar dois programas espaciais conflitantes, enquanto os controlos normais mostravam-se debilitados. Isto sugeriu que “os mapas espaciais associados a um movimento poderiam ser localizados e isolados em cada hemisfério separado. Independentemente das possibilidades de debilitação estrutural e possíveis complicações no que concerne a especialização de áreas é relevante esta depreensão:

Para o paciente de cérebro dividido, cada hemisfério percebia um problema que permanecia separado da informação percetual apresentada ao outro meio cérebro; assim, cada hemisfério percebia uma tarefa muito mais simples. Os resultados foram claros: o paciente com cérebro dividido superou os indivíduos normais. O paciente de com o corpo caloso seccionado beneficiou do facto de que o arranjo percetual sob uma das condições de teste não parecia ser mais difícil porque o trabalho foi distribuído para cada hemisfério separado,

⁶⁹ Split-brain, na sua forma original em inglês.

mesmo que o arranjo sensorial fosse idêntico àquele experimentado pelos sujeitos normais. (Michael S. Gazzaniga 2000, 1302)

E, finalmente, que os familiares, amigos e pessoas próximas não notam nenhum razoar anormal ou *deficit* de teoria-da-mente que é a capacidade de prever as ações dos outros pela via do razoar e depreender a estrutura causal rica e complexa, mas invisível, de pensamentos, emoções, desejos, crenças e intenções dentro das suas cabeças (Gweon e Saxe 2013; Byom e Mutlu 2013).

Albert Einstein⁷⁰ disse que os seus pais, quando ele era criança, estavam preocupados com o facto de ele ter começado a falar tardiamente e que chegaram mesmo a consultar um médico por esse motivo. Sabe-se também que teve o peculiar comportamento de repetir para si, baixinho, “notando-se pelos lábios, cada frase que dizia.” (Weinstein 2015, 21)

Quando este icónico cientista morreu, em 17 de abril 1955, o patologista Thomas Harvey, do Hospital de Princeton, onde o físico morreu, roubou-lhe o cérebro⁷¹, (Burrell 2004) Não se sabe a motivação real do feito. O que se sabe é que levou o cérebro para casa, desmontou-o em 240 partes e preservou-o em celoidina⁷² em dois frascos na sua casa.

Independentemente das circunstâncias e problemas, a proeza permitiu que o cérebro fosse estudado pela comunidade científica⁷³, ora observando as partes, ora estudando a fotos de qualidade que, entretanto, começaram a circular. Entre propostas consensuais e menos consensuais, houve uma série de publicações que sugerem características dignas de nota (Witelson, Kigar, e Harvey 1999; T. Clark, Williamon, e Aksentijevic 2011; Falk 2009; Weinstein 2015) neste contexto: a área Brodmann 39 do hemisfério esquerdo tinha marcadamente uma proporção baixa entre neurónios e células de glia; não tinha mais neurónios na generalidade

⁷⁰ 1879–1955.

⁷¹ Para além de ter roubado o cérebro, retirou os olhos e deu-os a Henry Abrams, oftalmologista do icónico cientista.

⁷² Composto derivado da piroxilina, usado em solução de álcool e éter para embeber preparados para exame microscópico.

⁷³ Segundo Ronald Clark (Clark, 2011), que escreveu uma biografia do físico, Albert Einstein sugeriu que o seu cérebro deveria ser usado para investigação, mas queria ser cremado e não queria ser adorado. Pediu que suas cinzas fossem espalhadas secretamente para desencorajar a idolatria. Nem mesmo queria que a casa dele fosse um museu local de peregrinação.

do que a média (controles), mas tinha mais astrócitos na área parietal esquerda inferior; a sua superfície cortical não denotava nada de fora do normal, mas as regiões dos córtices motor e somatosensorial, e perto destes, eram incomuns e a comissura de Sílvio (Sylvian) era estranhamente anormal, ausente. Entre outras observações.

Isto permitiu o aparecimento de várias propostas de correlações e especulações sobre alguns aspetos particulares de Einstein: a fala tardia, a agilidade matemática; a sua preferência por “pensar” pela via de impressões sensoriais, por imagens em vez de palavras, e o seu gosto e atividade musical com o violino.

7.4 Problemas funcionais na perspetiva de segmentação

Na racionalização e formulação de pensamento abstrato, “evidência contemporânea sugere que o sulco intraparietal desempenha o principal papel nas tarefas aritméticas” (Ardila 2010), mas muitas outras áreas são ativadas nessas tarefas, nomeadamente a superfície cortical superior, a parte anterior do giro frontal médio esquerdo, o giro bilateral supramarginal e angular, os córtices pré-frontal e pré-motor dorsolateral esquerdo, a área de Broca e o córtex parietal inferior; ainda as regiões occipitotemporais parietais esquerda e inferior (Ardila 2010). Ou seja, as capacidades de cálculo “envolvem uma habilidade multimodal, incluindo verbal, espacial, memória, de corpo e de função executiva.” (Ardila e Rosselli 2002). Parece que as tarefas aritméticas envolvem uma diversidade de áreas cerebrais e processos dinâmicos, que tanto operam recorrendo a memórias declarativas como memórias episódicas, enfim, que é “um processo distribuído, no qual os seus correlatos neurais são fortemente influenciados por fatores como estratégia e prática.” (Battista 2013). Ou seja, formulação multi- e inter-modal, multi- e inter-região, dinâmico e não linear.

7.5 Problemas de acesso a áreas significativas

Há regiões de interesse para os estudos e implementação de sistemas EEG/BCI, que não estão acessíveis de forma equitativa. Por exemplo, a área do córtex auditivo primário, e significativamente os dipolos relativos, reside na circunvolução temporal superior “encapsulada” no topo da fissura lateral depois da dobra exterior, isto é, internamente e profundamente, não à superfície e, ainda, não paralela ao epicrânio (*ver Fig. 4*). Isto quer dizer que o acesso a esta área não é igual ao acesso que se tem, a exemplo, à área sensorial topo-relativa dos dedos

das mãos, que reside acima daquela, mas já na região central, à superfície e paralelamente ao couro-cabeludo. Isto quer dizer que é impossível uma amplitude EEG equivalente e isso não colocaria problemas se todas estas regiões não gerassem permanentemente e em simultâneo sinal elétrico.

7.6 Complexidade de eletrogênese no fluxo comportamental

De acordo com Kandel (2013), experiências sistemáticas mesmo com outras técnicas além do EEG, por exemplo, Tomografia por Emissão de Positrões, denotam a seguinte sequência: quando um dedo é pressionado repetidamente contra uma mola, é detetada uma incrementação do fluxo de sangue nas áreas relacionadas com o controlo da mão no córtices motor primário e sensorial. O incremento na área motora é relacionado com a execução da resposta, conquanto o incremento na área sensorial reflete a ativação dos recetores periféricos. Durante uma sequência de movimentos de dedo complexa o incremento no fluxo de sangue estende-se à área pré-motora medial, que inclui a Área Motora Suplementar e a Área Motora Pré-suplementar. Durante um treino mental da mesma sequência sugerida no parágrafo anterior, “o fluxo de sangue aumenta somente na área motora medial” (Kandel 2013, 773), isto é aquela que reside já mais no interior do córtex.

Mas o cérebro está sempre a gerar eletricidade, em todos os sítios, a todos os momentos. Exemplo de um movimento deliberado de um polegar implica uma série de eventos encadeados: 1) o Córtex Pré-frontal envia sinais para o Córtex Pré-motor, o que é detetado pelo EEG; 2) o Córtex Pré-motor envia sinais para o Córtex Motor, o que também é detetado pelo EEG; 3) o Córtex Motor envia sinais para o Sistema Eferente, o que é detetado pelo EEG; 4) os eferentes levam sinais aos Efetores; 5) os Efetores provocam o Comportamento; 6) o Comportamento é detetado pelos Sensores; 7) os Sensores enviam sinais para o Sistema Aferente; 8) os aferentes enviam sinais para o Córtex Sensorial, o que é detetado pelo EEG, enquanto sinalização de entrada de informações; 9) o Córtex Sensorial recebe sinais dos aferentes, o que é detetado pelo EEG, enquanto entrada sustentada de sinais; 10) o Córtex Sensorial envia sinais para o Córtex de Associação Primária, o que também é detetado pelo EEG, enquanto saída de sinais; 11) o Córtex de Associação Primária recebe sinais do Córtex Sensorial, o que é detetado pelo EEG; o Córtex de Associação Primária envia sinais para o Córtex de Associação de Alto-nível, também detetado pelo EEG, à saída dos sinais; 12) o Córtex de Associação de Alto-nível recebe sinais do Córtex de Associação

Primária, o que resulta em EEG na entrada dos sinais; 13) o Córtex de Associação de Alto-nível envia sinais para o Córtex Pré-frontal para monitorizar a ação, o que é detetado pelo EEG.

O sinal EEG parece, assim, ser “complexo no qual várias oscilações coexistem durante um dado contexto comportamental.” (Niedermeyer e Silva 2005b, 33) . A geração dos potenciais EEG tem provado ser extremamente complexo e difícil de compreender (Niedermeyer e Silva 2005b, vi).

7.7 Génese elétrica por outras células e outras regiões

Atribuiu-se à glia durante muito tempo uma única função, de suporte, “cola”. Contudo, mais recentemente (Gomes, Tortelli, e Diniz 2013), têm surgido evidências de que as células de glia podem controlar a função e génese sináptica, nomeadamente excitatória, tanto no Sistema Nervoso Central quanto no Sistema Nervoso Periférico e ter um contributo na rede neuronal mais importante do que aquele entendido até há poucos anos (Araque e Navarrete 2010). Também interessante sublinhar de que no cérebro humano são aproximadamente 10 vezes mais frequentes do que os neurónios, e que têm um papel fundamental na homeostasia cerebral regulando as concentrações locais de iões e neurotransmissores (Araque e Navarrete 2010). Finalmente são progenitores neurais, isto é, importantes para as células estaminais (células-tronco). Concluindo, estas células fazem parte da massa cinzenta extra-neurónios, mas interage com os processos elétricos, nomeadamente na génese e propagação.

Até mesmo o cerebelo parece ter um papel mais relevante em tudo isto. Estudos sobre dismetria, uma perturbação na coordenação/regulação eficaz dos movimentos musculares provocada por lesão do cerebelo, sugerem que este tem um papel muito relevante para os processos cognitivos e emocionais, ao ponto de um dos investigadores mais relevantes ter denominado de dismetria-do-pensamento. (J. D. Schmahmann e Sherman 1998; Jeremy D Schmahmann 1998) Em boa verdade um papel mais relevante do que aquilo que se pensava (Sullivan 2010), pois ao cerebelo tem-se atribuído, fundamentalmente, o controlo motor fino, a coordenação e monitorização de movimentos. E as suas operações introduzem dimensões no EEG (Peterburs et al. 2015) que não estão muito estudadas nem compreendidas.

7.8 A possibilidade de ausência das ondas Alfa

Muitos estudos que propuseram a presença e os fenômenos das ondas Alfa também sugeriram que entre 10 a 15% da população não denota, pelo menos claramente, o fenômeno Alfa olhos-abertos / olhos-fechados (Aich 2014), aliás, uma evidência já proposta nos primeiros anos de implementação de sistemas EEG por cientistas como William Gray Walter (Nebylitsyn e Gray 2013; Walter 1953).

7.9 Problemas de contextos-estímulos contingentes

Vivemos com o que nos rodeia por fora, mas vivemos também com o que nos “rodeia” por dentro. Ou melhor rodeamos, enquanto residência, um autêntico universo de microrganismos — seres vivos, entre bactérias, vírus, fungos, etc., — população também denominada de microbiota, que nos habitam simbioticamente e do qual dependemos desde o ventre, na formação, na ontogênese e manutenção celular, na saúde e, conseqüentemente, no comportamento (Willyard 2018; Kennedy et al. 2016). Nós somos constituídos por células “autóctones”, mas também de células alienígenas e, parece (Gallagher 2018), em mais de 50%.

E estes organismos que nos habitam, interagem entre si e com o contexto (entre as nossas entranhas, mas também na pele, etc.) e, admiravelmente, num número que ultrapassa as nossas próprias células (A. Abbott 2016). Ou seja, somos mais micróbios do que humanos. E eles, entre benignos, mas também patogênicos, habitando-nos, influenciam-nos sistematicamente e de forma ubíqua (Kennedy et al. 2016). Há indicativos (Smith 2015; Kennedy et al. 2016) que o seu aniquilamento, a sua falta, a sua diversidade, implica, potencialmente, perturbações emocionais, entre leves indisposição ou problemas maiores como depressão ou mesmo doenças físicas graves.

Parece que o sistema digestivo é governado pelo sistema nervoso entérico — também conhecido com o segundo cérebro (Gershon 1999) — e que pode operar sozinho (Purves et al. 2001), mas sabe-se que está permanentemente a comunicar com o cérebro pela via do nervo vago, também designado de nervo pneumogástrico, e isso, esta será uma das vias pela qual o microbioma terá impacto nos processos do cérebro (Mayer et al. 2014; Collins e Bercik 2009).

7.10 Problemas de evocação e articulação de memórias e conceitos

Muitas pessoas já experimentaram o que se designa, em linguagem popular, de "uma branca". Isto é, uma falha de evocação de um termo, um nome, uma palavra ou um conceito. Ora essa incapacidade, mesmo que temporária, implica mecanismos inesperados e introduz ruído no processamento. A distribuição semântica é, estudos sugerem (Huth et al. 2016) mais ubíqua do que aquilo que se pensava até recentemente, mesmo que a hipótese de distribuição já fosse sugerida (Patterson, Nestor, e Rogers 2007).

Os conceitos, os termos e as imagens, estão distribuídos por vários armazéns de memória. Necessitam de ser articulados para que o pensamento, e a lógica, seja plena e efetiva. Curiosamente muitas das memórias que são instrumentais a esses processos não chegam à consciência (Squire e Dedee 2015).

7.11 Inter-contaminação dinâmica e ubíqua

Os estados emocionais intensos são acompanhados de excitação autonómica que é conhecida por, a exemplo, prejudicar a capacidade da memória de trabalho, que também é necessária na articulação da razão. Ou seja, há evidência de que as emoções influenciam os processos racionais (Winkielman, Berridge, e Sher 2011; Pham 2007; Winkielman e Berridge 2004) e, nesse sentido, o comportamento cerebral em várias dimensões por consequência.

O nosso cérebro está permanentemente exposto a interferências. Uma emoção de medo, pode ser de nível primitivo, como uma reação a um estímulo tipo estalido inesperado só por nós percebido, ou um contexto desconhecido pode ser um superestímulo. Deliberar sem interferências de processos só será, eventualmente, possível se detetarmos as interferências. Mas, muitas vezes os nossos sensores detetam "coisas" que nunca nos chegam à consciência não sendo possível a colocação desses contingentes sob quarentena ou promover a sua eliminação. Há mesmo *emoções*⁷⁴ que andam connosco durante muito tempo, uns mais evidentes, que até são visíveis a terceiros, como aqueles evidenciados pela nossa expressão corporal (Winkielman, Berridge, e Sher 2011), e podem ter emanado de várias circunstâncias, como, a exemplo, da interação social. Mas mesmo inibindo expressões de irritação isso não elimina o estado emocional implícito,

⁷⁴ Lembramos das possíveis subdistinções das emoções vistas no Capítulo 6.2 Emoção.

interno. As emoções resistem, mesmo que temporariamente, para além do(s) estímulo(s) que as provocaram (Lazarus e Lazarus 1996).

A dinâmica entre estímulos, emoções e razão, coloca assim problemas não fáceis de entender e estudar, nomeadamente no que concerne a vastidão dos processos e o que estes significam e implicam no comportamento cerebral e, consequentemente, no comportamento humano. Voltemos a Damásio:

O aspeto da mente que domina a nossa existência, ou assim parece, diz respeito ao mundo em nosso redor, real ou lembrado pela memória, com os seus objetos e eventos, humanos e não, representados por uma miríade de imagens de todas as faixas sensoriais, muitas vezes traduzidas em linguagens verbais e estruturadas em narrativas. E, no entanto, um no entanto notável, existe um mundo mental paralelo que acompanha todas essas imagens, muitas vezes tão subtis que não exigem nenhuma atenção para si, mas ocasionalmente tão significativas que alteram o curso da parte dominante da mente, às vezes de forma arrebatadora. (Damásio 2018, 99)

7.12 Problemas de percepção e interpretação da tecnologia

Têm emergido notícias sobre a possibilidade de os sistemas EEG/BCI permitirem o acesso invisível, não declarado e não permitido ao cérebro e, consequentemente, a dados privados da mente e da individualidade dos sujeitos que os usam (Tomlinson 2018). A interpretação sobre esse potencial não é nova e tem fomentado discussões sobre o real alcance dessa possibilidade e sobre as implicações que isso pode representar nomeadamente éticas (Klein e Nam 2016; Bonaci e Chizeck 2013; Wolpe 2007). Podem surgir problemas de auto condicionamento por auto-entendimento e/ou sugestão subjetiva sobre a tecnologia e as suas capacidades reais, isto é, por medos — medos estes que podem até ser infundados e injustificados (Schneider, Fins, e Wolpaw 2012). Há publicações que, observando isto desaconselham mesmo os investigadores ou pessoas que estão à vontade com esta tecnologia a usar termos como “leitura da mente”, “controle da mente” ou “aprimoramento” (van Erp, Lotte, e Tangermann 2012).

7.13 Problemas de desenho e ergonomia das interfaces EEG/BCI

O desenho, constituição, construção e ergonomia das interfaces EEG/BCI portáteis também são fatores a observar pois podem ser problemáticos. Por exemplo o número de elétrodos EEG é importante para a possível detecção de determinados estados e processos mentais e usá-los instrumentalmente (Srinivasan 2012). Um dos exemplos mais óbvios: se a interface tiver só um elétrodo frontal, nunca poderá servir para detetar Assimetria Alfa Frontal⁷⁵ já que esta depende de, pelo menos, dois sensores, um em cada hemisfério nas respetivas regiões frontais (para além do sistema de referência). O conforto e a facilidade de uso também são fatores a considerar. A rigidez das armações e/ou dos elétrodos podem ter impacto sobretudo no uso de longa-duração das interfaces. Também, a necessidade de aplicação de pastas ou fluídos condutores nos elétrodos em algumas interfaces, aquelas que não são equipadas com elétrodos secos, e o tempo necessário para a calibração dos sistemas, sobretudo dos que usam aquelas pastas ou fluídos, pode ser problemático (van Erp, Lotte, e Tangermann 2012).

7.14 Cérebros superiores ou inferiores

Aristóteles disse: Nenhum grande gênio existiu sem uma mistura de insanidade⁷⁶(Lúcio Aneu Séneca^{77 78}).

Na série *Neurological Disorders in Famous Artists*, um conjunto de livros publicados pela Karger Medical and Scientific Publishers, Basileia, Suíça, com edição de Julien Bogousslavsky et al. (2005, 2007, 2010), descrevem-se um vasto número de casos de artistas que nos mostram que mesmo as lesões, as disfunções, as doenças do cérebro e de outras estruturas nervosas, entre acidentes vasculares cerebrais, epilepsias, demências, depressões, traumas ou neuro-sífilis terciária (Dutta 2011), podem estar na origem de uma criatividade e produção invulgar — ou alteração dramática da produção depois do seu emergir. As enxaquecas e a demência de Kant, a sífilis de Nietzsche, a epilepsia de Dostoiévski, a sífilis e a afasia de Baudelaire, a depressão e o humor afetivo bipolar de Van Gogh, parecem ter sido condições fundamentais para a sua extraordinária criatividade.

⁷⁵ Um dos métodos usados para detecção de emoções.

⁷⁶ Original latim: Nullum magnum ingenium sine mixtura dementiae fuit.

⁷⁷ c. 4 a.C–d.C 65.

⁷⁸ Em *De Tranquillitate Animi* via Nisard, 1869 (Seneca 1869, 346) e Kiaga (2014).

Estes contingentes associados à exponenciação da criatividade não são exclusivos de uma área, pois tem havido muita investigação e publicação sobre o tema na relação com criatividade científica. Isaac Newton⁷⁹ seria um deles. Para além de histórias que podem ser mais ou menos exageradas, ou menos verdadeiras, investigadores sugerem que Newton sofria do transtorno maníaco-depressivo e os seus períodos de fertilidade mental estavam correlacionados com alterações de humor a roçar a mania (hipomania) (Lieb e Hershman 1983).

Parece, entretanto, que até pode haver condições genéticas associadas a essas condições. Em 2009, investigadores da Universidade Semmelweis, Hungria, publicaram novas descobertas sobre a Neuregulina 1 (Kéri 2009). O NRG1, que codifica a Neuregulina 1, é um gene associado com a esquizofrenia com a diminuição da ativação das regiões frontal e temporal e aumento do desenvolvimento de sintomas psicóticos (Hall et al. 2006). Através de testes convencionais padronizados que ajudam a inferir criatividade e, posteriormente, recolhas de ADN para verificação das condições genéticas dos participantes, os investigadores húngaros chegaram à conclusão de que o gene da Neuregulina 1 tem um impacto significativo na criatividade.

Interessante ainda, para fechar o tema, o caso extraordinário do físico cosmólogo Stephen Hawking⁸⁰, a quem foi diagnosticado aos 21 anos Esclerose Lateral Amiotrófica, uma doença relacionada com a degradação dos neurónios motores, e vaticinado com dois anos de vida aquando deste episódio, cuja produção científica teórica foi tão frutífera que nos coloca questões difíceis de responder sobre a sua condição e sobre o eventual impacto desta na sua incomum criatividade e produtividade científica.

⁷⁹ 1643–1727.

⁸⁰ 1942-2018.

8 O PALCO DO CÉREBRO

8.1 Teatro anatómico

O questionamento e investigação sobre o cérebro, como este é, como funciona e para o que serve é milenar. É uma história de tentativas e práticas de observação direta, pela via do seu dismantelamento, ora *post mortem* ora *in vivo*, e/ou pela observação indireta, estudando os comportamentos dos seus hospedeiros — humanos e outros animais — e pela introspeção. Todos eles nos trouxeram conhecimento fisionómico, entre objetivo, mas também subjetivo e especulativo, e propostas da lógica e fluxos funcionais interessantes, também entre uns mais objetivos e outros que, à luz do nosso conhecimento atual, são verdadeiramente inusitados e de uma imaginação extrema. Alguns desses postulados, independentemente da subjetividade, geraram, contudo, pistas sobre aspetos que só séculos mais tarde se vieram a verificar como possibilidades efetivas, reais, da lógica operativa do cérebro.

Como veremos mais à frente, no Capítulo 8.2 *Narrativas elétricas*, foi a descoberta do fenómeno elétrico celular e, mais precisamente, aquele que ocorre no cérebro, que veio proporcionar um salto sem precedentes numa compreensão mais alargada das funções do cérebro, já que é o fenómeno elétrico o grande meio transmissão de comunicação entre as suas componentes e aquele que denota a sua lógica funcional de rede e o seu estado fundamental. Quando um cérebro não denota génese elétrica está inoperativo, isto é, está morto, mesmo que persista com alguns constituintes que possam estar numa condição que possa ser considerada, em termos biológicos, não morta, por exemplo, irrigação sanguínea ativa. Nesse sentido, não iremos desenvolver muito sobre a história da caracterização arquitetónica do cérebro, mas é relevante transcrever alguns marcos históricos dessas observações que nos trouxeram um conhecimento considerável.

8.1.1 Uma longa história de objetividade e subjetividade

Os historiadores sugerem que a primeira vez que uma designação relativa ao cérebro surge data de cerca de 3.000 anos a.C. e terá origem egípcia. Algumas dessas referências, como as convoluções (“metal corrugado” (Finger 2001)) estarão no *The Edwin Smith Surgical Papyrus* (O Papiro Cirúrgico de Edwin Smith), adquirido em 1862 na cidade de Luxor por Edwin Smith⁸¹, quando se pensava que foi Alcmeão de Crotona⁸² a primeira pessoa a escrever sobre o cérebro (Finger 2001).

São Tomás de Aquino disse que Aristóteles (século IV a.C.), que realizou vivisseções de animais vivos, propôs que o coração era o órgão mais importante e aquele que estava envolvido com a origem e a expressão das emoções (Martensen 2004) e considerava o cérebro um órgão secundário, que servia como um sistema de arrefecimento do coração e onde o espírito circulava livremente. O espaço onde os espíritos se encontravam seria o *sensus communis*, a origem do termo senso comum. Postulou que não há nada no intelecto que não haja nos sentidos.

Entretanto, Herófilo de Alexandria⁸³ anatomista grego, conhecido como pai da anatomia, é acusado de ser protagonista, juntamente com o seu contemporâneo Erasítrato de Chio⁸⁴ de uma das maiores controvérsias da história da anatomia: ter realizado vivisseções de seres humanos vivos. (Finger 2001; Bay e Bay 2010) Herófilo deu um papel aos ventrículos, tendo colocado a alma no quarto. Pensa-se também que foi nesta época alexandrina que se produziram as primeiras ilustrações anatómicas (Clarke, Dewhurst, e Aminoff 1996).

Por volta do século segundo, Rufus de Éfeso⁸⁵ descreve o cérebro e suas partes, os nervos, o olho e suas partes, designando o quiasma ótico de *chi*⁸⁶, (Bergman e Afifi 2016) atribuição possivelmente baseada na sua forma em X, e insistiu na pragmatização de uma nomenclatura clara para a anatomia (Bujalkova 2011).

⁸¹ 1822–1906. Edwin Smith foi egiptólogo.

⁸² Século V a.C.

⁸³ 335 a.C.–280 a.C.

⁸⁴ 310 a.C.–250 a.C.

⁸⁵ c. 70 d.C.–c. 110 d.C.

⁸⁶ Letra grega para X, mas também parte de “chiasma” como designação usual de conexão cruzada.

Galeno⁸⁷, o maior anatomista da Antiguidade, que estudou sobretudo animais, não alinhava pelas ilustrações porque achava que a observação direta lhe daria informações mais claras e objetivas sobre as estruturas e as suas relações.

Os ventrículos foram vistos como células na Idade Média e fundamentaram a doutrina da célula nos séculos quarto e quinto. As várias cavidades acomodavam várias funções. Por exemplo, a primeira célula estaria relacionada com o *sensus communis* e a imaginativa. A segunda estaria relacionada com *aestimativa* e *cogitativa*. A terceira com a *memorativa*. (Clarke, Dewhurst, e Aminoff 1996)

Esta doutrina durou muitos séculos, pois já estávamos em 1619 quando Robert Fludd⁸⁸ publicou *Tomus Secundus De Supernaturali, Naturali, Praernaturali et Contranaturali Microcosmi história, in Tractus tres distributa* (Tomo Segundo Da história do Microcosmos Supernatural, Natural, Para além do Natural e Contranatural: distribuído em três Tratados) (Fludd 1619), onde esta essência conceptual ainda estava patente. Mas a conceção de Fludd ainda inclui sugestões mais inusitadas e imaginativas, como a correlação entre as células, endo-sistemas, com o exterior, exo-sistemas.

⁸⁷ 199 a.C.–129 a.C.

⁸⁸ 1574–1637.



Fig. 15: A concepção de Robert Fludd sobre o cérebro em 1619.

Podemos ler as suas várias propostas sobre as funções de carácter endógeno, mas também a possibilidade de estas terem uma relação com o universo exterior (Fludd, 1619).

Mas antes de Fludd, Leonardo da Vinci⁸⁹ tinha sido mais pragmático e a suas observações anatómicas diretas levaram-no à produção de algumas das ilustrações relevantes da história da anatomia. Por essa altura também Andreas Vesalius⁹⁰ publica *De Humani Corporis Fabrica*⁹¹ (Bataille et al. 2007; Vesalii 1543) também com ilustrações que se tornaram referência na história do acesso à arquitetura do cérebro. Contudo, estas ainda mais mimésis-absoluta, conquanto Leonardo, que também era artista, denotava em algumas das suas representações especulação sobre a caracterização das funções.

⁸⁹ 1452–1519.

⁹⁰ 1514–1564.

⁹¹ O Dispositivo do Corpo Humano.

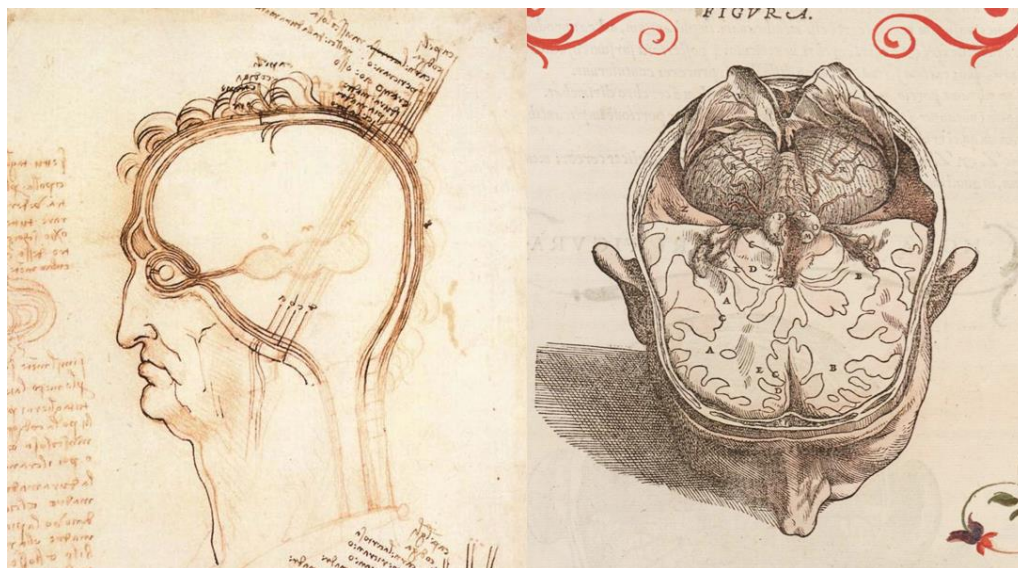


Fig. 16: Diagramas de Leonardo e Vesalius.

À esquerda um dos desenhos de Leonardo da Vinci (n/d).

À direita uma das representações em *De Humani Corporis Fabrica Libri Septem* (figura 8, pag. 613) de Andreas Vesalius, que denota um corte pelas convoluções e exposição do cerebelo.

Curiosamente, não se sabe muito bem quem ilustrou a obra de Vesalius. O que se sabe é que ele disse. O'Malley, (Clarke, Dewhurst, e Aminoff 1996, 53) cita-o assim:

Já não vou ter que alinhar mais com o mau humor de artistas e escultores, que me fizeram mais miserável do que os corpos que eu estava dissecando.

É no já no século XIX, em 1844, que aparece uma das obras mais significativas da história da anatomia: o *Traité Complet de l'Anatomie de l'Homme Comprenant la Médecine Operatoire*⁹², obra em 8 volumes considerada magnífica pela Société des Beaux-Arts de Paris⁹³ (*Annales*, 1854), publicada pelo anatomista francês Jean-Baptiste Marc Bourguery⁹⁴, mas iluminada pelo artista Nicolas

⁹² Tratado Completo de Anatomia do Homem Compreendendo a Medicina Operatória.

⁹³ Sociedade de Belas-Artes de Paris.

⁹⁴ 1797–1849.

Henri Jacob⁹⁵, também francês, para a qual produziu 725 pranchas litografadas, num total de 3.750 figuras individuais, de uma acuidade mimética invulgar⁹⁶.

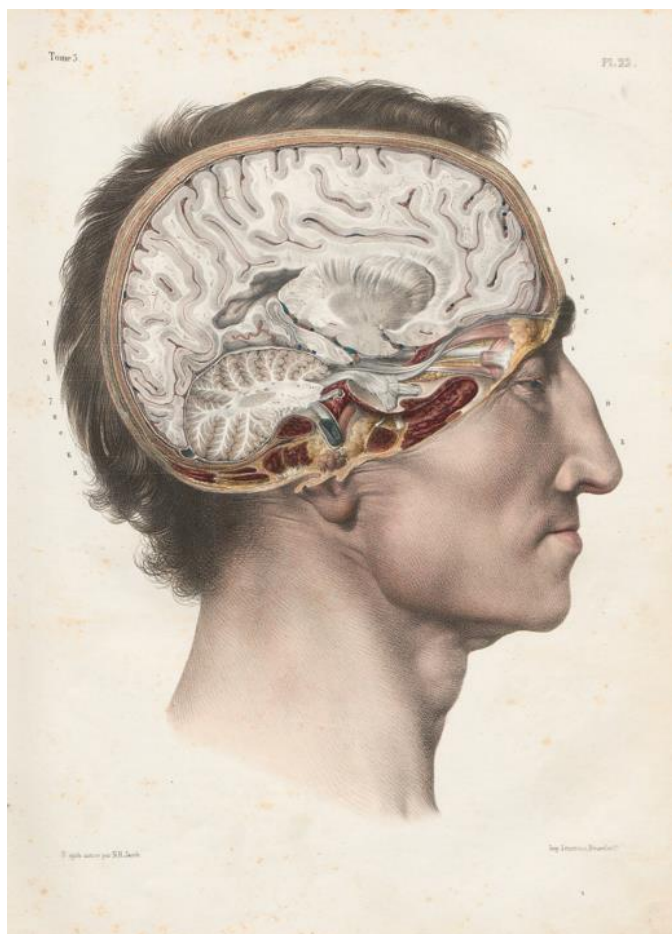


Fig. 17: Ilustração de Nicolas Henri Jacob para o tratado de anatomia de Bourguery.
Traité Complet de l'Anatomie de l'Homme Comprenant la Médecine Operatoire, Tomo III, prancha 22
(Bourguery, 1844)

Ainda no início do mesmo século ideias de localização cortical começaram a ter uma atenção mais elevada por parte da comunidade científica. É por essa altura que aparece a Frenologia, uma proposta que correlacionava as faculdades men-

⁹⁵ 1782–1871.

⁹⁶ Henry Grey (1827–1861), também publica, em 1858, a primeira versão da que viria a ser uma das publicações referência de anatomia. O ilustrador foi Henry Vandyke Carter (Richardson 2009).

tais, o carácter dos indivíduos com sítios do cérebro, mas através das protuberâncias e geometria do crânio — ancorava-se também numa visão etnológica — tendo por um dos seus grandes defensores e divulgadores Franz Joseph Gall⁹⁷.

O mapeamento era tão especulativo que, a exemplo, propunha nas zonas dos olhos as faculdades de linguagem e cálculo. Estas propostas mantiveram-se no ativo até ao início do século XX, apesar das grandes descobertas, entretanto feitas, e da refutação por parte de cientistas⁹⁸.

Entretanto, a precisão anatómica cortical é elevada ainda no século XIX por Louis Pierre Gratiolet⁹⁹, que realiza as primeiras descrições precisas dos lobos e fissuras cerebrais e circunvoluções. Distinguiu também zonas primárias e secundárias baseadas na sua aparência filogenética e adotou a terminologia do fisiologista alemão Friedrich Arnold¹⁰⁰ sobre a divisão do cérebro em frontal, parietal, occipital, temporal e insular, mais tarde descritas com bastante acuidade e detalhe por Alexander Ecker¹⁰¹ (Ribas 2010).

O seu trabalho ainda teve impacto em Paul Broca¹⁰², cirurgião e antropologista, que descreveu pela primeira vez relações topográficas craniocerebrais, introduzindo o conceito de localizações cerebrais, entre as quais a área de Broca, relativa à área motora da fala, pelo que é conhecido (Ribas 2010). Broca também defendia alguma relação entre tamanho dos cérebros e a inteligência, uma tese rebatida por Gratiolet (Ribas 2010; Parent 2014).

Já no século XX, em 1909, Korbinian Brodmann¹⁰³ parcelou o córtex e estudou os sulcos e as convoluções com particular detalhe descrevendo as suas características citoarquitónicas e mieloarquitónicas. É a ele que se deve a parcellação em 52 partes corticais, que passaram a ser conhecidas como áreas de Brodmann.

⁹⁷ 1758—1828.

⁹⁸ Devemos referir que, independentemente desta aproximação, Gall tinha conhecimento dos constituintes interiores do cérebro e do seu potencial de organização (circunvoluções, etc.), pois uma sua publicação de 1810 isso sugere (Gall e Spurzheim 1810).

⁹⁹ 1815–1865.

¹⁰⁰ 1803–1890.

¹⁰¹ 1816–1887.

¹⁰² 1824–1880.

¹⁰³ 1868–1918.

Foi um dos grandes contributos para o entendimento moderno do cérebro (Clarke, Dewhurst, e Aminoff 1996).

Há muito que se andava a mexer no cérebro para se tentar perceber a que áreas corticais, entre as convoluções e os sulcos, poderiam estar correlacionadas com áreas e membros do corpo. E tendo havido alguns contributos dos cientistas que o precederam é Wilder Graves Penfield¹⁰⁴ (Penfield e Boldrey 1937) que, já tendo em mãos técnicas de estimulação elétrica mais sofisticadas, estuda em mais detalhe esse tema, pela via de estimulação intracortical. Em 1937 publica um dos mais famosos estudos do século XX relativo a essa problemática, onde desvenda o Homúnculo¹⁰⁵ (1937, 432).

Pelo meio, Claude Bernard¹⁰⁶, o maior e mais inflexível promotor do método científico na medicina do século XIX (LaFollette e Shanks 1994), mostrou-nos a importância da neuroquímica e sugeriu o conceito de sinapse quando revelou, por via da vivisseção, como algumas substâncias químicas¹⁰⁷ tinham efeitos específicos sobre parte do sistema nervoso, mas ao nível de uma interface entre o nervo e o músculo (Bennett 2014). O termo sinapse, e uma descrição mais elaborada e consentânea com uma conceção próxima da atual foi, entretanto, proposto por Charles Scott Sherrington¹⁰⁸ em 1897 na publicação *A Text Book of Physiology*¹⁰⁹ (Foster 1897; Bennett 2014).

Ainda de extrema relevância, Santiago Ramón y Cajal¹¹⁰ traz-nos mais conhecimento fundamental pela via de uma decodificação mais precisa dos constituintes que são os grandes protagonistas do fenómeno químico e elétrico: os

¹⁰⁴ 1891–1976.

¹⁰⁵ Que tivemos oportunidade de ver no subcapítulo 2.2.2. Homúnculos.

¹⁰⁶ 1813–1878.

¹⁰⁷ Fez experiências com curare, uma substância que tem uma ação paralisante sobre a sinapse neuromuscular. Parece ter sido Walter Raleigh o primeiro europeu a ter conhecimento da ação do curare quando em 1595, na sua expedição à América do Sul, na região do Orinoco e Alto Amazonas, obteve dos índios uma pequena quantidade (Silva Jr 1945).

¹⁰⁸ 1857–1952.

¹⁰⁹ Um Livro de Texto de Fisiologia.

¹¹⁰ 1852–1934.

neurónios. Em 1887, por sugestão de Luis Simarro Lacabra, psiquiatra e interessado na investigação histológica mostrou tecidos com coloração pelo método de Camillo Golgi^{111 112}.

Cajal publicou mais de 100 artigos e ainda escreveu *Reglas y Consejos sobre Investigacion Cientifica*¹¹³, onde aborda métodos e novas tecnologias suas contemporâneas. As suas sínteses diagramáticas são fundamentadas pela Fotomicrografia que estava ao seu alcance¹¹⁴.

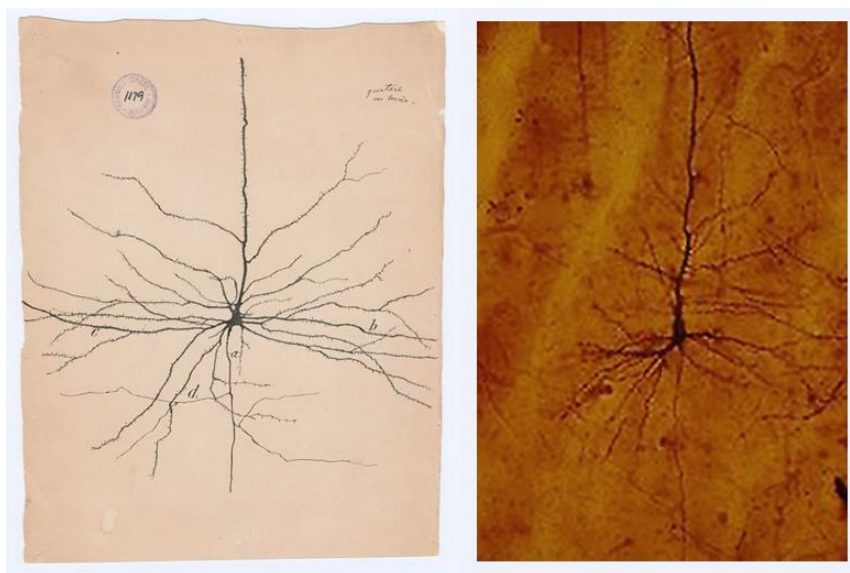


Fig. 18: Neurónios ilustrados por diferentes métodos.

À esquerda, uma ilustração síntese focada de um neurónio piramidal.

À direita fotomicrofotografia que denota o neurónio de uma criança impregnadas de coloração Golgi (Museu Cajal, Instituto Cajal, Madrid, via Nobel Prize ORG)

As observações de Cajal também potenciaram o conhecimento dos tratos (cabos axonais) e das ligações entre regiões cerebrais e de conceções sobre lógica de rede e funcional entre áreas cerebrais e entre estas e o corpo que, entretanto, se estavam a materializar. Paul Emil Flechsig¹¹⁵ foi um dos protagonistas desse tema,

¹¹¹ 1843–1926.

¹¹² Prémio Nobel partilhado com Cajal (Nobel Prize ORG)

¹¹³ Regras e Conselhos sobre Investigação Científica.

¹¹⁴ Referido em: («The Nobel Prize in Physics 1936» sem data).

¹¹⁵ 1847–1929.

tendo realizado diagramas que denotam esses conceitos, pela via de representações-mimésis abstratas (Flechsig 1883; 1896).

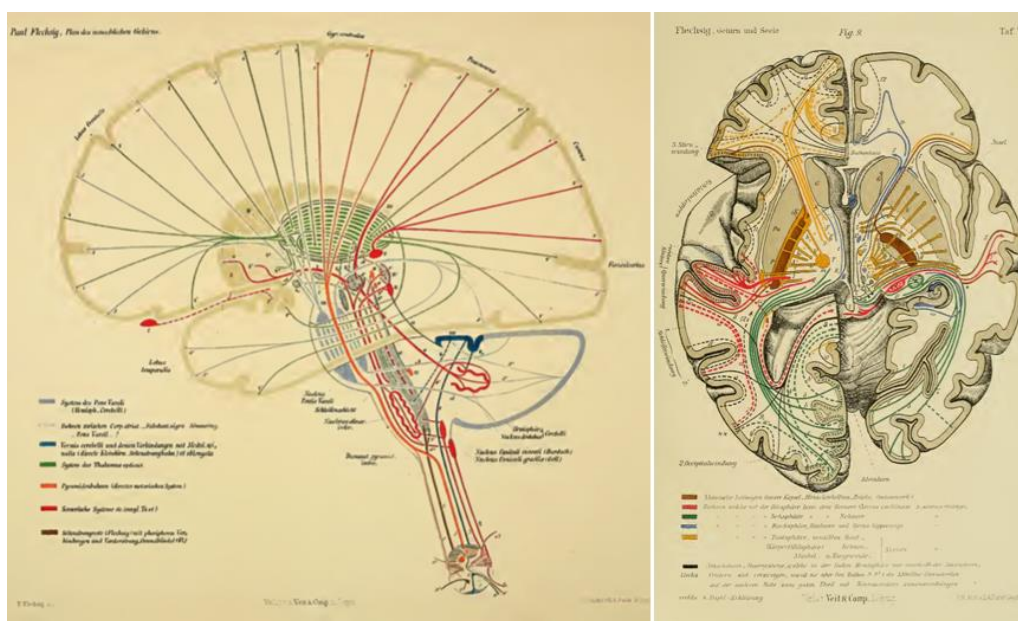


Fig. 19: Abstrações diagramáticas de conexões cerebrais.

Imagem da esquerda: abstração das conexões inter-cerebrais e projeções para a medula, em corte sagital por Flechsig em (1893). Imagem da direita: abstração das conexões inter-corticais e síntese anatômica por Flechsig (1896). Repositório em archive.org.

8.2 Narrativas elétricas

Nos meados do século XVIII, os cientistas que procuravam o conhecimento do cérebro podiam olhar para trás e ver uma história nesta área que revelava uma evolução gradual do conhecimento anatômico sobre a sua estrutura, mas apenas conjectura sobre a sua fisiologia. (Brazier 1963)

No período isabelino¹¹⁶ William Gilbert¹¹⁷ cunhou o termo elétrico para descrever um fenómeno que o filósofo grego Thales de Mileto¹¹⁸ descobriu: o facto de o âmbar ter a capacidade de atrair objetos leves quando friccionados com pele, fenómeno esse que se pensou, durante muito tempo, ser exclusivo do âmbar. O âmbar era designado de “eletron” na antiguidade (Niedermeyer e Silva 2005a).

¹¹⁶ 1558–1603.

¹¹⁷ 1544–1602.

¹¹⁸ c. 620–550 a.C.

Luigi Galvani propôs que existe potencial bioelétrico nos tecidos biológicos (Dibner 1998). Fê-lo em 1790 depois de perceber que induzia contrações nas pernas de uma rã morta quando ligados a uma corrente elétrica.

Em 1820 o cientista dinamarquês Christian Ørsted¹¹⁹ mediu as alterações na corrente elétrica usando a deflexão de uma agulha, chamada de galvanómetro. Um passo importante na neurofisiologia foi dado em 1825, por Leopoldo Nobili¹²⁰ que introduziu o galvanómetro astático com a capacidade de detetar correntes elétricas (Niedermeyer e Silva 2005a).

Os primeiros cientistas a olharem com atenção para o fenómeno da eletrofisiologia foi o italiano Carlo Matteucci¹²¹, que em 1830 começou a usar o galvanómetro de Nobili para investigar as sugestões de Galvani, e o alemão Emil du Bois-Reymond¹²² que cunhou o termo *variação negativa*, um fenómeno que se constituiu como decréscimo na intensidade da corrente aquando a contração do músculo.

Em 1849 o físico e médico alemão Hermann von Helmholtz¹²³ mediu a velocidade dos impulsos elétricos ao longo dos nervos (Niedermeyer e Silva 2005a) e introduziu o termo *corrente de ação*. Em 1870, Gustav Theodor Fritsch¹²⁴ e Julius Eduard Hitzig¹²⁵ descobriram em conjunto que o cérebro podia ser estimulado eletricamente.

Em 1875 Richard Caton utilizou o galvanómetro e eléctrodos para medir a atividade elétrica do cérebro pela primeira vez (Sanei e Chambers 2007). Descreveu o que observou e o método como o fez:

Correntes ténues de direção variada passam pelo multiplicador quando os eléctrodos são colocados em dois pontos da superfície externa, ou um eléctrodo na massa cinzenta, e um na superfície do crânio. (Ahmed e Cash 2013)

¹¹⁹ 1777–1851.

¹²⁰ 1784–1835.

¹²¹ 1811–1868.

¹²² 1818–1896.

¹²³ 1821–1894.

¹²⁴ 1838–1927.

¹²⁵ 1838–1907.

Em 1877, Vasily Yakovlevich Danilevsky¹²⁶ finalizou a sua tese de doutoramento, *Investigations in the Physiology of the Brain* (Investigações na Fisiologia do Cérebro)¹²⁷, sobre a atividade do cérebro de animais tanto espontânea como em consequência de estimulação (Niedermeyer e Silva 2005a; Sanei e Chambers 2007).

Em 1882 Jacques-Arsène d'Arsonval¹²⁸ e Marcel Deprez¹²⁹ desenvolveram o galvanómetro de Arsonval que detetava microamperes. A génese elétrica neuronal é, como, vimos muito ténue. O galvanómetro, consequentemente, respondia de forma ténue. Por forma a ampliar essas variações débeis os cientistas lembraram-se de usar espelhos para refletir numa parede a luz projetada no galvanómetro.

No início do século XX Willem Einthoven¹³⁰ completou o galvanómetro de corda, um dispositivo que era constituído por um filamento condutor que passava entre fortes magnetos. Quando uma corrente passava no filamento este movia-se pela alteração do campo magnético. Uma luz incidia no filamento, e o movimento deste, que denotava a atividade eletrofisiológica (neste caso, do coração), era gravado num papel fotográfico (Liebson 2013).

Em 1890, Adolf Beck¹³¹ também encontrou as ondas cerebrais e, como Caton, cujo trabalho desconhecia, percebeu fenómenos como a alteração das ondas cerebrais pela estimulação de luz, reportou pela primeira vez o tema usando desenhos representando locais corticais das funções sensoriais que haviam sido encontrados por registos elétricos (Brazier 1963).

8.2.1 A eletricidade do cérebro, *in vivo*

Foi somente em 1912 que foi publicada pela primeira vez uma demonstração pictórica da atividade elétrica do cérebro intacto.

¹²⁶ 1852–1939.

¹²⁷ As referências não dispõem do original em russo, apesar de referirem que a tese foi realizada nesse idioma.

¹²⁸ 1851–1940.

¹²⁹ 1843–1918.

¹³⁰ 1860–1927.

¹³¹ 1863–1942.

Vladimir Pravdich-Neminsky¹³² publicou os primeiros registos do cérebro, da dura-máter ou do crânio intacto do cão. Das experiências inferiu e descreveu ritmos de 14 ciclos por segundo em condições normais, mas que desaceleravam à entrada de asfixia. Denominou o resultado de “cerebrograma elétrico” isto é, electrocerebrograma (Alexandrov 2012)¹³³ (Brazier 1963; Niedermeyer e Silva 2005a; Oleksii 2016).

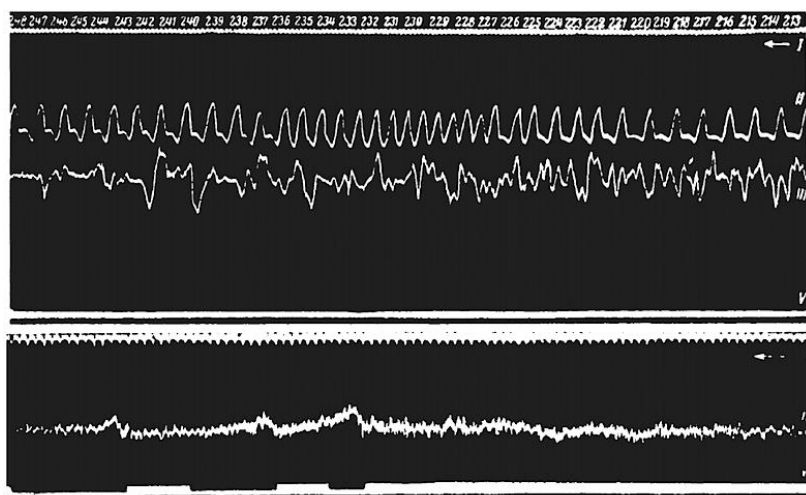


Fig. 20: A primeira fotografia de eletroencefalograma alguma vez publicada.

O terceiro traçado na parte superior denota os potenciais cerebrais de um cão tratado com curare. O registo deve ler-se da direita para a esquerda. A linha 1 é um marcador de tempo em quintos de segundo; a linha 2 são as pulsações de uma artéria da cabeça; a linha 4 o demarcador do galvanómetro; na linha 6 denota o nervo ciático a responder a estimulação de tempos em tempos e a linha a linha 7 o sinal-estimulação. Imagem de Pravdich-Neminsky, V.V. 1913., *Ein Versuch der Registrierung der elektrischen Gehirnerscheinungen*¹³⁴. Zbl. Physiol. 27:951-960), em (Niedermeyer e Silva 2005a).

Estava lançado um novo método, gráfico, de registo do fenómeno eletrofisiológico cerebral e a abertura de possibilidades de conhecimento sem precedentes. O cérebro a operar, mas “escrevendo” ele mesmo o que estava a fazer.

Com uma ideia de *script* cerebral, a eletroencefalografia reviveu a famosa promessa de Marey — e levou-a a uma nova dimensão.
Brainscript era a linguagem dos neurónios do cérebro e, além disso,

¹³² 1879–1952.

¹³³ Alexandrov M.V. é o autor que dá mais informações sobre as denominações, incluindo aspetos semióticos. O termo original seria: электроцереброграммой, isto é, cerebrograma elétrico, na tradução literal, e electrocerebrograma enquanto substantivo composto.

¹³⁴ Uma tentativa de registo de distúrbios cerebrais elétricos.

era também “nossa” linguagem, o código do pensamento e sentimento humano. (Borck 2008, 370)

8.2.2 O cérebro elétrico humano, *in vivo*

Entretanto, Hans Berger¹³⁵, em 1924, gravou pela primeira vez o fenómeno eléctrico do cérebro humano *in vivo*. Pela via do galvanómetro e dessa nova escrita direta possibilitou ao cérebro humano apresentar-se — ou, talvez melhor dito, fazer-se representar — ao mundo pela primeira vez na história. Em 1929 reporta o histórico feito no seu *Über das Elektrenkephalogramm des Menschen*¹³⁶ publicado no *Archive für Psychiatrie und Nervenkrankheiten*¹³⁷ (Berger 1929; Haas 2003). Descreveu a escrita da seguinte maneira:

O eletroencefalograma representa uma curva contínua com flutuações constantes, que, como sempre foi enfatizado, pode distinguir as ondas maiores, de primeira ordem, com uma duração média de 90 milissegundos e as ondas menores, de segunda ordem, com uma média de 35 milissegundos. As erupções maiores têm um valor até um máximo de 0,00015-0,0002 volts. (Berger 1929, 567)

Foi Berger que também sugeriu a designação que se tornaria paradigmática: o *Elektrenkephalogramm*:

De facto, acredito que a curva cerebral que descrevi em detalhes aqui surge no cérebro e corresponde ao eletrocerebrograma dos mamíferos de Neminski. Uma vez que, por razões linguísticas, considero a palavra “eletrocerebrograma”, composta por componentes gregos e latinos, bárbara, gostaria de usar o nome de “eletroencefalograma” para essa curva, que foi comprovada pela primeira vez em humanos. Com base no nome “eletrocardiograma” sugiro “eletroencefalograma”. (Berger 1929, 567)

¹³⁵ 1873–1941.

¹³⁶ Sobre o Eletroencefalograma Humano.

¹³⁷ *Arquivo para a Psiquiatria e as Doenças Nervosas*.

Berger publicou bastante sobre as suas investigações, nas quais percebemos que entre 1924 e 1926 as suas experiências eram realizadas principalmente com pacientes com doenças cerebrais trepanados.¹³⁸ Em 1930, descreveu gravações diretas do córtex e da substância branca comprovando a origem cortical do EEG (Jung e Berger 1979).

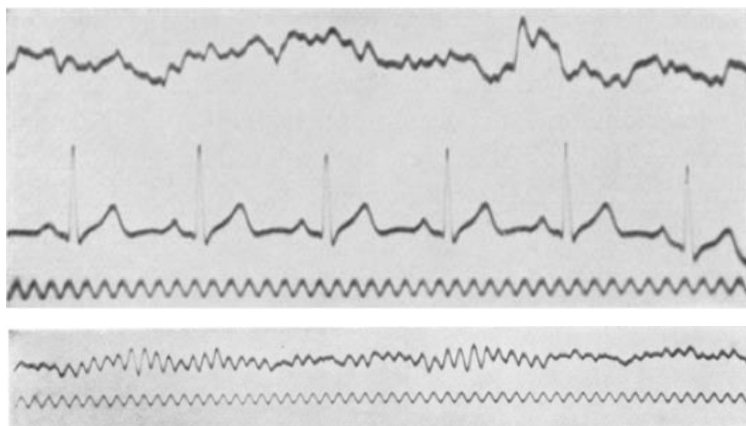


Fig. 21: Dois dos traçados históricos de Hans Berger reportados em 1929.

O que denotam nas suas próprias palavras: “Fig. 12. Klaus aos 16 anos. Galvanómetro espiral dupla. Condensação. Eléttodos de agulha subcutaneamente na testa e no occipital. Resistência = 700 ohms. Eletrocardiograma usando eléctrodos de folha de chumbo em ambos os braços. Acima a curva derivada do couro cabeludo, no meio o eletrocardiograma, abaixo do tempo em 1/10 segundos.” (Hans Berger, 1929, 551); “Fig. 13. Klaus aos 15 anos. Galvanómetro de espiral dupla. Condensação. Derivação da testa e occipital com eléctrodos de chumbo. Acima a curva derivada do couro cabeludo, abaixo o tempo em 1/10 segundos.” (Hans Berger 1929, 553)

Berger ainda depreendeu algumas condições funcionais e caracterizou as ondas Alfa e beta.

Em 1934 Edgar Douglas Adrian¹³⁹ e Bryan Harold Cabot Mathews¹⁴⁰ confirmam os resultados de Berger (Niedermeyer e Silva 2005a). A demonstração do uso útil do método EEG em diagnóstico foi demonstrado por Frederic Andrews Gibbs e

¹³⁸ A trepanação é uma intervenção cirúrgica que consiste em perfurar os ossos cranianos com um trépano, um instrumento cirúrgico em forma de broca.

¹³⁹ 1889–1977.

¹⁴⁰ 1906–1986.

William Gordon Lennox em 1935 (Collura 1993). William Grey Walter, entretanto¹⁴¹, em 1936, usou o método para localizar tumores cerebrais e também deprender problemas como a epilepsia. Em 1941, Gibbs e Gibbs, publicam o *Atlas of Electroencephalography*¹⁴² (1941).

Um passo importante foi a produção de aparatos que pudessem gravar múltiplos canais EEG e assim começaram a surgir os primeiros polígrafos (grafadores de múltiplos canais). A Grass Instrument Company, de Albert Grass¹⁴³, foi uma das que mais contribuiu para esta evolução. Em 1935 começou a comercializar o Grass Model I, um sistema com amplificador de três canais.

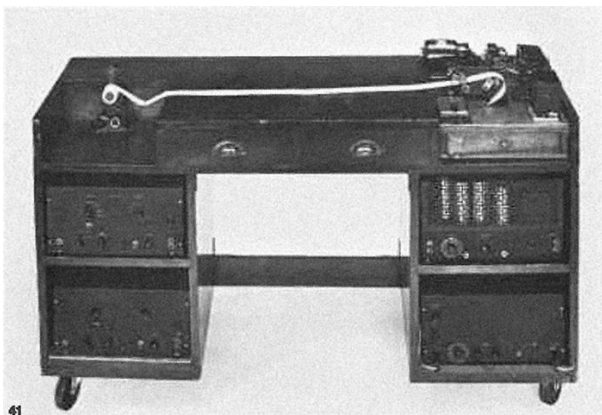


Fig. 22: Electroencefalógrafo Modelo Grass I, 1935 (Grass 1984).

A única imagem que conseguimos está numa publicação realizada por Albert Grass. Nesta, diz que não existe imagens da primeira implementação do sistema de 3 canais.

Esta implementação parece ter sido baseada no *Neurograph*¹⁴⁴ de Tönnies (Collura 1993). Albert Grass era engenheiro no Instituto de Tecnologia de Massachusetts, no departamento de engenharia mecânica. Estava envolvido com o design de equipamento sismográfico (detecção de terremotos). Grass foi contratado por Andrew Gibbs para fazer um novo sistema com três canais. Gibbs, entretanto, tinha conhecido Tönnies, numa viagem, e viu o *Neurograph* deste. Fez um esboço do aparelho e pediu-lhe consentimento para o levar a Grass (Collura 1993; Zottoli 2001; Grass 1984).

¹⁴¹ 1910–1977.

¹⁴² Atlas de Encefalografia.

¹⁴³ 1910–1992.

¹⁴⁴ Neurógrafo.

9 GRAFIAS DA ELETRICIDADE DO CÉREBRO

9.1 Novas possibilidades do cérebro escrever

Permitir observar o cérebro através de métodos e técnicas que descodificassem aquilo que este estava a *fazer* e o que isso poderia denotar, em termos de experiências, estados e ações, teve, desde que se percebeu que funcionava a eletricidade e que esta poderia ser transduzida para outras formas de informação, muitas propostas, entre ideias próximas do EEG, na sua forma de traçado *tradicional*, mas também outras completamente inusitadas. Algumas delas são tão interessantes que as podemos sentir com prova de uma imaginação, criatividade e especulação livres de barreiras, concetuais e formais, de classe.

Em 1938, Herbert Jasper enviou um postal de boas festas a Hans Berger, ilustrado por si, e constituído por um autorretrato, a fumar cachimbo, e por um interessante diagrama que representava um traçado análogo ao EEG que os galvanómetros permitiam, mas onde embebia a própria mensagem natalícia.

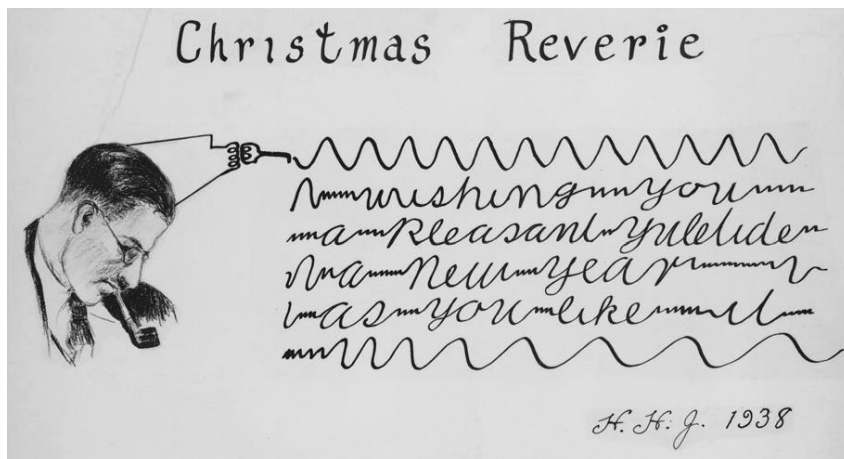


Fig. 23: Christmas Reverie, Herbert Jasper, 1938.

O postal ilustrado por Herbert Jasper e dirigido a Hans Berger pelo Natal de 1938. Diz: “desejando-lhe uma agradável época Natalícia (e) um Novo Ano a seu gosto”. Em (Borck 2005).

Claro que, se observarmos a sua clareza e objetividade científica, isto não passa de um episódio anedótico. Mas não podemos deixar de dizer que, ao fazê-lo, este cientista permitiu-se a si mesmo uma brincadeira que pode implicar, ideias suas pelo menos implícitas sobre outras possibilidades que não faziam parte do seu reportório científico normal.

9.1.1 Invenções para uma topografia do cérebro funcional

Em 1950¹⁴⁵ William Grey Walter e Harold W. Shipton¹⁴⁶, publicam um artigo com uma invenção curiosa: *A New Toposcopic Display System*¹⁴⁷ (Walter e Shipton 1951). O conceito foi demonstrado em 1947 no First International EEG Congress. Consistia num *sistema*, constituído por um tubo de raios catódicos, um visor e 12 amplificadores, que, através da modulação do brilho dos raios e da sua distribuição pragmatizada, permitia uma visualização correlacionada com sítios padrão da cabeça relacionados com o EEG. Batizaram-no de *Toposcope*¹⁴⁸ (Walter e Shipton 1951).

¹⁴⁵ Há referências que o colocam em 1951, mas nós adquirimos o artigo e a data nele inscrita é 1950.

¹⁴⁶ 1921–2007.

¹⁴⁷ Um Novo Sistema de Visualização Toposcópica.

¹⁴⁸ Toposcópio.

Era uma adaptação do indicador de posição no plano¹⁴⁹ do sistema radar.¹⁵⁰ Usava 22 tubos de raios catódicos correspondentes a 22 canais EEG. A implementação foi engenhosa. Controlavam a velocidade de rotação e o varrimento do vetor e do ponto do sistema radar, e modelavam e sincronizavam a distribuição deste em comparação com as oscilações cerebrais filtrados em bandas de frequências específicas, por exemplo alfa. Isto permitia que, se a base fosse emitida a 9 Hz, as variações de amplitude na banda Alfa alteravam a forma gráfica, ora no sentido dos ponteiros do relógio, ora no sentido contrário, de acordo com a proeminência da amplitude. Isto também queria dizer que se não houvesse “deformação” da forma gráfica o cérebro estaria a funcionar exatamente à velocidade da emissão padrão (Walter e Shipton 1951; Walter 1957)¹⁵¹.

¹⁴⁹ Original inglês: *Plan Position Indicator*.

¹⁵⁰ O Radar, Detecção e Telemetria por Rádio (em inglês, *Radio Detection And Ranging*), é um dispositivo que permite detetar objetos à distância e inferir as suas coordenadas (Haven 2006).

¹⁵¹ A versão que está nas imagens é de 1957. Foi uma atualização da de 1951 com vista a dotar o sistema de melhor resolução temporal, o ponto do raio catódico do radar grafava no visor 23 circunferências concêntricas, que preenchiam a totalidade de um círculo. Foi tão engenhoso que nos merece uma explicação mais longa: quando cada circunferência demorava 1 segundo a completar-se, isto significava que o círculo demorava 23 segundos a formar-se. O ponto que grafava no visor poderia, contudo, ser modulado em brilho. Isto quer dizer que se o varrimento fosse feito com o ponto sempre na sua luminância máxima via-se um círculo todo iluminado. O sistema permitia que a luminância poderia ser modelada por um oscilador que a conseguia variar entre ausência completa de luz e luz/brilho total. O oscilador poderia ser o próprio EEG. Imaginemos que o varrimento do vetor do radar se completava a cada segundo (1 Hz), mas que o brilho máximo da exposição do ponto no visor acontecia a cada terço de segundo (333,3 milissegundos, isto é, 3 Hz). Isto significava que cada circunferência era formada por três partes brilhantes e três partes “apagadas”. Ao fim de 23 segundos, e vinte e três voltas, formava-se assim uma “flor” cujas “pétalas” eram triângulos. Se o vetor rodasse a 23 voltas por segundo a mesma “flor”, completa, gerava-se num só segundo. Se quisessem denotar Alfa e as suas variações de amplitude, apenas tinham de relacionar o varrimento do vetor com a modelação dos ritmos de Alfa e da sua amplitude. Isto podia ser feito também numa relação de um para três (e foi sobretudo esta paradigma que usaram, como podemos ver nas imagens). Se o varrimento fosse síncrono com a pulsação — por exemplo 9 Hz Alfa / varrimento 3 Hz — as “pétalas” eram perfeitamente triangulares. Contudo se a amplitude de Alfa começasse a ser mais expressiva numa frequência maior a forma das “pétalas” alterava-se e, neste caso, iam-se torcendo em espiral no sentido inverso aos ponteiros-do-relógio (a amplitude máxima determinava o máximo brilho e este o centro da frequência grafada). E vice-versa, se Alfa denotasse mais amplitude a menos velocidade.

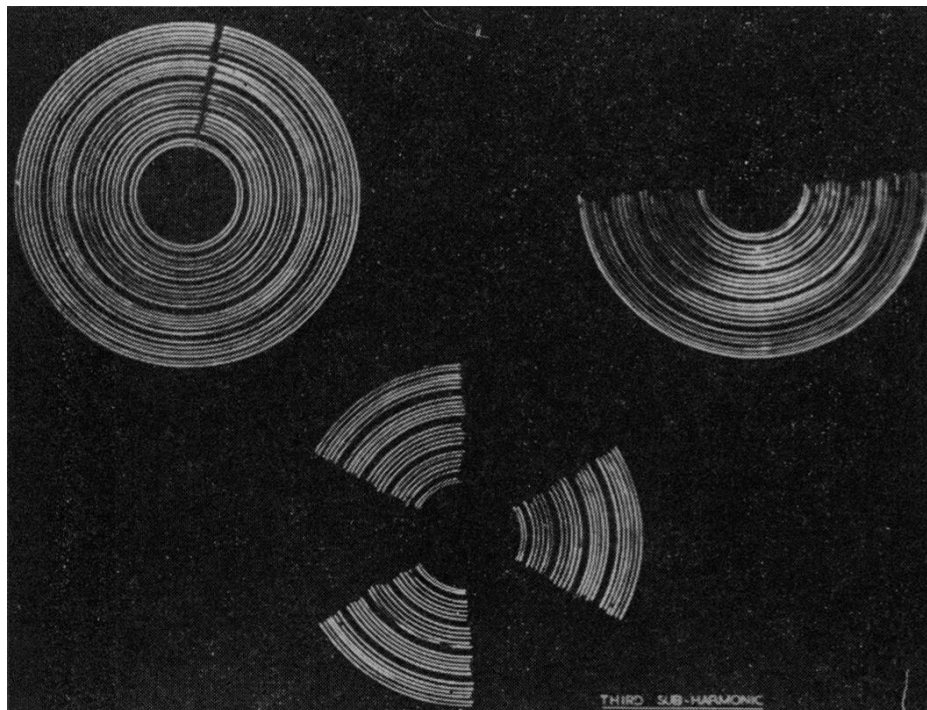


Fig. 24: Imagens geradas pelo *Toposcope* de William Grey Walter (1).

Citando o autor: Exemplos de diagramas do sistema de exibição de varredura helicoidal mostrando os 23 círculos concêntricos. As lacunas entre os círculos são para indicar intervalos de tempo durante a exposição (Grey Walter, 1957).

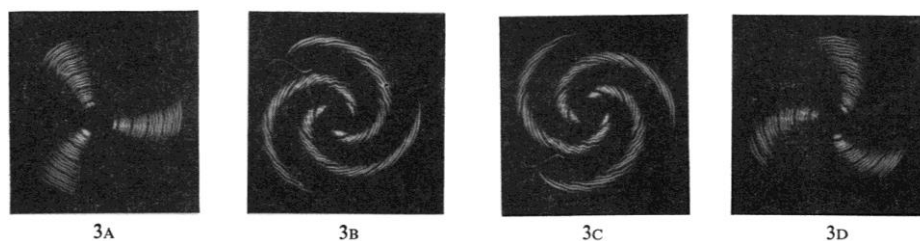


Fig. 25: Imagens geradas pelo *Toposcope* de William Grey Walter (2).

Citando o autor: “Registos de teste mostrando a resolução do sistema de exibição executados a um terço do sinal de frequência. A, é o sinal com taxa de varredura exatamente três vezes —9 c/s. B, é o sinal a 9,2 c/s. C, é o sinal a 8,8 c/s. D, é o sinal a 9,03 c/s.” (Grey Walter, 1957)

9.1.2 Escrever, mas também controlar

Em 1964, uma reportagem da CBS, documentou algumas das experiências que o físico teórico Edmond M. Dewan¹⁵² andava a realizar com sistemas EEG ligados a computadores e uma série de instrumentação eletrônica que permitia captar, amplificar e filtrar a eletrofisiologia do cérebro de um sujeito e controlar dispositivos, tudo isto em tempo-real. O documentário denota o ligar e desligar de um candeeiro e a impressão do traçado que, de acordo com as palavras de Dewan, seriam ondas alfa.



Fig. 26: Dois quadros do documentário da CBS de 1963 (1).

Nas imagens vê-se a assistente ligar e desligar um candeeiro pela via da modelação das ondas da zona alfa. (g dome 2013)

¹⁵² 1931-2009. A documentação que conseguimos consultar em aspetos tais como publicações é substancial. Contudo, dados biográficos com data de nascimento e falecimento são escassas. A data de falecimento não nos merece dúvidas substantivas, pois há uma nota de obituário no jornal *The Boston Globe*, — republicado em *Legacy.com*. (admin 2009) A data de nascimento, 1931, foi, contudo, inferida por nós. Baseamo-nos numa ficha da *Library of Congress*, Estados Unidos da América, que referencia uma publicação (*A review of maximum entropy spectral analysis and applications to Fourier spectroscopy*, de 1985) e outra na *National Library of Australia*, que referencia três publicações, uma delas aquela mesma da biblioteca americana. Cruzadas as informações, não temos dúvidas que as fichas se referem a Edmond Dewan e as fontes parecem-nos seguras. O autor está designado na seguinte forma: Dewan, Edmond M., 1931- . Ora, esta forma, sugere-nos que 1931 remete para a sua data de nascimento, mesmo que as fichas não reflitam a data de falecimento. Edmond Dewan era graduado pelas universidades Duke e Yale. Foi um físico, ramo biofísica, de renome que trabalhou cerca de 52 anos na Hanscom Field Air Force Base, Força Aérea, em Bedford.

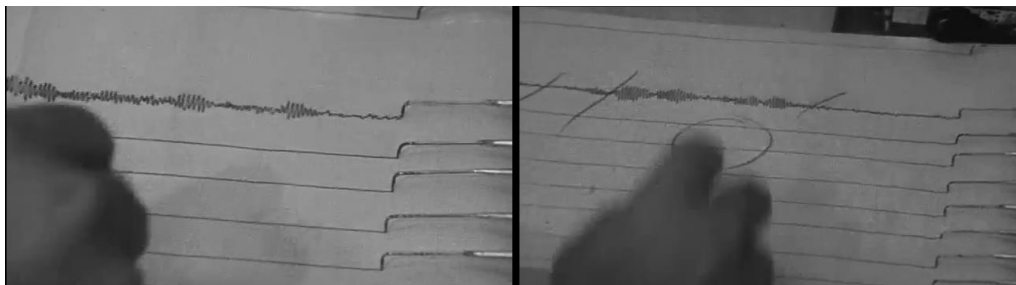


Fig. 27: Dois quadros do documentário da CBS de 1963 (2).

Nestes exemplos vê-se o técnico de apoio do laboratório de Dewan a descodificar em tempo-real, de acordo com o método código morse, os traçados EEG das ondas da zona Alfa pelo próprio Dewan. (g dome 2013)

Para além do ligar e desligar o candeeiro, o que, de acordo com a documentação que conseguimos, não tinha precedentes, Dewan, imaginou e implementou um sistema que, pela via da modelação da amplitude de Alfa, produzia código morse e na demonstração escreveu *CYBERNETICS*¹⁵³ um feito que também não tinha precedentes. Materializava, também, a possibilidade do *script* do cérebro e o sonho de Jasper, mesmo que de forma indireta.

O feito de Dewan é mais importante do que parece. Em 1967 publica na *Nature Occipital Alpha Rhythm Eye Position and Lens Accommodation*¹⁵⁴ (Dewan 1967, 975–77) que reporta os resultados da sua investigação e experiências. Neste diz que usou um *sistema* EEG que incluía um computador LINC e um polígrafo Grass Model 7, que permitia escrever mensagens em código-morse.

Apesar de Jacques Vidal ter publicado pela primeira vez em 1973 a designação *Brain Computer Interface*, e descrições conceptuais sobre este, e ter vindo a trabalhar desde 1963 na investigação do cérebro, o que podemos inferir é que Dewan precede a conceção e a própria publicação conceptual sobre um novo modo de usar o EEG mediado pelo computador¹⁵⁵. Para além da técnica, o facto

¹⁵³ Podemos inferir que este termo — aqui colocado na forma grafada na publicação original — deriva da relação que Dewan tinha com Norbert Wiener (1894-1964), pois era amigo e associado deste matemático e pioneiro da cibernética (Kahn, 2013).

¹⁵⁴ Ritmo Alfa Occipital da Posição dos Olhos e Acomodação das Lentes.

¹⁵⁵ De qualquer maneira, Vidal denotando um conhecimento robusto, mas não completamente claro sobre fenómeno elétrico do cérebro, por exemplo, quando diz que “particularmente, o ritmo Alfa parece aparecer e desaparecer de certa maneira aleatoriamente” (1973), avança com uma questão que, não sendo nova à altura, terá sido colocada de forma clara e pragmática e num contexto de investigação e prática

de ter proposto pela primeira vez a tentativa de modelação consciente da eletrofisiologia cerebral, sugere-nos que foi o verdadeiro pioneiro da interface EEG/BCI enquanto atuador e com possibilidade de comunicação e controlo, ou seja, respondendo aos seus propósitos reais principais¹⁵⁶.

A ciência, nos primórdios da representação dos sinais elétricos gerados pelo cérebro, ainda tentou decodificar as ondas cerebrais — o ainda "oculto" fenómeno das oscilações cerebrais — por outros métodos de representação, nomeadamente sonora, propondo e projetando sistemas EEG sonoros. Um dos mais conhecidos foi o *Encephalophone*¹⁵⁷, concebido por (Fürth e Beevers 1943). Posteriormente teve desenvolvimentos por Castillo e Sherwin. (1969)

científica e tecnológica: “Podem estes sinais elétricos do cérebro observáveis serem usados como transportadores de informação entre a comunicação homem-computador ou para controlar sistemas externos tais como dispositivos próstéticos ou naves espaciais“ (1973). E, mais à frente, pré-desvendando a proposta que viria a descrever, “O projeto Interface Cérebro Computador, descrito posteriormente neste capítulo, teve como objetivo de ser uma primeira tentativa de avaliar a “viabilidade” e a “praticabilidade” de usar os sinais do cérebro num diálogo homem-computador e, ao mesmo tempo, desenvolver uma ferramenta nova para o estudo do fenómeno neurofisiológico que governa a produção e o controlo dos eventos neuro-elétricos observáveis.” (Vidal, 1973)

¹⁵⁶ O que Dewan criou foi, de facto, um método que permitiu a sequência captação — transdução — processamento — segregação — utilização de sinais com objetivo de controlar um dispositivo eletromecânico — no caso particular da experiência reportada no vídeo investigado, um conjunto disjuntores-candeeiro —, por forma a que este acendesse de acordo com a banda alfa, pré-selecionada, tratada e usada em variações específicas de amplitude elétrica que, na sua forma final, se tornaram no controlo ligar-desligar do sistema. Isto é, num sistema de comunicação baseado em código morse. Sugere também que as alterações das ondas Alfa poderiam ser controladas conscientemente a partir do treino, também consciente, de determinados processos cerebrais. Esta invenção de Dewan foi candidata a patente, mais de 30 anos depois da sua implementação, por Dewan ele mesmo (Patente US 20030032888 A1, candidatada em 2001 e publicada em 2003).

¹⁵⁷ Encefalofone.

Bryan Harold Cabot Mathews, que partilha com Jan-Friederich Tönnies¹⁵⁸ a implementação do Amplificador Diferencial ¹⁵⁹ em 1934 ¹⁶⁰ (Collura 1993; Niedermeyer e Silva 2005a) e também Edgar Douglas Adrian, usaram um oscilógrafo e técnicas sonoras para os ajudar a representar as oscilações do cérebro, comentando contudo, “que, frequentemente, os potenciais corticais elevam-se e desaparecem demasiado devagar para dar sons claramente audíveis.” (Adrian e Matthews 1934)

Digno de referir, ainda, que Friederich Tönnies construiu o primeiro o primeiro amplificador-grafador biológico com impressão a tinta, um aparelho-impressora com canetas oscilantes, que batizou de *Neurograph*. (Collura 1993)

¹⁵⁸ 1902–1970.

¹⁵⁹ Ou de entrada balançada, ainda conhecido como empurra-puxa (push-pull) (R. F. Thompson e Patterson 1974).

¹⁶⁰ Há muitas publicações que referem que esta invenção é partilhada entre Bryan Mathews e Jan-Friederich Tönnies. Contudo há indicações que a primeira publicação é de Mathews, em 1934, e posteriormente em 1938, e a de Tönnies é de 1938 (R. F. Thompson e Patterson 1974).

10 REPRESENTAÇÕES ESTÉTICAS

10.1 O cérebro pelas grafias das artes

Nas artes os EEG/BCI têm sido usados como sistemas para controlar e gerar sequências ou ritmos, como texturas musicais, a partir de padrões de ondas EEG (Tan e Nijholt 2010).

Na segunda metade do século XX, alguns trabalhos pioneiros utilizaram potenciais cerebrais e realimentação biológica — *biofeedback* — isto é, o uso de EEG em simultâneo com outros sistemas que leem outros bio-potenciais corporais, como a atividade eletrodermal, também conhecida como resposta galvânica da pele¹⁶¹.

Os primeiros trabalhos materializaram-se nas décadas de 1960 e 1970 e são criações sobretudo de caráter sonoro por autores como Alvin Lucier, Alex Hay, Richard Teitelbaum, Pierre Henry ou David Rosenbom.

10.1.1 O espetáculo das ondas cerebrais

A primeira performance EEG artística consensualmente aceite como tal foi concebida e realizada por Alvin Lucier (Woodruff 2011)¹⁶² no *Concert For a New*

¹⁶¹ Em inglês *Galvanic Skin Response*, GSR, enquanto designação histórica (Malmivuo e Plonsey 1995), (disponível em plataforma digital em: <http://www.bem.fi/book/>)

¹⁶² Alvin Lucier tem sido considerado o primeiro compositor a usar as oscilações elétricas do cérebro num contexto de criação e produção artística. Mas a forma como chega lá é digna de nota. Dewan, que por essa altura andava a investigar as ondas alfa, perguntou a Lucier se este estava interessado em usar equipamento que conseguisse detetar aquele tipo de ondas por forma a usá-las em composição musical. Dewan era também um organista amador e talentoso (Kahn 2013). É também importante dizer que o programa impresso do espetáculo dizia, às tantas, “e reconhecimento ao Dr. Edmond Dewan (da Air Force

Music, (Concerto para uma Nova Música) em 1965, quando apresentou *Music for Solo Performer* (Música para Performer a Solo).

(...) mapeamento direto dos ritmos Alfa de um solista na paleta orquestral de um conjunto de percussão. Sinais Alfa altamente amplificados foram usados para ativar, acusticamente ou mecanicamente, um conjunto de instrumentos de percussão de outra forma sem performer.¹⁶³ (Rosenboom 1997, 10)

Sabe-se que Lucier utilizou ondas Alfa, na zona 10 Hz, tendo utilizado filtros passa-baixo de 14 Hz, que não só limitavam o sinal à banda Alfa como lhe removiam possíveis harmónicos (Austin, Kahn, e Gurusinghe 2011).

O vídeo publicado por Lucier (1976) denota a colocação de sensores frontais e referência (deduzimos nós) na mão esquerda. Isto quer dizer que a recolha dos sinais EEG se fizeram naquela área cerebral. Curiosamente, Dewan, que foi seu consultor, e a inferir pelo documentário de 1964, captava os sinais Alfa na zona occipital que, como vimos, é a zona onde estes ocorrem, com expressão, numa relação direta com os processos do sistema visual. Gordon Mumma, que experimentou o sistema de Lucier e explica todo o processo e equipamento com grande detalhe (Mumma 1967), referiu que a visualização não deveria ocorrer e que o facto de se fechar os olhos não implicava necessariamente que as ondas Alfa aparecessem. Este era um processo que tinha de ser treinado pelo solista ((Mumma 1967 em (Austin, Kahn, e Gurusinghe 2011))).

Cambridge Research Laboratories) enquanto consultor técnico”. (Mumma, 1967, via (Austin, Kahn, e Gurusinghe 2011). Aliás, Douglas Kahn não tem dúvidas quando diz “Lucier teve a ideia de fazer música com ondas cerebrais a partir de Edmond Dewan.” (Kahn 2013, 85) Parece mesmo que o próprio reconheceu isso quando, depois da apresentação, “quando os aplausos cessaram, Lucier subiu ao palco e apresentou-o como co-compositor.” (Kahn 2013, 85)

¹⁶³ Original: (...) direct mapping of a soloist's alpha rhythms onto the orchestral palette of a percussion ensemble. Greatly amplified alpha signals were used to activate, either acoustically or mechanically, an array of otherwise performerless percussion instruments.



Fig. 28: *Music for Solo Performer*, 1965.

Dois quadros do documentário da apresentação de Alvin Lucier da sua performance *Music for Solo Performer* em 1965. Filme do repositório de Alvin Lucier, 1976 em *Ohm +: The Early Gurus of Electronic Music*¹⁶⁴ (Synth Media 2017).

Um ano depois Alex Hay participou em *9 Evenings: Theatre and Engineering* (9 Noites: Teatro e Engenharia), no The Armory, Nova Iorque, organizado pela The Foundation for Contemporary Performance Arts com o apoio da Bell Telephone Laboratories, uma série performances de artísticas que incorporaram novas tecnologias, na qual participaram artistas como John Cage, Lucinda Childs ou Robert Rauschenberg. Hay apresentou *Grass Field*¹⁶⁵ uma performance, na qual Rauschenberg também participou, que incluía sensores para amplificar fenómenos eletrofisiológicos gerados por atividade física intensa (dança) e por condições de maior imobilidade, onde o movimento aparentemente ocorria a níveis microscópicos, mas que também produzia potenciais elétricos “como as ondas cerebrais Alfa e pelo piscar dos olhos” (Bonin 2006), ou seja, uma mistura de potenciais EEG com miográficos.

¹⁶⁴ Produzido por Thomas Ziegler, Jason Gross e Russell Charno. Ellipsis Arts, 2016. DVD + 3CDs.

¹⁶⁵ Campo de Grass. A origem do termo *Grass Field* está relacionada com a histórica companhia Grass Instrument Company, de Massachussets, que, como vimos anteriormente, foi uma das protagonistas, históricas na conceção e produção de aparelhos EEG no século XX.

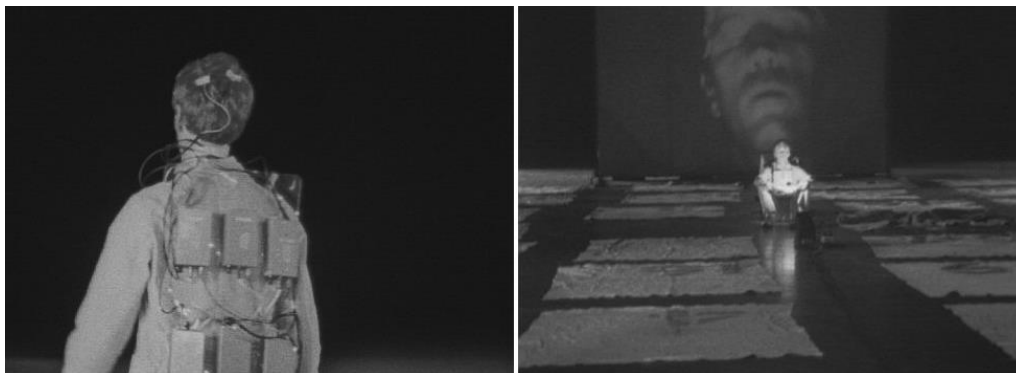


Fig. 29: Alex Hay em *9 Evenings: Theatre and Engineering*, 1967.

Dois quadros do documentário de Alfons Schilling *9 Evenings: Theatre and Engineering*, 1967, (Schilling 1967) onde se vê Alex Hay com o sistema, incluindo os elétrodos na zona occipital, e durante a performance. Repositório em Daniel Langlois Foundation (www.fondation-langlois.org)

Ainda nessa década, Alan Richard Teitelbaum é dos autores mais prolíficos na utilização dos biopotenciais para caracterização de narrativas sonoras e também gráficas, pois trabalhou com vídeo. Formado em composição e teoria da música na Universidade de Yale, começou essa incorporação com o projeto *Spacecraft* (1967-68). Com a colaboração de Robert Moog¹⁶⁶, que tinha inventado um novo “sistema de música eletrônica que aplicava o princípio de ‘controlo de voltagem’”¹⁶⁷ (Teitelbaum 1975, 36) e de músicos como Steve Lacy, idealizou peças como *Organ Music*, *In Tune* e *Tai Chi Alpha Tala*¹⁶⁸.

As peças usavam uma gama variada de sinais fisiológicos, desde ondas cerebrais, captadas e pré-processados por sistemas EEG dedicados — sistemas que incluíam sensores/elétrodos, amplificadores diferenciais e filtros de segregação de bandas de frequência eletrônicos —, simultaneamente com batimentos cardíacos ou sons gerados pela respiração, usando outros sensores e microfones aplicados no pescoço e no tórax que captavam diretamente sons do corpo sobretudo por via mecânica (contacto físico), para controlar algumas características musicais, como frequência e amplitude (Lindenberger et al. 2009; Teitelbaum 2006). Para orquestrar e controlar os sons do Moog, Teitelbaum usava sobretudo os sinais

¹⁶⁶ Robert Moog (1934–2005) foi um músico e engenheiro norte-americano que, em colaboração com o compositor Herbert Deutsch, inventou o sintetizador modular Moog, tendo-o apresentado em outubro de 1964 na convenção da AES - Audio Engineering Society. (S. Jones 2002; Vail 2014)

¹⁶⁷ Original: electronic music system employing a principle of “voltage control”.

¹⁶⁸ Música de Orgão, Em Sintonia e Tai Chi Alfa Tala.

da zona alfa. Contudo refere, em *Organ Music*, que não usou exclusivamente alfa, mas sim frequências até aos 50 Hz.

Parte do controlo e caracterização fazia-se pelo aumento gradual, em continuidade e consistência, à medida que a realimentação afetava o performer que usava o EEG, “que também os controlava abrindo e fechando os olhos e mudando seus estados internos de atenção.” (Pinguim 2014) Fez experiências com John Cage. Fez vídeos de John Cage, com David Rosenboom e Nam June Paik, e usou-os posteriormente em projetos que incluíam a manipulação de imagem em tempo-real. Refere, sobre um dos projetos realizado em 1973 na Chicago Circle Campus, Universidade de Illinois, que a captação do EEG alimentava um Processador de Imagem Sandin¹⁶⁹ sistema que incluía várias funções que podiam ser controladas por sinais externos. (Teitelbaum 1975) Usavam também um Sintetizador de Vídeo Paik-Abe¹⁷⁰ para processamento adicional. Usando realimentação em tempo real, “uma imagem do rosto de um sujeito era modulada por ele enquanto assistia à imagem num monitor.” (Teitelbaum 1975, 49) O participante monitorizava o vídeo, o que alterava os seus sinais EEG. Essas alterações eram incorporadas no sistema que manipulava o vídeo e o resultado era a sua re-caracterização. O resultado subsequente, ao ser exposto num esquema iterativo circular de realimentação, permitia uma modelação cumulativa e contínua do sistema.

¹⁶⁹ “Um computador analógico altamente programável para processamento de imagens de vídeo em tempo real.” (Sandin 2003)

¹⁷⁰ O sintetizador de vídeo Paik-Abe foi uma colaboração entre Nam June Paik e o engenheiro de vídeo Shuya Abe (Abe e Paik 1992). Nam June Paik (1932-2006), foi artista plástico e músico e um dos principais representantes da Videoarte (S. Jones 2002).

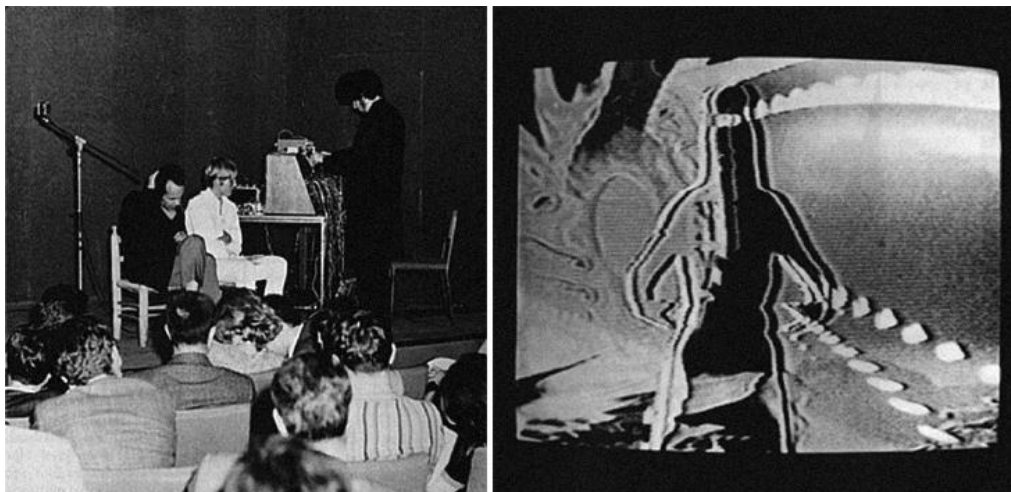


Fig. 30: *Organ Music* de Richard Teitelbaum em 1968.

Imagem da esquerda: a primeira apresentação de *Organ Music* em 1968, em Milão, Itália. Da direita para a esquerda: Richard Teitelbaum, manipulando o sintetizador Moog, Irene Aebi, com o microfone-transdutor dedicado aos batimentos cardíacos e Steve Lacy, que denota estar a ajustar os eletrodos. (foto por Lepetit, em Teitelbaum, 1975). Imagem da direita: um quadro da versão de vídeo sintetizado de *Tai Chi Alpha Tala*. Foto por Dug Spitznagel, em Teitelbaum, 1975)

Um outro pioneiro relevante, também pelo conhecimento que denotava em termos de processos cerebrais, foi Rosenboom. O seu envolvimento com os fundamentos, métodos e práticas de *biofeedback* remontam à década de 1960. Em 1969, Rosenboom e Neal Miller, Les Fehmi e Don Berry são protagonistas no *Involuntary?Control*¹⁷¹, um documentário¹⁷² sobre *biofeedback*.¹⁷³ Em 1970-71, Rosenboom criou e produziu *Ecology of the Skin*¹⁷⁴, um projeto que recorria à monitorização e captação dos potenciais elétricos gerados pelo coração e cérebro. Também promoveu a participação de pessoas da audiência, respondendo assim a um dos seus propósitos que era usar as ondas cerebrais Alfa do público participante para controlar o som. (Rosenboom 1997; Miranda e Brouse 2005b) Ou seja, uma peça com execução participativa. Dos documentos que nos chegaram

¹⁷¹ Controlo?Involuntário.

¹⁷² Produção: Philip Mendlo; filmagem: por Jerry Murphy; formato: 16mm; duração: 30 min, aprox.; Universidade de New York, New York (www.davidrosenboom.com)

¹⁷³ O ano de 1969 é considerado o ano “oficial” do nascimento do *biofeedback* (Moss, 1998, 2011). Neal Elgar Miller (1909–2002) e Les Fehmi estão entre os pioneiros deste novo paradigma interdisciplinar.

¹⁷⁴ Ecologia da Pele.

as composições de Rosenboom são, na nossa perspetiva, das mais interessantes em termos musicais.¹⁷⁵

Em 1972, Rosenboom faz uma apresentação no *The Mike Douglas Show, Some Eastern Strains*, com Mike Douglas, Yoko Ono, John Lennon, Chuck Berry e Joseph Blatchford, onde cruza conversa com Douglas sobre *biofeedback*, as ondas Alfa e possíveis processos de controlo pelo treino. Mas as suas observações são relevantes de transcrever:

Biofeedback é um novo processo, que foi possível graças aos avanços da tecnologia, por meio do qual uma pessoa pode ouvir seus próprios processos fisiológicos internos e, escutando-os, pode aprender a seu respeito e começar a aprender a controlar alguns deles, alguns que talvez não fosse capaz de controlar. [podemos controlar] Praticando, por exemplo. Tem de se aprender a fazer isto... fazer coisas sem as tentar fazer. Tem de se aprender como deixar as coisas acontecerem e não por tentar. É como aprender a ser uma pessoa sem tentar ser uma pessoa. Requer atitude. (Rosenboom, 1972, respondendo a Mike Douglas no *The Mike Douglas Show*, 1972)



Fig. 31: David Rosenboom em *Some Eastern Strains*, *The Mike Douglas Show*, 1972.

Imagem da esquerda: John Lennon. Imagem da direita: Mike Douglas, Yoko Ono, John Lennon, Chuck Berry, Joseph Blatchford, David Rosenboom (utilização de Orgão electrónico Hammond e Piano Baldwin). Programa *Some Eastern Strains*, produzido por: Group Westinghouse Broadcasting Company, Inc., 1972

¹⁷⁵ O disco *Braiwave Music* editado pela A.R.C: Records, Toronto, em 1976 é exemplar.

Rosenboom¹⁷⁶ tem tido uma carreira extremamente fértil não só como compositor e músico (a sua composição mais antiga é *Contrasts for Violin and Orchestra*¹⁷⁷, de 1963, e a mais recente que conseguimos reportar é *Nothingness is Unstable*¹⁷⁸, de 2017, mas também na reflexão sobre as artes, entre as relacionadas com os potenciais bioelétricos, mas também sobre artes em geral, educação, inteligência artificial, filosofia da tecnologia, entre outros, que foram alvo, desde cedo, elaboração de manuscritos e publicações. É de sua autoria a publicação onde Teitelbaum reporta os seus projetos.

Em 1971 Pierre Henry¹⁷⁹ apresenta *Mise en musique du Corticalart de Roger Lafosse*¹⁸⁰, no Museu de Arte Moderna de Paris, peça que, como a denominação sugere usava o córtex como base de um sistema de controlo e geração musical. Na contracapa do disco¹⁸¹ com aquele título, gravado ao vivo no museu, Maurice Fleuret diz:

Fixado sobre a própria testa do músico, um sistema de elétrodos, semelhantes aos usados pelo eletroencefalograma, permitem detetar três tipos de sinais que traduzem a atividade característica de certas zonas do córtex cerebral: as ondas Alfa (estado de relaxamento, de desatenção, de repouso), as ondas Beta (estado acordado, de atenção, de atividade, de reação) e o Arte Facto¹⁸² ligado aos movimentos dos globos oculares. (Fleuret, 1971)

¹⁷⁶ Atualmente (2017) é Richard Seaver Distinguished Chair in Music, Dean, The Herb Alpert School of Music, California Institute of the Arts, Universidade da Califórnia.

¹⁷⁷ Contrastes para Violino e Orquestra.

¹⁷⁸ O Nada é Instável.

¹⁷⁹ Pierre Henry foi um dos prolíferos protagonistas da Música Concreta, (Warnier 2013) cujo proponente inicial foi Pierre Schaeffer. (Ircam 2010)

¹⁸⁰ Definir como Música o Corticalart de Roger Lafosse. Roger Lafosse foi fundador do festival Sigma, em 1965 em Bordéus, França. (Taliano des Garets 2014)

¹⁸¹ Pierre Henry, *Mise en Music du Cortiçalart de Roger Lafosse*, Philips, coleção Prospective 21^o Siècle.

¹⁸² É interessante fazer nota de que as três denominações estavam todas elas escritas em letras capitulares.

A totalidade do texto, na sua versão original, está citado na nota seguinte.



Fig. 32: Pierre Henry e a arte cortical, 1971.

Imagem da esquerda: a colocação de um elétrodo frontal na testa; na imagem da direita, o músico, os assistentes e os sistemas eletrónicos. Note-se um outro sensor na parte posterior occipital. Quadros do documentário 1971 *Pierre Henry - Experimento Música Cerebral - Corticalart - Ondes électriques du cerveau*. (Retroclips 2014)

E finaliza:

(...) Sete fontes sonoras distintas, ou seja, sete geradores de sons eletrónicos, são modelados por essas ondas infinitesimais. Elas oferecem ao compositor, que aqui é o seu próprio material e seu próprio intérprete, uma substância musical suscetível de ser manipulada, combinada, amplificada à vontade numa improvisação direta espontânea até agora sem exemplo no campo da eletroacústica.¹⁸³ (Fleuret, 1971)

Depois destes primeiros anos, onde houve alguma intensidade de realização deste tipo de projetos, seguiu-se uma espécie de desaceleração entre os anos se-

¹⁸³ O texto original era assim grafado: Fixé sur la propre tête du musicien, un système d'électrodes, semblable à celui employé dans l'électro-encéphalogramme, permet de détecter trois sortes de signaux électriques traduisant l'activité caractéristique de certaines zones du cortex cérébral : les ones ALPHA (état de relaxation, d'inattention, de repos), les ondes BETA (état d'éveil, d'attention, d'activité, de reaction) e l'ARTE FACT lié aux mouvements du globe oculaire. Sept sources sonores distinctes, c'est-à-dire sept générateurs de sons électroniques, sont modulés par ces ondes infinitésimales. Elles offrent au compositeur, qui est à la fois ici son propre matériau et son propre interprète, une substance musicale susceptible d'être manipulée, combinée, amplifiée à volonté dans une improvisation directe et spontanée jusqu'alors sans exemple dans la domaine de l'électroacoustique

tenta e finais dos anos noventa, época em que as iniciativas foram sobretudo musicais. Na vertente visual, encontramos bastante menos produção e, por isso — mas também porque o nosso projeto tem uma grande essência multimédia —, referenciaremos com mais alguma expressão esta vertente a partir de agora. Todavia, mesmo assim, há alguns projetos musicais que queremos referenciar aqui, porque implementaram alguns aspetos inovadores, ou, pelo menos, ampliaram alguma inovação realizada anteriormente.

Uma das iniciativas a destacar, por considerarmos também um marco histórico, foi a de Manfred L. Eaton, que em 1973 publicou *Bio-Music*¹⁸⁴ (Eaton 1973). Apesar de não ser um projeto artístico, é uma publicação que sintetiza um sistema baseado em vários sinais eletrofisiológicos, em número de 7¹⁸⁵, para controlo e/ou produção musical, mas numa aproximação que pressupunha, simultaneamente, tanto a deteção de estados mentais como a estimulação fisiológica. Postulava que se se fizesse uma monitorização eficaz desta circularidade, consumir-se-ia *Bio-Music* capaz de fazer “música de grande poder” (Eaton 1973, 10).

No ano de 1980 Richard Kriesche apresenta *brain-tv* (cérebro-tv) um projeto no qual o “autorretrato do artista é controlado pelas suas próprias ondas cerebrais.” (Kriesche 1980)

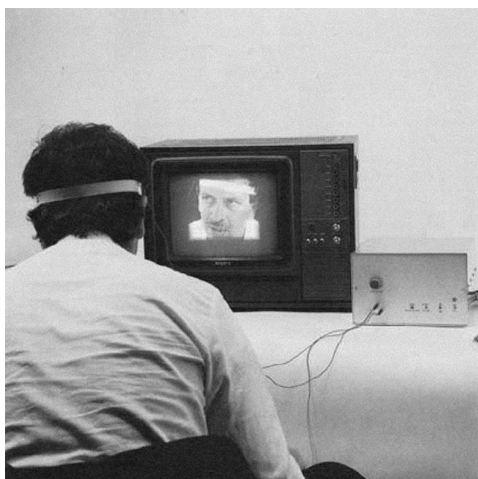


Fig. 33: *brain-tv*, por Richard Kriesche, 1980.

Kriesche em Basel, Galerie Stampa. Em *Weltmodell 2*, ARS Electronica ARCHIV

¹⁸⁴ Bio-Música.

¹⁸⁵ 1) Resposta Galvaniza da Pele (GSR); 2) O Electrocardiograma (EKG); 3) O Electroencefalograma (EEG); 4) O Electromiograma; 5) Os Potenciais dos Movimentos do Olho; 6) A Pressão Arterial; 7) A Respiração (Eaton, 1973) (pp. 6-7)

Em 1990 Benjamin Knapp e Hugh Lusted demonstraram o controlo de gráficos e sons, na CyberArts, Los Angeles 1990, com uma interface EEG/BCI disponibilizado pela BioMuse, um sistema baseado no próprio trabalho de Knapp e Lusted na Universidade de Stanford, Califórnia (Lusted e Knapp 1996).

Em 1994, Horst Prehn, Werner Cee e Ulrike Gabriel participaram no projeto *Sensible Systeme / Foro Artístico*¹⁸⁶ com as instalações e performances *Terrain 01*¹⁸⁷ (Gabriel 1994) e *Braindrops*¹⁸⁸ (Prehn e Cee 1994). Na primeira, a eletricidade cerebral do observador era enviada para um computador que controlava o brilho de uma instalação de luzes, circular, usando a variação dos valores elétricos. Sob o círculo havia “besouros” movidos a energia solar. O segundo usava várias modalidades — constituídas numa interface psicofísica — que detetava estados físicos mensuráveis derivados de estados mentais e alterava imagens e sons da instalação.

Em 2001, Neam Cathode¹⁸⁹ concretizou *Cyber_Mondrian*, no Centro Oboro¹⁹⁰, Montreal, Canadá, numa exposição comissariada por Andrée Duchaine. *Cyber_Mondrian* pode ser considerada como uma homenagem a Piet Mondrian. (Oboro 2001) Usava objetos gráficos sintéticos baseados nas formas básicas retangulares e três cores fundamentais usadas por Mondrian — azul, vermelho e amarelo —, mas, neste caso, em movimento. De acordo com Cathode, numa entrevista dada a propósito, baseou-se na desestruturação de imagens de pinturas reais que o autor conseguiu na *web*. (Snider 2010) Os objetos, o movimento e os eventos eram controlados por via dos impulsos e mapeamento da atividade cerebral, isto é, pelas ondas cerebrais do lobo frontal do “interator”. “As ondas cerebrais para mim são motores da composição... visual e áudio” disse Cathode numa entrevista a propósito (Cathode, 2001, em Hart Snider 2010). O resultado foi uma peça minimal e abstrata “em que o espectador se torna o mestre do espetáculo que se lhe é oferecido.” (Oboro 2001)

¹⁸⁶ Sistema Sensível / Foro Artístico.

¹⁸⁷ Terreno 01.

¹⁸⁸ Gotas de cérebro.

¹⁸⁹ O nome inscrito no genérico da entrevista vídeo, da qual se mostram os dois quadros que ilustram este autor, é Neam Cathode. Contudo, as demais referências conseguidas nas pesquisas apontam para o nome Neam Cathod. Sendo apenas uma curiosidade, não quisemos deixar este aspeto sem ser referido.

¹⁹⁰ Centro dedicado à produção e apresentação de arte, práticas contemporâneas e novos media (<http://www.oboro.net>)

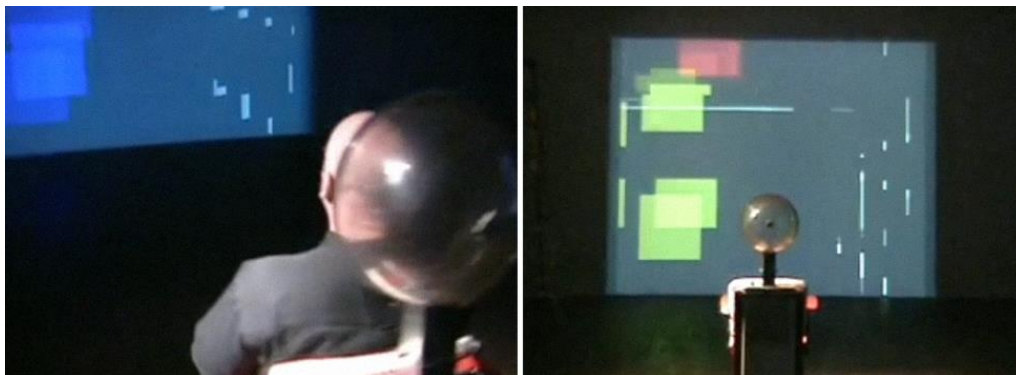


Fig. 34: *Cyber_Mondrian, 2001, por Neam Cathode.*

Dois quadros de uma entrevista a Neam Cathode por Hart Snider, em 2001 sobre e por altura de *Cyber_Mondrian*, no Centro Oboro, Montréal, Québec, Canada.

Para além da projeção dos gráficos, a peça usava uma projeção da interface (software) do sistema IBVA — Interactive Brain Wave Analyzer¹⁹¹ (Macintosh, Sistema 7, à altura), que expunha em tempo real um histograma tridimensional correlacionado com bandas de frequência, amplitude elétrica e outras informações das ondas usadas para controlar o sistema.

Usava também uma cadeira de cabeleireiro, mas o visionamento e análise dos documentos não nos permitiu inferir a verdadeira razão do seu uso.

Em 2003, Steve Mann, James Fung e Corey Manders realizam na Galeria/Museu DECONism, Ontário, Canadá, uma série de eventos com títulos derivados da galeria. Foram eles *DECONsciousness: Building as Blog*, *DECONcert Hertz: Wearable Brain Waves*, *DECONcert in the Key of EEG: Regenerative Music* e *ReGEN - ReGENerative Braiwave Electrofunk Through Reading Smart Buildings: EEG Collective Consciousness*¹⁹². Os projetos baseavam-se fundamentalmente em música e participação pública. Há aspetos relevantes a mencionar. Um dos principais foi o facto de terem implementado uma interface original múltipla, “gigante”. Tinha o propósito de ser uma experiência colaborativa, onde músicos de

¹⁹¹ Sistema com dois sensores frontais e uma referência, tipo clipe de orelha por Masahiro Kahata. Sistema iniciado em 1988 quando fundou o Psychic Lab Inc. no Japão. Este sistema foi usado por vários artistas projetos (Kahata 2016).

¹⁹² *DECONsciousness: Edifício como Blog*, *DECONcert Hertz: Ondas Cerebrais de Usar*, *DECONcert na Clave de EEG: Música Regenerativa* e *ReGEN - ReGENerative Ondas Cerebrais Electrofunk Através da Leitura de Edifícios Inteligentes: Consciência EEG Coletiva*.

Jazz tocavam música que era guiada e alterada pelas ondas cerebrais da audiência. No site dedicado ao projeto podia-se ler o seguinte:

Os membros da audiência podem-se tornar parte de um sistema avançado de EEG massivo que usa ondas cerebrais da audiência para controlar tanto a música quanto a iluminação do ambiente: um edifício realmente "inteligente". Junte-se a nós e veja o que acontece quando o clima do ambiente é "regenerado" pela consciência coletiva dos participantes. (Eyetap 2003a)



Fig. 35: *ReGEN - ReGENerative Braiwave Electrofunk.*

Duas fotos de uma das performances na Galeria DECONism. Fotos: DECONism Gallery, 2003.



Fig. 36: *ReGEN - ReGENerative Braiwave Electrofunk (2).*

Imagem que serviu de base aos cartazes e volantes de divulgação. Foto: DECONism Gallery, 2003.

Mas para além dos aspetos atrás mencionados no *DECONcert Hertz: Wearable Brain Waves* a designer Ariel Garten¹⁹³ propôs uma manifestação original. Assim:

"DECONcert Hertz" é um jogo sobre o fenómeno dos concertos da música popular, onde uma pessoa sai da performance com uma t-shirt da banda. No entanto, em DECONcert, o público é a banda, então o concertista sai com uma impressão de sua própria largura de banda, em Hertz, numa t-shirt EEG. Como as ondas gravadas do nosso cérebro são continuamente emitidas sem o nosso conhecimento, elas podem constituir outra forma de comunicação ou vigilância. (Eyeta 2003b)

Da informação conseguida não conseguimos detetar as características do hardware, mas sabemos que parte do sistema musical foi implementado em Pure Data¹⁹⁴.

10.2 Ondas mais recentes

A participação colaborativa do público em ocorreu noutros projetos. Em 2003, após três anos de investigação, implementação e produção, Mariko Mori apresentou *Wave UFO*¹⁹⁵, um projeto que ocorria dentro de um objeto escultórico. Aí, audiovisuais eram controlados pelas ondas cerebrais de três participantes de cada vez com o objetivo de criar uma experiência interativa ao vivo (Public Art Fund 2003). Era manifestado em duas partes, uma denominada *Real Time Brain Wave*¹⁹⁶ e outra *Connected World*¹⁹⁷. Baseava-se em dois conceitos: estados mentais em tempo-real e princípios budistas que se baseiam numa "consciência profunda na qual o eu e o universo se interconectam" Mori, 2003, em Public Art Fund. Baseava-se também em *biofeedback*.

¹⁹³ Co-fundadora da Interaxon Inc., fabricante das interfaces MUSE, um sistema baseado em eletrodos secos, com quatro canais EEG e 3 Referências lançado no mercado em 2014 (<https://choosemuse.com/>)

¹⁹⁴ Pure Data (ou PD), 1996, é uma linguagem de programação visual, de paradigma fluxo-de-dados baseada em objetos, dedicada à música e multimédia, de código aberto e multiplataforma, originalmente criado por Miller Puckette (<https://puredata.info/>)/(https://en.wikipedia.org/wiki/Pure_Data)

¹⁹⁵ Onda UFO.

¹⁹⁶ Ondas Cerebrais em Tempo Real.

¹⁹⁷ Mundo Conectado.

Wave UFO era constituído por 6 células ondulantes bio-amorfas que representavam os lobos esquerdo e direito de cada um dos cérebros dos três participantes. Uma linha ondulante movia-se de acordo com mio-eletricidade gerada por piscadelas e movimentos faciais. O *biofeedback* em tempo-real era baseado na experiência de assistir à projeção e à interação entre os três participantes. As formas metamorfoseavam-se e mudavam de cor em resposta a três tipos de estados mentais, sobressaindo a mais dominante. Quando duas células se juntavam, isso significava coerência entre os dois lobos. A parte da conexão era manifestada numa sequência gráfica animada, baseada em pinturas pela artista (Public Art Fund 2003).



Fig. 37: *Wave UFO* de Mariko Mori (1).

Quadro do vídeo da instalação/performance de Mariko Mori na 51ª Biennale d'Arte Contemporanea di Venezia (2005). Vídeo realizado por Antonella Coppola, em 2006, como parte da sua tese-diploma em Nuove Tecnologie per le Arti. (Coppola 2005)

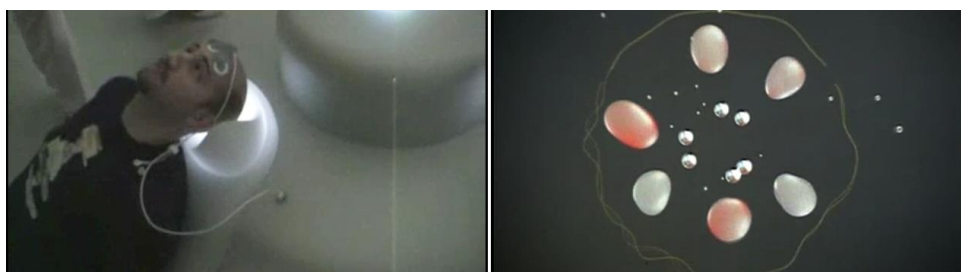


Fig. 38: *Wave UFO* de Mariko Mori (2).

Na imagem da esquerda podemos ver um participante, dos três que residiam à vez no UFO, com elétrodos frontais e na imagem da direita a projeção de gráficos animados na parte superior interior da nave. Dois quadros do vídeo referenciado na imagem anterior.

Sabemos, por informações disponibilizadas por Masahiro Kahata (2016) que o sistema usado por Mori era baseado no IBVA que, nesta altura, na sua implementação gráfica incluía ferramentas baseadas em Quartz Composer¹⁹⁸ e Max¹⁹⁹.

Em 2009, Claudia Robles Angel apresentou *INsideOUT*²⁰⁰, uma performance audiovisual sobre a possibilidade de “materialização dos pensamentos e emoções do performer no palco.” (Robles 2011) A performance, criada durante uma residência artística na KHM, Academia para as Media Artes, em Colónia, Alemanha, implicou a projeção de uma imagem de grandes dimensões e som envolvente o que criava um espaço imersivo e este contexto interagiu com a artista (SIGGRAPH 2009). O sistema captava a sua atividade cerebral e criava novos sons e imagens.



Fig. 39: *INsideOUT* de Claudia Robles Angel, 2009 (2).

Na imagem da esquerda vemos a interface implementada com base nas componentes Olimex. Na da direita a autora como performer na SIGGRAPH Asia, 2009, Yokohama, Japão. Fotos de M.Goldowski, em Robles 2011.

¹⁹⁸ Quartz Composer é uma linguagem de programação visual, proprietária, dedicada à multimédia, de paradigma fluxo-de-dados baseada em nós-objetos, lançada pela Apple em 2005.

¹⁹⁹ Max, originalmente denominado de The Patcher e atualmente somente Max, é uma plataforma de programação visual, de paradigma fluxo-de-dados que usa objetos-bloco construtivos (isto é, fragmentos que contribuem para um todo) ligados entre si. Os programas Max, denominados de PATCH, são realizados organizando e conectando os objetos dentro de uma janela a isso dedicada. É dedicado à multimédia e criado originalmente por Miller Puckette em 1985 no IRCAM - Institut de Recherche et Coordination Acoustique / Musique, Paris. Foi posteriormente adquirido por David Zicarelli que fundou a Cycling '74, atual proprietária. Zicarelli também contribuiu para o seu desenvolvimento (<https://cycling74.com>).

²⁰⁰ A tradução de um termo desta natureza é difícil de realizar. Propomos *DENTROeFORA*.

Claudia Robles-Angel usou uma interface que usava duas placas de dois elétrodos da Olimex²⁰¹, dois dos quais frontais e os outros dois occipitais. Isto configurava dois canais úteis, justamente “um frontal e outro occipital.” (Robles 2011) Teve a assistência de Lasse Scherffig que escreveu uma aplicação em Processing²⁰². Esta lia os valores dos dois canais, via comunicação série, e fazia processamento e extração da banda Alfa (8-13 Hz) usando transformadas rápidas de Fourier. Depois os dados eram suavizados com filtro passa-baixo e transmitidos para o Max via protocolo Open Sound Control (OSC) (Robles 2011)²⁰³. Não foi possível verificar o racional de mapeamento de forma clara.

Também em 2009, foi estreada em Praga o projeto *Multimodal Brain Orchestra* (Orquestra Cerebral Multimodal), criado pelo grupo SPECS — Synthetic, Perceptive, Emotive and Cognitive Systems — da Universidade Pompeu Fabra, em Barcelona, Espanha. A apresentação foi reportada por Jason Palmer, da BBC, da qual podemos perceber os métodos, teorias e técnicas usadas (Palmer 2009). Paul Verschure, líder do projeto, comentou na apresentação que “somente recentemente passamos a apreciar mais o forte acoplamento entre mente, cérebro e corpo”, mas perguntava-se de que seria capaz o cérebro fazer ignorando o corpo.

²⁰¹ A Olimex é fornecedora de ferramentas de desenvolvimento para a programação embbedida (<https://www.olimex.com>).

²⁰² O Processing é um sistema de programação/ambiente integrado de desenvolvimento, de código aberto, livre, dedicado às artes, iniciado em 2001 por Ryan Hopkins, Casey Reas e Ben Fry (Reas e Fry eram membros do Aesthetics and Computation Group, MIT Media Lab, Massachusetts Institute of Technology. Em 2012 fundaram a Processing Foundation com Daniel Shiffman (<https://processing.org>).

²⁰³ O Open Sound Control, é um protocolo de rede especialmente pensado e otimizado para conectar computadores, sintetizadores e dispositivos multimídia em contextos contemporâneos de criação prática e manifestação artística. O seu desenvolvimento iniciou-se em 1997 no CNMAT - Center for New Music and Audio Technologies, Universidade da Califórnia, por Adrian Freed e Matthew Wright (Wright e Freed 1997).



Fig. 40: *Multimodal Brain Orchestra*, pelo SPECS, 2009.

Na imagem da esquerda: dois dos participantes a treinar o sistema. Imagem da direita: uma perspetiva geral do espetáculo. Fonte (Le Groux et al. 2010).

Serviram-se de uma composição de Jonatas Manzolli, denominada *Xmotion*, como estrutura sonora de base e projeção de vídeo cujas variações, frequências, amplitudes, re-caracterizações formais, eram controladas pelos músicos performers.

Usaram o método Potencial Evocado de Estado Visual Estacionário e o paradigma P300. Aos músicos foi-lhe dada a tarefa detetar uma letra em particular e assim que acontecia isso servia para alimentar o sistema de controlo. O P300 era, ainda, manifestado por um marcador na visualização do traçado EEG entretanto disponível para observação do público, podendo este, assim, perceber quando ocorriam os eventos.

Em paralelo, usaram um outro participante, como maestro emocional, o qual estava sentado a visualizar com óculos de realidade virtual vídeos do artista videógrafo Behdad Rezazadeh e com sensores de batimento cardíaco e condutância da pele. A variação emocional tinha impacto nestes fenómenos fisiológicos o que era usado para re-caracterizar os conteúdos visuais. Os sinais eram, ainda, visualizados em simultâneo com o traçado EEG. O sistema EEG usado foi proporcionado pela g.tec (www.gtec.at/)²⁰⁴.

O último trabalho que devemos referir foi a palco em 2010, em Melbourne, Austrália. É o *Global Mind Project: Spectacle of the Mind* (Projeto Global da Mente: Espetáculo da Mente), com design de visuais e direção artística de Karen

²⁰⁴ A g.tec, Áustria, é uma das mais importantes companhias de engenharia biomédica, fundada em 1996, dedicada fundamentalmente ao EEG clínico e de investigação (www.gtec.at/).

Casey, Harry Sokol na programação e como designer técnico e Tim Cole no design de áudio.

O espetáculo contou com a participação de Jill Orr, Stelarc e Domenico de Clario. Contou com o patrocínio da Emotiv, usando as suas interfaces.

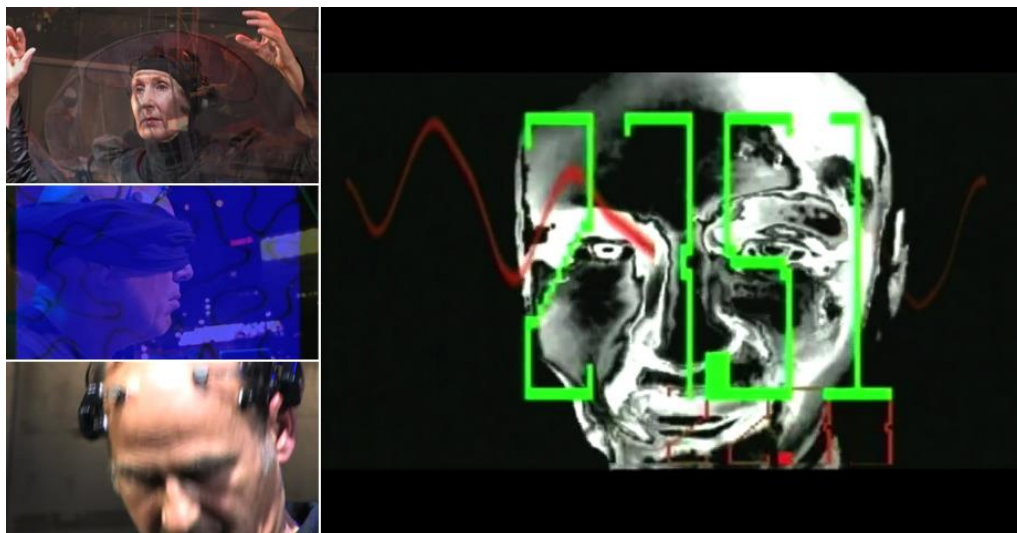


Fig. 41: *Global Mind Project: Spectacle of the Mind e os seus protagonistas.*

Coluna da esquerda, de cima para baixo: Jill Orr, Domenico de Clario e Stelarc. À direita, visuais relativos à performance de Stelarc que denotam uma versão da sua *Prosthetic Head*. Quadros do documentário de Karen Casey. (Casey, 2010)

Não tivemos acesso a muita informação sobre este evento, por isso desconhecemos, por exemplo, o racional de implementação. Mas depreendemos, pelo visionamento e análise que fizemos ao documentário de Karen Casey (2010), que foi um espetáculo com performances pelos três artistas convidados no qual utilizaram as interfaces Emotiv EPOC para captar vários tipos de sinais eletrofisiológicos, entre potenciais EEG, mas também mio-eletricidade e, ainda, sinais do giroscópio, para re-caracterizar gráficos animados. Podemos depreender, por exemplo, que os sinais gerados por Stelarc manipulavam a sua *Prosthetic Head* (Cabeça Protética), (ou uma versão atualizada da original, divulgada em 2003 em *New Territories*, Glasgow²⁰⁵).

²⁰⁵ stelarc.org/?catID=20241. Stelarc é um artista da linha *performance art* corporal, um dos mais disruptivos dos últimos anos. Intervencionista, mutila e expõe o seu corpo com próteses, sondas, duplicações, amplificações e outras extensões inusitadas. Usa biotecnologia, realidade virtual, internet ou ganchos de talho para implementar as suas performances. Mesmo os títulos das suas obras são sugestivos: *Third Hand*

10.3 Notas críticas

Há aqui alguns aspetos que devemos observar e colocar em perspetiva, mesmo que muita da documentação que conseguimos obter e analisar não contivesse fluxogramas e/ou descritores técnicos específicos e detalhados.

Devemos referir, antes de mais e a exemplo, que o trabalho de Richard Teitelbaum é, entre os pioneiros, um dos mais claros em termos de documentação. A sua publicação *In Tune: Some Early Experiments in Biofeedback Music (1966–74)* (Em Sintonia: Algumas Experiências Iniciais em Música Biofeedback (1966–74)) (Teitelbaum 1975) denota no discurso escrito, mas também nas ilustrações, consubstanciadas em diagramas e fluxogramas objetivos, clareza no racional e lógica de implementação dos seus sistemas.

A inferir por essa publicação o seu conhecimento, no que concerne os potenciais elétricos do cérebro, as necessidades de critérios, os métodos, as tecnologias ao serviço da sua leitura, era bastante encorpada, pois, mesmo tendo tido um ponto de partida numa “epifania” subjetiva, numa festa de amigos, a documentação sugere que logo enveredou por leituras de autores como William Grey Walter e também se abeirou de especialistas, como Lloyd Gildea, do departamento de psicologia do Queens College em Nova Iorque que, por essa altura, estaria a realizar experiências de observação dos efeitos eventuais da retroação das ondas Alfa. As experiências de Teitelbaum também passaram pelo controlo e caracterização de eventos e objetos usando sinais transitados por sistemas sem fio, de rádio, e por linhas de telefone entre cidades diferentes (Teitelbaum 2006).

O trabalho de *Wave UFO* de Mariko Mori foi dos mais interessantes de analisar e foi uma das inspirações do início da nossa investigação. Até o racional que sustentava a implementação EEG se nos afigurou como baseada em critérios assertivos, quando, por exemplo, refere que Teta pode denotar estado de sonolência, Alfa relaxamento e Beta alerta e agitação, e que tentar resolver problemas matemáticos ou falar mentalmente noutras línguas altera significativamente as ondas cerebrais.

(Terceira Mão), 1980, *Stomach Sculpture* (Escultura Estômago), 1993, *Extra Ear* (Orelha Extra), 1997, entre outros (stelarc.org/).

No entanto, algumas questões surgiram: uma delas era a utilização de sensores exclusivamente na zona frontal que sabíamos como limitava²⁰⁶. A outra questão era o facto de sugerirem que também usavam ondas teta. À data da tomada de decisão sobre a interface que melhor poderia responder aos nossos propósitos, tínhamos já estudado bastante literatura de referência e o que esta sugeria é que este tipo de ondas é fundamentalmente relacionado com o hipocampo e que a sua deteção era feita recorrendo a eléctrodos subdurais implantados em pacientes. Ou seja, a captação era intra-cortical e não à superfície do escalpe. Também a sua referência à coerência inter-hemisférica frontal era demasiado vaga, já que esta pode ocorrer aleatoriamente. De qualquer maneira tinha uma sustentação clara.

O projeto *INsideOUT* de Robles usava sistema da Olimex. Também adquirimos componentes da Olimex e sabíamos que os sistemas EEG por eles comercializados eram limitados a dois canais, eram baseados no projeto OpenEEG²⁰⁷ e denotavam uma fabricação sem a qualidade que reconhecíamos em interfaces de produção industrial. A implementação de Robles, apesar de dotada de um racional claro, parece-nos ter tido alguma debilidade em termos de implementação técnica e isso lhe colocou problemas de robustez. Aliás, a autora refere que a complexidade de montagem de um sistema desta natureza a marcou e, por isso, começou a preferir usar electrofisiologia mais fácil de implementar, como a resposta galvânica da pele (Robles 2011).

O projeto *Multimodal Brain Orchestra* também nos mereceu muita atenção. A sua implementação pareceu-nos ser baseada em critérios concretos e ancorados em preceitos científicos. Mas a análise dos documentos colocou-nos algum questionamento sobretudo na parte de atuação. Como vimos, o EEG espontâneo é muito ténue, mas o potenciais evocados ainda são mais. Assim, os métodos exigem a soma e média desses potenciais e uma estabilização de comportamento

²⁰⁶ O binómio relaxamento versus concentração pode ser inferido pelo binómio Alfa versus Beta frontal e este modelo pode usar uma interface com um só sensor para a sua deteção. Contudo, o que preconizávamos era conseguir detetar fenómenos emocionais baseados em teorias que pudessem denotar a valia das emoções cuja deteção se baseia numa assimetria detetada no córtex frontal, num dos seus paradigmas, e isso pressupunha pelo menos dois sensores frontais (mais referência). Mas também usar processos mentais volitivos complexos — como ordens como “virar à esquerda” e “virar à direita” o que implicava, a nosso conhecimento, a utilização de múltiplos sensores em múltiplos sítios corticais.

²⁰⁷ O OpenEEG é uma iniciativa de software e desenho de dispositivos EEG faça-você-mesmo disponíveis gratuitamente inspirado na Licença Pública Geral (<http://openeeg.sourceforge.net/doc/>).

para se poder inferir a sua gênese. Contudo o que o vídeo sugere não é isso sobretudo na questão do comportamento. Também sugeriram que usaram, de acordo com Anna Mura, produtora e bióloga, o modelo circunflexo, que, como vimos, usa o conceito de excitação, mais ou menos, e valia, positiva ou negativa, numa tentativa de descodificar as emoções. Mas pela documentação esta não foi aplicada na eletroencefalografia.

O projeto *Global Mind Project: Spectacle of the Mind* foi muito importante também para o nosso percurso. Como mencionámos na nossa introdução o nosso projeto deveria ser ecológico — fazer do palco o laboratório. Isso estava refletido nos seus fundamentos essenciais e no racional projetual o que nos levou a adquirir o Emotiv EPOC (como referimos, uma interface portátil com múltiplos canais). Este evento mostrou-nos que a nossa opção foi acertada. Isto é, termos optado por uma tecnologia emergente, nova na portabilidade e, nesse sentido, com possibilidades de ação contextual, e isso foi muito motivador.

Algumas análises posteriores alertaram-nos para possíveis debilidades metodológicas e de operacionalização, como a possibilidade de falta de qualidade de sinal devido a interferências de excesso de ruído derivado da coreografia, nos fizeram refletir e potenciar cautelas de desenho experimental subsequentes. Contudo, isso não retira o mérito a esta iniciativa, pela proposta artística e por ter sido, a nosso conhecimento, um dos primeiros espetáculos onde se usaram interfaces EEG/BCI portáteis de última geração multicanal com transmissão sem fios.

Fechando este assunto, é muito importante referir que praticamente todos os projetos que conseguimos referenciar e que analisámos, à exceção do *Global Mind Project: Spectacle of the Mind*, usavam sistemas EEG/BCI ou limitados, em termos de canais, ou não portáteis e/ou de custo elevado. Ou seja, características a evitar de acordo com a nossa ponderação projetual inicial. Também, muitos deles, mesmo que referindo o uso de potenciais e bandas específicas, recorriam fundamentalmente a alfa, e isso poderia denotar alguns estados mentais correlacionados, como emoções, por exemplo, e, nesse sentido, os dados daí derivados poderiam ser usados para caracterizar ou controlar objetos e/ou eventos, não implementam, ou não são claros se o fizeram, sistemas baseados em controlo volitivo explícito. Aquele que requer deliberação consciente, aquele capaz de segregar dados multivariados, aquele que tem de recorrer a múltiplos sítios cerebrais para se realmente ser efetivo.

11 PARADOXOS E IDIOSSINCRASIAS DAS REPRESENTAÇÕES

Assim como a definição de Emoção²⁰⁸ tem sido alvo de debate, o tema Representações também o tem sido, nomeadamente em questões relacionadas com conceito(s), forma(s), objetividade, contexto(s) de emanção e aplicação, adequação, aceitação, entre outras. Porque o projeto envolve representações com abordagens e materialização baseadas em decisões pessoais, é importante referenciar e colocar em perspetiva algumas²⁰⁹ discussões e propostas de autores de áreas como a Filosofia da Ciência, Design ou Arte.

Há, mesmo antes de falarmos de representações, propriamente ditas, um problema de princípio relevante — que tem implicações também nas representações. É o de haver duas correntes (científicas) opostas: realismo e antirrealismo, um problema sobretudo concernente à Física e aos não-observáveis. O realismo sugere que os não-observáveis (fenómenos, entidades, coisas) existem mesmo que não tenhamos a capacidade de os observar e quando teorizam com base nestes, essas teorias serão verdadeiras — ou o mais verdadeiras possível à data da teorização — e a realidade acabará por provar a sua validade, e, assim, a existência dos não-observáveis em questão. Os antirrealistas dizem que os não-observáveis são ficções úteis — ou instrumentais — e que não faz diferença se o que a ciência diz sobre eles é verdadeiro ou não. São introduzidos e concebidos pelos cientistas a fim de ajudar a prever (fenómenos, entidades, coisas) observáveis (Okasha 2002; Chakravartty 2017).

²⁰⁸ Um dos exemplos centrais referenciados neste projeto de investigação.

²⁰⁹ Não é objetivo desta tese enunciar e perspetivar toda a problemática em torno do tema Representações, mas sim destacar alguns aspetos que se afiguram como relevantes para contextualizar as decisões aplicadas na materialização projetual artística sobretudo. O tema também é tão vasto e de discussão renovada que qualquer tentativa de o referenciar neste articulado será sempre, incontornavelmente e irremediavelmente, incompleto.

Entretanto, uma das questões primeiras emanadas no seio da discussão é, justamente, colocam Frigg e Nguyen em *Scientific Representation* (Representação Científica) (2016), o que é faz com que uma coisa possa ser uma representação de outra coisa? O próprio termo Representação, ou mais propriamente o conceito que este encerra, mesmo em contextos de ciência, filosofia ou arte parece não ser redutível. O dicionário Merriam Webster sugere que representar é “trazer claramente diante da mente, para servir como um sinal ou símbolo de”. Catherine Elgin sugere que “é um termo irritantemente impreciso.” (2010, 2) Em *The Art of Art History: A Critical Anthology* (A Arte da História da Arte: Uma Antologia Crítica), pode-se ler:

Representação: talvez o conceito mais duradouro da história da arte, representação refere-se geralmente a uma perspectiva das obras de arte enquanto re-apresentantes, refletoras, ou defensoras dos objetivos e intenções de um artista ou fazedor e, por extensão, aqueles de um tempo, lugar ou pessoas. (...) (Preziosi 2009, 577)

A ciência tem usado modelos como hipótese de representação científica (Frigg e Nguyen 2017). Modelos Escala, Modelos Analogia, Modelos Matemáticos, Modelos Teóricos parecem possibilidades de explicação das coisas e podem ser vistos “entidades funcionais de instanciação ou representação” (Gelfert 2017, 7).

Voltando a *Scientific Representation*. Os modelos podem ser vistos como descrições imaginárias de coisas reais ou comparáveis à ficção:

(...) os modelos (científicos) são parecidos com lugares e personagens da ficção literária e afirmações sobre eles são verdadeiras ou falsas da mesma forma que afirmações sobre esses lugares e personagens são verdadeiras ou falsas.

Há a possibilidade da Representação se poder Estipular Arbitrariamente²¹⁰ na possível forma:

Um modelo científico M representa um sistema alvo T se um utilizador do modelo M estipular que M representa T .

²¹⁰ Estipulação arbitrária ou autoritária (Stipulative fiat).

Ainda, que as representações, independentemente de opções de materialização, devem satisfazer certas Condições de Adequação como, por exemplo, a Possibilidade de Representação Falsa que propõe:

(...) se S não representa com precisão T , então é uma representação incompatível, mas não uma não representação.

Nas discussões também se exploram potenciais problemas das sugestões, propostas ou postulados. Por exemplo, delegar numa coisa (estipular um delegado, um representante) a missão de representar outra coisa requer que a delegada esteja capacitada das informações, argumentos, comportamentos, necessários para representar (substituir) a delegante, pelo menos na dimensão das necessidades a representar e isso nem sempre acontece ou é possível (Frigg e Nguyen 2016).

11.1 Emissão, propósitos e posições

(...) representações são coisas que possuem a função social de servir como adereços em jogos autorizados de faz-de-conta. (Frigg 2010, 115)

Heinrich Hert²¹¹ e Erwin Schrödinger²¹² usaram o termo Bild (Imagem) para designar sua concepção de teoria física, que significa a construção intelectual cuja relação com os fenómenos deveria ser analisada (D'Agostino 2004) propostas que, posteriormente, Ludwig Eduard Boltzmann²¹³, o físico que cunhou o conceito o termo ergódico²¹⁴ quando sugeriu uma Bild Theorie (Teoria da Imagem) onde propôs que as teorias científicas são imagens mentais tendo, no máximo, uma semelhança parcial com a realidade (Regt 1999), teoria cujo propósito era “construir uma imagem do mundo externo que existe puramente internamente” (Boltzmann 1905, 77; 1974, 33, via Fraassen, 2008, 1).

²¹¹ 1857–1894.

²¹² 1887–1961.

²¹³ 1844–1906.

²¹⁴ Ergódico significa: que permite representar ou determinar de forma estatística o comportamento de um todo dinâmico (in Dicionário Priberam). Ludwig Eduard Boltzmann cunhou o termo quando estava a trabalhar na mecânica estatística que com o objetivo de explicar de como as propriedades dos átomos determinam as propriedades físicas da matéria.

Bas van Fraassen sugere que:

(...) uma representação é feita com um propósito ou um objetivo em mente, governada pelo critério de adequação pertencente a esse objetivo, que guia os seus significados, meio e seletividade. (Fraassen 2008, 7)

(...) e que a representação “alinha mais por uma adequação empírica do que por uma verdade geral” (Fraassen 2008, 3) e coloca a questão sobre o que é precisão, sugerindo que a avaliação da precisão ou imprecisão de uma representação é altamente dependente do contexto (Fraassen 2008).

Conclui:

Uma representação científica, técnica ou artística é um artefacto. Como tal, é tanto um objeto ou um evento na natureza, que podemos considerar puramente através do olhar do físico, do químico ou do matemático. Mas é ao mesmo tempo algo constituído como objeto cultural, através de seu papel ou função, afiançado na prática. (Fraassen 2008, 30)

Não é garantido que as ciências subscrevam consensos à volta das suas propostas mais profundamente ancoradas na lógica dos seus preceitos. A defesa de um método e dos seus preceitos é arbitrária e só encaixa, muitas vezes, no seio dos seus pares:

Um matemático platonista²¹⁵ irá argumentar frequentemente que o número π é uma entidade real, afirmando que um círculo geométrico é um constructo reificado que existe independentemente do universo. Um engenheiro, por outro lado, não tem dificuldade em ver que não existe tal coisa, um círculo perfeito não existe em qualquer lugar do universo físico e, portanto, π é simplesmente uma construção mental útil. (D. Abbott 2013)

Edward R. Tufte disse que se deve usar legendagem para derrotar a distorção gráfica e a ambiguidade, que se deve escrever explicações dos dados no próprio

²¹⁵ O platonismo matemático propõe que há objetos matemáticos abstratos que têm uma existência independente de nós, das nossas atividades racionais, linguísticas e práticas (Linnebo 2018).

gráfico (Tufte 1986, 77). Entretanto, Roland Barthes²¹⁶ disse que muitas imagens não necessitam de um texto que as explique pois este corre o risco de se tornar um parasita delas e dos seus significados, mesmo que a intenção seja racionalizá-las (Barthes 1977).

Umás vezes somente as imagens literais, sejam fotografias sejam ilustrações, têm capacidade de descodificar e explicar um fenómeno, sem necessidade de recorrer a legendas. Mas noutras é fundamental uma legenda aposta, sob pena da sua interpretação ser demasiado permeável e aberta a outras interpretações que não aquelas que pressupostas nos seus objetivos originais (Mößner 2018). Umás vezes uma leitura outra não coloca problemas, mas outras implica uma depreensão errada. Muitas vezes somente a descrição verbal é capaz de explicar um fenómeno.

Uma explicação da realidade, seja física, seja teorizada, pode ser realizada pela via da descrição alfanumérica, da equação matemática (Suppes 2002; Fraassen 2008) e isso pode significar que possa ser somente passível de interpretação pelos pares. Mas, muitas vezes, essa descrição-explicação socorre-se de outras formas de representação, ora aplicadas em simultâneo com a abstração alfanumérica explicadora, ora sozinhas. Por exemplo, recorrendo à explicação pelo método gráfico. Euclide²¹⁷, com *Os Elementos*²¹⁸ é um dos exemplos históricos magistrais. Os seus postulados na forma visual, e sobretudo a radicalização por Oliver Byrne (1847), permitem, eventualmente, a sua depreensão por outras vias de lógica cognitiva para além da abstração alfanumérica.

Mesmo quando o método visual não contribui para provar uma verdade (matemática, por exemplo) ele pode permitir que se descubra a verdade de forma independente, racional e confiável. O pensamento visual que acompanhe uma prova pode mesmo aprofundar a compreensão dessa prova (Giaquinto 2016).

A escolha da natureza e dos constituintes das representações é arbitrária²¹⁹. A Arte não escapa a isso, assim como Ciência não escapa, mesmo que “por escolha”.

²¹⁶ 1915–1980.

²¹⁷ Cerca 300 a.C.

²¹⁸ A primeira versão impressa é de 1482 realizada em Veneza pelo editor Erhard Ratdolt (Euclid 1482).

²¹⁹ O termo está aqui colocado com o sentido de: ser baseado em ou determinado por preferência ou conveniência, mesmo que *ad hoc*, e não por acaso ou indiscriminadamente.

(Fraassen 2008, 48) Por exemplo, o método do Mapeamento Topográfico²²⁰ do Cérebro (Maurer 2012) usa um sistema de representação de valores baseado em cores. O EEG gera valores globais em grande quantidade. Isso complica a apreensão dos que eles encapsulam. Por forma a tornar a informação compreensível, estes são traduzidos para um domínio espacial, topográfico, recorrendo a mapas com cores e transições graduais entre estas por interpolação — usa-se sequências de pseudo-cores. Esta técnica de ordenar os dados, é designada de “pseudocoloração” (Ware 2013, 105). Usa cores que só por uma abstração forçada, por conveniência, podem ser alocados a um propósito de representação porque o consenso sobre o que as cores podem denotar, seja simbolicamente seja literalmente, não é, se quisermos ser realmente objetivos, possível. Dá-se ainda o facto de que o seu uso com este destino ser uma proposta unilateral. Nesse sentido, constroem pseudorealidades confinadas aos seus próprios contextos.

11.2 Conceções e Funções

Mas voltemos a *Scientific Representation*. para referenciar, de forma sumária, as 5 conceções lá colocadas: 1) similaridade: uma representação representa o seu alvo em virtude de ser semelhantes a ele; 2) estruturalista: aquela que assenta na existência uma estrutura comum entre a representação e a coisa que ela representa; 3) inferencial: aquela que analisa a representação em termos de função inferencial, ou seja sobre o que permite uma representação inferir sobre o alvo ao qual esta se refere; 4) a visão ficcional dos modelos (conceito colocado algumas linhas atrás); e 5) representação-como: uma representação não denota somente o seu sujeito, mas representa-o também como sendo isto ou aquilo (Frigg e Nguyen 2017).

As representações são, ainda, propostas por Agnes Bolinska (2015) como Representações Espistémicas. Estas servem como ferramentas para obter informações sobre aspetos dos alvos — considerados por Bolinska como *fenómenos de interesse* — que elas representam.

As representações, entre as usadas pela Ciência e pela Arte, podem ainda ter, dando mais alguns exemplos sem desdobramento, função descritiva, explicativa,

²²⁰ O primeiro mapa cerebral baseado na distribuição elétrica com caracterização análoga ao paradigma topográfico, usando linhas para denotar amplitudes de microvolts iguais, μV , foi realizado por K. Motokawa em 1942 (Maurer, 1991).

descodificadora, demonstradora, preditiva, prática, simbólica, expressiva, provocatória, ritual, política (entre outras) (Frigg e Hunter 2010; Goodman 1976).

11.3 Contextos, objetividades, subjetividades e ambiguidades

Catherine Elgin, em *Telling Instances* (Contando Instâncias) (2010) propõe:

Uma representação é objetiva na medida em que admite interpretações que são passíveis de avaliação por referência a razões intersubjetivamente disponíveis e avaliáveis, onde uma razão é uma consideração que favorece uma alegação de que os outros membros da comunidade não podem intelectualmente e responsabilmente rejeitar (...). (Elgin 2010, 14)

E continua dizendo:

Uma vez que a mesma representação pode ser implantada por comunidades governadas por diferentes normas, uma só representação pode ser objetiva quando funcionando num contexto e subjetiva quando funcionando noutro. (Elgin 2010, 15)

Isto em termos, podemos dizer, de formulação institucional e política. Mas podemos referir exemplos de artefactos formais práticos e os quais não têm de ser subjetivos versus objetivos em contextos diferentes. Na formulação padrão de teorias as formas ‘→’ e ‘↔’ são conetivos sentenciais e “têm o significado usual de ‘se...então’ e ‘se e apenas se’, respetivamente.” (Suppes 2002, 25) Ora, podemos imaginar que qualquer daquelas formas noutros contextos podem ser representantes de outro(s) significado(s).

Podemos, entretanto, imaginar um exemplo mais simples: um objeto gráfico com a forma + pode ser usado, e depreendido, num contexto de aritmética, como símbolo representante de “mais”. Contudo, fora desse contexto instrumental, incorre na possibilidade de ser interpretado como sendo outra coisa e não exclusivamente numa lógica reduzida, mas sim em possibilidades heterogêneas, sejam culturais, técnicas ou outras. Consequentemente, numa potencial vastidão de variáveis possíveis de leitura e depreensão, como, dando exemplos, + (cruz), + (marca), + (cruzamento, dependente da orientação da plataforma onde se encontra inscrita).

Num sentido inverso, a mesma realidade pode ser potencialmente descodificada e representada por representações diferentes (Elgin 2010). Estas ambivalências abrem, parece-nos, incontornavelmente, possibilidades de outras leituras para além dos seus propósitos explícitos primordiais derradeiros.

Façamos uma incursão personalizada. Étienne-Jules Marey²²¹ e Eadweard Muybridge²²² produziram ambos imagens que descodificaram uma realidade que, até à data, só por especulação poderia ser acedida. As novas técnicas fotográficas a alta-velocidade dos meados de século XIX, permitiram ver em detalhe²²³ o movimento das entidades animadas, pela cristalização de sub-momentos no decorrer da sua cronologia narrativa, materializada pela cronofotografia — uma espécie de fluxograma do movimento das coisas animadas. Mas a forma como ambos a fizeram é, remetendo para o mesmo fenómeno, dramaticamente diferente.

É tão diferente que se descontextualizarmos alguns dos seus objetos, que pode ser somente pela via da não apresentação de uma legenda, a sua observação e apreensão pode ser, potencialmente — mesmo que eventualmente —, completamente divergente, ao ponto de poder abrir a possibilidade de serem (re)colocados noutras possibilidades e objetivos. Mais relevante ainda será que nem sequer será necessário retirá-los do referente contextual.

²²¹ 1830–1904.

²²² 1830–1904.

²²³ Uma descodificação ainda mais dramática da metamorfose da realidade animada pela cristalização/fixação de fragmentos ainda mais ínfimos e íntimos do tempo fê-la Arthur Mason Worthington (1852–1916) em *A study of splashes*, publicado em 1908 (Worthington 1908), onde nos mostra as coroas formadas pelas pingas dos fluídos. Este feito é mais tarde, refinado pelo trabalho de Harold Edgerton (1903–1990), possibilitado pela sofisticação das técnicas de fotografia de alta-velocidade e invenção do *flash*. Um dos exemplos são as *Milk Drop Coronet*, de 1937–1939 e 1957, uma “réplica” daquele fenómeno e fotografia icónica deste cientista (Bedi 1998).

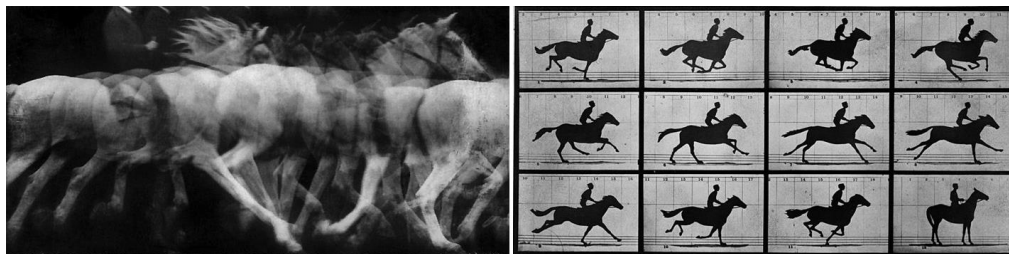


Fig. 42: O movimento por Étienne-Jules Marey e Eadweard Muybridge.

Imagem da esquerda: *Cheval Blanc Monté, Locomotion du Cheval*, Étienne-Jules Marey, 1886. Imagem da direita: *The Horse in Motion*, Eadweard Muybridge, 1878.

Curiosamente o exemplo das imagens de Eadweard Muybridge, que não conseguimos confirmar se teve educação científica, constituem-se como mais “pragmáticas” do que as Étienne-Jules Marey, que foi de facto cientista (Braun 1994).

Isto apenas para lembrar que não tem de ser o contexto científico aquele que produz exclusivamente as representações que possam ser consideradas objetivas, mesmo que o procure fazer (Frigg e Hunter 2010). É relevante, entretanto, referir que Elgin (2010; 1993) sugere que a ciência partilha práticas epistémicas importantes com a ficção artística. Mas também que a arte quebra regras, inventa novas, confronta convenções (Berleant 2017; Chayette 2010).

Um estado mental pode ser inferido, mesmo que não na sua objetividade específica, através de uma representação que não denote diretamente esse estado, de forma explícita, isto é, mas sim por uma essência eventualmente implícita que essa representação contenha. A imagem que propomos ver seguidamente, *The Visual Cortex of the Cat* (O Córtex Visual do Gato), (Fig. 43) tem, pode-se dizer esse potencial. A observação do gato aí presente, em conjunto com a imagem da composição gráfica permite-nos leituras alternativas, mesmo que também transmita a experiência específica. Um gato condicionado na visão e a apresentação de uma forma gráfica no contexto onde que habita pode ter outras leituras, mas denota uma experiência ancorada nessa correlação.

Mas a observação do gato, somente o gato, também pode possibilitar a apreensão de que as funções e o estado mental deste estão claramente condicionadas. Mais, pode denunciar um método. Possibilita, ainda, abrir questões de outra ordem que não exclusivamente aqueles confinados aos propósitos explícitos da experiência, por exemplo de ordem ética.

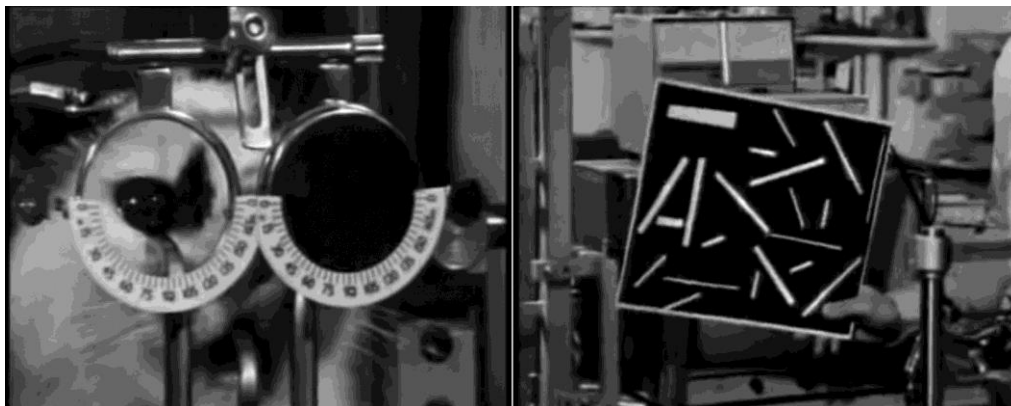


Fig. 43: *The Visual Cortex of the Cat.*

(córtex visual do gato) quadros do documentário com Colin Blakemore para o projeto Brain Sciences Information Project (1972). (Physiological Laboratory Cambridge, Centre for Science Education; Ferranti).

Também relevante é o facto de que não é garantido que uma opção de representação de âmbito científico seja mais capaz de explicar e denotar objetivamente um problema do que uma opção artística. Nas imagens que propomos seguidamente essa discussão é colocada em perspetiva.

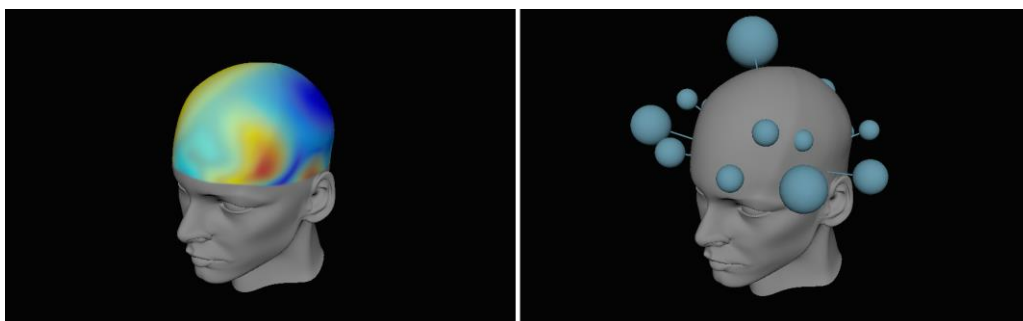


Fig. 44: Duas representações da amplitude elétrica de sítios cerebrais específicos.

Na imagem da esquerda vê-se um método de representação topográfico científico paradigma, em modo de visualização 3D. Na imagem da direita, vemos a cristalização do momento homólogo, mas numa proposta de representação artística (Horácio el al 2014).

A imagem da esquerda é uma captação instantânea de um momento EEG num visualizador em tempo-real do OpenVibe²²⁴ — uma aplicação de investigação e análise EEG científica — onde vemos pseudo-cores que denotam a distribuição

²²⁴ <http://openvibe.org>.

das amplitudes elétricas²²⁵. Na imagem da direita, vemos a cristalização do momento homólogo, mas numa proposta de representação artística²²⁶. Interessante destacar que a imagem da esquerda denota as várias amplitudes, na qual é visível, a exemplo, uma amplitude pronunciada na região frontal perto de F7 e também na temporal na zona T7. Mas, muito relevante, não transparece a amplitude elevada que estava a ocorrer na zona parietal direita, a qual, pelo contrário, é visível na imagem da direita.

A arte e a ciência podem usar o mesmo tipo de representação — exatamente o mesmo — como solução para problemas diferentes. Os exemplos que damos nas duas imagens seguintes são representativas desta reflexão. Uma deriva de concepção artística, a outra do método de Neurofeedback²²⁷.

²²⁵ Usa uma escala baseada numa distribuição similar ao espectro “arco-íris”, na qual o azul escuro denota a menor amplitude, o vermelho a maior, o esverdeado a intermédia e assim sucessivamente.

²²⁶ (Horácio el al 2014).

²²⁷ O Neurofeedback é um método que se baseia na teoria de que o cérebro é capaz de se recondicionar pelo facto de observar através do seu hospedeiro e inferir dessa observação aquilo que ele mesmo está a gerar, usando uma circularidade iterativa. É uma técnica de realimentação eletroencefalográfica. Surgiu na década de 1970, e é uma técnica que mede a atividade elétrica do cérebro — o sinal EEG — de um sujeito, processa-a, extrai um ou vários parâmetros de interesse e devolve-os ao sujeito, ou melhor ao cérebro deste, caracterizados e constituídos em conteúdos em forma visual e/ou auditiva usando dispositivos audiovisuais que dispõem esses conteúdos em ecrã(s) e/ou auscultadores. O objetivo é, como sugerido, efetuar modificações comportamentais modulando a atividade cerebral permitida pela plasticidade neuronal.

A realimentação pode ser positiva ou negativa pois é produzida para atividades cerebrais desejáveis ou indesejáveis, respetivamente. Por exemplo, uma animação generativa só emite partículas azuis — entre vermelhas, lilás e azuis — se e quando a atividade elétrica é gerada com a amplitude desejada/requerida pelo protocolo (feedback positivo). Inversamente, a animação pode somente emitir partículas vermelhas se o cérebro não gerar eletricidade na amplitude necessária (feedback negativo). Todo o processo é feito em tempo real (ou quase). O Neurofeedback necessita de procedimentos sequenciais que, não sendo observados, fazem com que o próprio método não seja válido. A sequência implica: 1) qEEG, isto é, EEG quantificado, que permite ao sistema e/ou ao supervisor clínico inferir o estado do sujeito, ao qual o EEG quantificado em análise pertence, e tomar decisões sobre o protocolo a aplicar. Como funciona: vamos supor que o qEEG denotou uma inter-assimetria de amplitude elétrica demasiado pronunciada em grupos neuronais frontais inter-hemisféricos relativos, e numa banda de frequência específica — por exemplo, Alfa — que, de acordo com quadros de referência empírico-teórica, deveriam operar com uma amplitude inter-simétrica mais uniforme. Isto é, deveriam funcionar mais equilibradamente - denotando, isso,

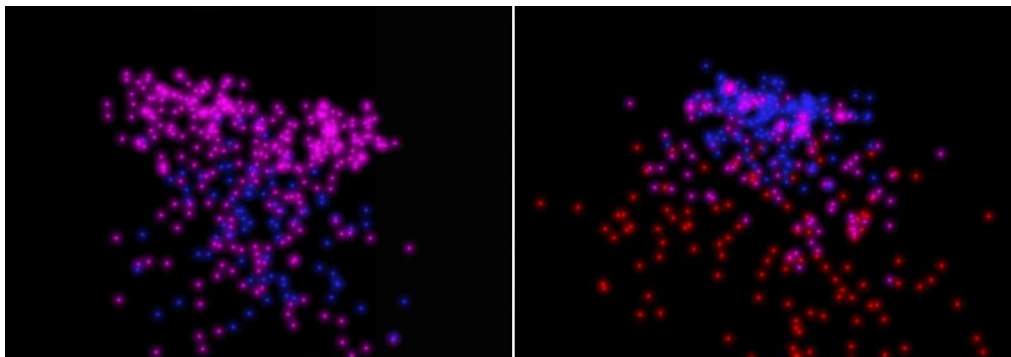


Fig. 45: Duas representações da atividade elétrica cerebral.

Duas captações instantâneas de ecrã. A imagem da esquerda é um exemplo de representação artística (MuArts, 2017). A imagem da direita é um exemplo captado durante a aplicação de Neurofeedback clínico (Neurobios, Instituto de Neurociências, 2017).

A imagem da esquerda, artística, denota a atividade elétrica do cérebro da zona frontal (próximos de AF7 / AF8) numa banda larga que inclui as frequências Alfa, 8-12 Hz, Beta 1, 12,5-16 Hz e Beta 2, 16.5-20 Hz, banda segregada por filtro passa-banda em tempo-real. Azul denota Alfa, lilás Beta 1, e vermelho Beta 2. As partículas nascem na parte de cima e vão caindo devido à simulação de gravidade usado no sistema de emissão. Percebemos que o cérebro esteve recentemente a operar em Alfa e agora estaria a operar em Beta 1. A imagem da direita, científica, denota a amplitude elétrica gerada por um eletrodo colocado numa região de interesse por forma a aplicar um protocolo específico. Vermelho denota amplitude fraca, que ainda não está de acordo com a necessidade do protocolo, lilás amplitude média e azul denota que o grupo neuronal em condicionamento está, finalmente, a responder efetivamente àquilo a que era suposto responder.

É ainda importante sublinhar que muitas vezes os métodos, técnicas e sistemas de representação que não parecem ser o ideais para “descodificar” um fenómeno, são, surpreendentemente aqueles que levam à descoberta efetiva, ou a descobertas que não estavam colocadas como hipótese na conceptualização teórica e configuração das experiências. Ou seja, é por vezes o acaso, ou alguma dose de acaso, que leva a descobertas de relevo.

potencialmente e de acordo com os referentes, saúde e robustez do cérebro. Este possível quadro requer, assim, a aplicação de um protocolo que recruta os grupos neuronais alvo colocando-os a operar de forma a que estes trabalhem inversamente no desequilíbrio detetado.

Como vimos, Edgar Adrian, em 1928, descobriu que o córtex visual do sapo denotava atividade derivada dos seus próprios movimentos porque foi “surpreendido” pelo som do sistema secundário — o principal era o oscilógrafo.

Eu tinha arranjado elétrodos no nervo ótico de um sapo na sequência de algumas experiências na retina. O quarto estava muito escuro e eu fiquei perplexo ao ouvir ruídos repetidos no alto-falante ligado ao amplificador, ruídos indicando que uma grande atividade de impulsos estava a acontecer. E só quando comparei os ruídos com meus próprios movimentos, ao redor da sala, é que percebi que estava no campo de visão do olho do sapo e que este estava a sinalizar o que eu estava a fazer. (Edgar Douglas Adrian, 1932, *in* (Erling 2016, 33–34))

11.4 Pensar ao contrário (?)

As representações emanadas no seio da arte têm sido vistas como mediadas por uma visão subjetiva dos artistas, mesmo que nos proporcionem algum tipo de conhecimento ou compreensão da realidade. Observando esta conceção, a arte seria diferente da ciência, já que a ciência visa mostrar, objetivamente, a verdadeira natureza das coisas — pelo menos é assim entendido de forma generalizada.

No entanto, parece que na perspetiva de Schopenhauer²²⁸ é o “artista — e não o cientista — que fornece conhecimento objetivo.” (Vandenabeele 2012, 220) Para Schopenhauer o conhecimento científico seria um instrumento poderoso, mas para subjugar o mundo às nossas categorias e conceitos. Estaria ao serviço do desejo humano de discernir sobre as estruturas da realidade, de entender o mundo, a fim de nos ajudar a sentirmo-nos mais confortáveis na natureza, para lhe sobreviver e, finalmente, para nos tornarmos mestres dela e governarmos o mundo. Nesse sentido, Schopenhauer afirmava, a ciência seria tão subjetiva quanto possível pois os cientistas oferecem soluções baseadas em interesses particulares e vontade (subjetivas, por isso) (Vandenabeele 2012). Mas, para Schopenhauer

²²⁸ Arthur Schopenhauer, 1788–1860, Alemanha. É um dos filósofos charneira do século XIX, autor de *Die Welt als Wille und Vorstellung* (O Mundo como Vontade e Representação) (1819). Tinha uma posição de género (masculina) do mundo, mas retratada quando mais velho (Rüdiger, 2018).

A arte mostra as coisas na sua nudez, despojadas dos seus significados, categorias, emoções e interesses humanos e oferece-nos as suas essências universais. (Vandenabeele 2012, 220)

Os artistas levar-nos-iam além do estreito ponto-de-vista humano e dariam “uma visão a partir nada” (Vandenabeele 2012), uma perspectiva sobre as coisas que não seriam dominadas por interesses e desejos individuais — nesse sentido, objetivas.

Mas este não é o fim da questão, a representação não deve ser submetida a definição: é inesgotável como sujeito. (Fraassen 2008, 31)

12 PROJETOS TECNOCIENTÍFICOS

12.1 Validação, dois estudos

Antes de qualquer implementação projetual de carácter artístico, foi para nós bastante claro que tínhamos de desenhar e executar experiências controladas com variáveis que pudessem validar as ferramentas e também clarificar algumas ideias e hipóteses que colocámos em relação ao seu potencial. Ou, se o não conseguíssemos totalmente, pelo menos com a uma objetividade tal que nos permitisse confiança para avançar com a investigação e prática.

Os dois estudos descritos seguidamente foram apresentados em: *Digital Media Doctoral Symposium*, UT Austin | Portugal, Futureplaces, Media Lab for Citizenship, a 15 de outubro de 2014²²⁹, no UPTEC PINC, da Universidade do Porto²³⁰. Parte dos trabalhos, e das pessoas envolvidas nestes, dos quais derivou o primeiro estudo, foram protagonistas no capítulo 2 do programa Ciência 2.0 denominado *Cérebro, Emoções e Fado*²³¹ produzido em 2013 pela HOP Filmes, patrocinado pela Universidade do Porto e exibido pela RTP a 08 de maio de 2014.

²²⁹ As recolhas do primeiro estudo foram realizadas em julho de 2013 e faziam parte de uma sequência iniciada ainda em 2012 na Escola Superior de Música, Artes e Espetáculos, com vários músicos no seu contexto, cujo objetivo era perceber a dimensão física das oscilações, tanto cerebrais como sonoras e possíveis correlações como relação de fase ou potenciação harmónica. Os trabalhos iniciados em 2012 foram perspetivados no *DiMe 2013, 1st Meeting on Digital Media Research Methods*, 24 de maio, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto: <https://paginas.fe.up.pt/~dime2013/>

²³⁰ *Digital Media Doctoral Symposium* Futureplaces 2014: <http://futureplaces.org/2014-symposium/>. Mais informações em: <http://encephalo.online>

²³¹ https://www.ciencia20.up.pt/index.php?option=com_content&view=article&Itemid=101&id=1247

As características da interface escolhida — Emotiv EPOC Research — estão fundamentalmente descritas em [13.2](#), Capítulo 13. Aí tecemos também alguns comentários sobre algumas especificidades do hardware e software que foram relevantes tanto para a produção científica como artística.

12.1.1 Música e Emoções

Aqui desenhamos uma experiência na qual sujeitos²³² eram expostos a estímulos musicais, numa escolha proposta por eles mesmos, na qual deveríamos inferir se a música ativava o sistema emocional e se, muito importante, a interface Emotiv EPOC Research teria qualidade construtiva e eletrónica suficiente para detetar o fenómeno emocional no caso de ele acontecer de facto.

É relevante sublinhar que à altura já dispúnhamos de bastante literatura de referência que sugeria que, de facto, a música pode desencadear processos emocionais. Porém, praticamente todos eles eram derivados de contextos onde se usavam dispositivos EEG de grau clínico sendo que, em relação ao Emotiv EPOC, a literatura era ainda escassa, sugerindo alguma que o sistema não era comparável aos usados nos contextos clínicos. Mas como a nossa proposta era usar o Emotiv, tínhamos de validar a ferramenta, pelo menos internamente, e parte do propósito da experiência era, pois, focada nessa validação.

²³² Para este estudo foram convidados sujeitos com experiência no estudo e prática da música. Nesta experiência específica participaram dois músicos profissionais do sexo feminino, violinistas, com pelo menos cinco anos de experiência. Foram-lhes explicados os objetivos, os métodos, e os procedimentos. Foi-lhes pedido o seu consentimento tanto para a realização da experiência como para a divulgação dos resultados publicamente, ao qual anuíram sem denotar quaisquer tipos de constrangimentos. Esta experiência ocorreu na Escola Superior de Música, Artes e Espetáculos, numa sala onde geralmente ocorrem aulas, mas foi acautelado um ambiente estabilizado, onde somente as pessoas envolvidas com a experiência estavam presentes. Questionámos os participantes se consideravam que o seu estado estava normal e estável, em termos cognitivos e físicos, à entrada para a experiência e nos preparativos, antes da recolha de dados, por forma a remover, na medida do possível, eventuais e potenciais elementos cognitivos e emocionais parasitas.

O desenho contemplava que cada sujeito reportasse, com base numa Escala de Likert²³³, onde 1 correspondia à informação “sensação muito leve” e 5 a “sensação extrema”, imediatamente após a exposição aos estímulos e à respetiva recolha dos dados eletrofisiológicos, diretamente nos respetivos vídeos a amplitude de ativação emocional por si detetada conscientemente, e nessa condição imputada aos respetivos momentos.

Colocámos a hipótese de que se o auto-reporte de deteção de emoções fosse equiparável ao reporte computado poderíamos assumir que a captação provida pela interface-sistema era eficiente e robusta.

A experiência foi baseada na Teoria da Assimetria Alfa, que propõe que os fenómenos emocionais derivados da exposição a estímulos podem ser detetados pela análise da assimetria de amplitude elétrica inter-hemisférica do córtex pré-frontal na banda de frequência Alfa (8 Hz - 12 Hz) (Coan e Allen 2004; Briesemeister et al. 2013; Du e Lee 2015).

O desenho pressupunha ainda que a experiência, para além da recolha propriamente dita, fosse filmada num iPad²³⁴. Este estava apetrechado com uma aplicação de vídeo²³⁵ que permitia anotar nos vídeos captados, escrevendo-se manualmente e diretamente sobre o ecrã, isto é, sobre os vídeos eles mesmos. Para além disso operava e gerava *timecode*²³⁶ interno, com a possibilidade de ser exportado em formato XML²³⁷. Isso permitiria análise e correlação de, e entre, vários dados. O EEG foi gravado em formato EDF²³⁸ usando o TestBench da Emotiv.

²³³ A Escala de Likert é um método usado frequentemente em questionários, sobretudo em pesquisas de opinião, que usa uma escala na qual os questionados especificam o seu nível de concordância com uma afirmação (Likert 1932).

²³⁴ Apple Inc. (<https://www.apple.com>)

²³⁵ Scribbee, DFTi, LLC (<https://appadvice.com/app/scribbee/496099951>, n/d)

²³⁶ O termo geralmente usado é *timecode*. Alguns livros técnicos traduzem-no para *código de tempo*.

²³⁷ XML, Extensible Markup Language em inglês, é uma recomendação do Consórcio da Word Wide Web para linguagens de marcação genérica (<https://www.w3.org>).

²³⁸ O EDF é o acrónimo de Formato Europeu de Dados. É um formato simples e flexível para troca e armazenamento de sinais multicanal biológicos e físicos. Foi publicado em 1992 e desde então tornou-se o padrão nas gravações EEG e Polissonografia (<https://www.edfplus.info>).

O processamento dos dados seguiu a metodologia recomendada na literatura de referência. Isso implicou, dando somente dois exemplos relevante, análise e remoção da linha-de-base e de componentes (como aqueles gerados pelo piscar dos olhos).

Os algoritmos utilizados para a computação, foram baseados nas expressões matemáticas canónicas para a deteção de fenómenos emocionais no paradigma que computa a assimetria Alfa:

$$A = \log(R) - \log(L)$$

onde A representa assimetria, R se refere ao poder de Alfa do sítio frontal direito, e L o do sítio frontal esquerdo. Esta fórmula diz que se a A aumentar isso denota uma maior atividade de Alfa à direita em relação à esquerda o que, por sua vez, significa uma menor ativação cortical à direita do que à esquerda, respetivamente ou o inverso, isto é uma maior ativação esquerda. Como vimos, a assimetria inter-hemisférica frontal pode significar processamento emocional.

Computámos os sítios F4 versus F3 e F8 versus F7 de acordo com a generalidade das recomendações da literatura e dos conselheiros. Os resultados iniciais foram relevantes e suficientemente interessantes para avançarmos com confiança, mas também porque tínhamos de acautelar a lógica e o tempo disponível para os estudos de validação. Comparámos também os sítios com ferramentas que permitiam a visualização e análise em tempo-real: o TestBench e o EDF Browser²³⁹.

Os algoritmos foram gentilmente cedidos por Pedro Manuel Rocha Almeida, doutorado em Psicologia, investigador e membro do laboratório de Neuropsicofisiologia da Faculdade de Psicologia e Ciências de Educação da Universidade do Porto, tendo este também sugerido orientações no que diz respeito à metodologia, processamento, observação e leitura dos resultados. Teve ainda apoio científico de Francisco Marques Teixeira, psicólogo e neurocientista; de João Sousa Lopes, engenheiro; da Escola Superior de Música, Artes e Espetáculos; e da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

²³⁹ Por Teunis van Beelen (<https://www.teuniz.net/edfbrowser/>) numa versão compilada por nós para Mac Os X.

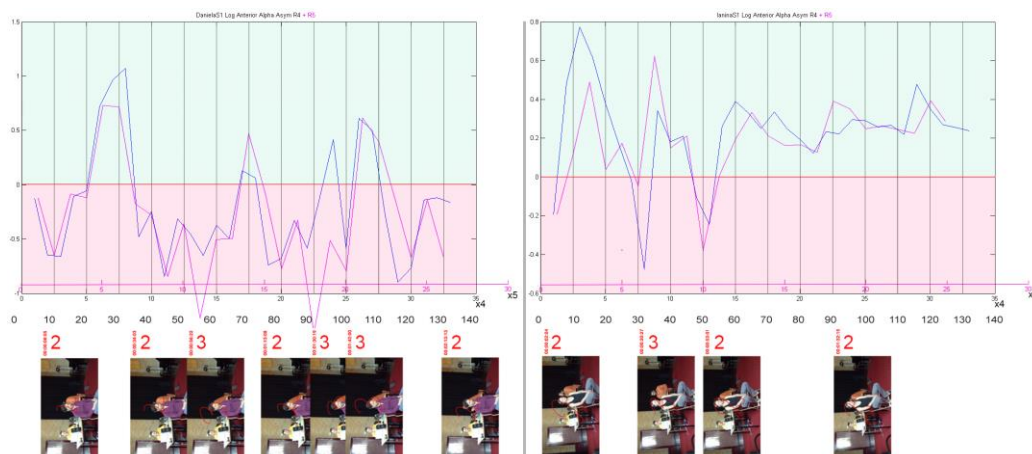


Fig. 46: *Música e Emoções (Ciência 2.0).*

As duas imagens mostram os resultados dos dois sujeitos. As curvas azul e magenta, e a flexão/deflexão destas, denotam a computação. A amplitude defletida é a de interesse. As fotos têm inscrito os índices que os próprios músicos escreveram. Sobre estas lê-se o ponto no código-tempo e o índice reportado mais destacado. Destaca-se a relação dos reportes não só no tempo, mas também na amplitude. A computação foi realizada com mais do que uma resolução para fins de verificação.

Apesar da amostra se ter baseado numa experiência piloto assente em tentativa-única, ou quase-única, pois apenas usou duas sessões de/e dois participantes, os resultados, mesmo que não passíveis de generalização em termos de estatística alargada devido à dimensão da amostra, foram de encontro à nossa hipótese, denotando uma precisão relevante do sistema, que sugeriu confiança e motivação suficientes para continuar a usar o equipamento — sem preconceitos, sem, contudo, deixarmos de continuar a exercer a vigilância científica necessária na aplicação dessas ferramentas.

É relevante dizer que houve várias vertentes de interesse, algumas das quais fundamentais no contexto da hipótese do estudo, nomeadamente a correlação cronológica e a correlação de amplitude: a deteção emocional no vetor tempo, X , nos pontos específicos onde aconteceram, e a deteção da amplitude, Y , emocional nos respetivos pontos. Sugeriu outro aspeto importante: que as pessoas, ou retêm na memória os eventos emocionais que o seu sistema — corpo e cérebro — processa, pelo menos por algum tempo; ou que, quando expostos aos mesmos estímulos passam pelos mesmos eventos emocionais, apesar de o reporte ser realizado no vídeo e isso implicar uma relação de certa forma diferente com o estímulo. Finalmente, ao coincidirem os auto-reportes com a computação, pelo menos em proporções que mereceram a atribuição de valor correlacional, isso

significava que o dispositivo respondia corretamente ao pretendido e às necessidades.

Foi de tal forma interessante, pelo menos no nosso ponto-de-vista, que será uma das experiências a replicar futuramente, nomeadamente com outros sistemas EEG/BCI e noutros contextos laboratoriais, inclusive aqueles dedicados à eletroencefalografia científico-clínica.

12.1.2 *willRacer - A brain controlled electromechanical vehicle*

Este projeto foi o estudo, aplicação prática e prova de efetividade e viabilidade das características e funções de inteligência artificial do Pacote de Desenvolvimento da Emotiv — Emotiv Research SDK —, no seu módulo Cognitiv Suite. Relembramos que o nosso projeto dependia de duas grandes vertentes permanentemente relacionadas: a utilização de métricas relacionadas com os fenómenos emocionais, espontâneos pré-conscientes, ou provocados conscientemente, como forma de denotar, justamente, os processos emocionais, e a volição, isto é, funções executivas conscientes deliberadas, enquanto mecanismos atuadores, como forma de controlar eventos e/ou objetos, fossem eles digitais ou físicos.

Geoff Mackellar, o cientista engenheiro diretor técnico da Emotiv Inc, apesar de, por motivos de proteção de propriedade, não poder divulgar detalhadamente as especificidades técnicas, algorítmicas e computacionais dos módulos Emotiv, vinha a contribuir com respostas claras sobre o assunto, no fórum Emotiv dedicado aos investigadores. No caso do módulo Cognitiv Suite, sugeria que os algoritmos de deteção e os classificadores são bastante efetivos a partir da computação de um só comportamento “neutro”, estado que estabelece o padrão de comparação, e até quatro épocas bastante curtas, de somente cerca de 8 segundos, de intenções-ação. Estas bases tornar-se-iam imediatamente efetivas para atuar se treinadas corretamente, se cada sujeito conseguisse convocar padrões semelhantes a cada intenção-ação associada, previamente treinada. Mas, ainda assim, referia também, que o sistema aprimorava sempre que o mesmo sujeito fizesse mais sessões com a mesma identificação.

Sabíamos também, pela leitura do manual e pelas suas informações, que o módulo Cognitiv Suite estava desenhado de tal forma que permitia usar qualquer tipo de padrão, desde que o sujeito conseguisse replicar esse padrão, incluindo

sinais derivados de expressões faciais, ou seja, atividade muscular (sinais eletromiográficos). Todavia, Geoff Mackellar destacava de forma veemente, que o uso de sinais cerebrais reais, puros, para executar ações, sobretudo após alguma experimentação, seria o mais adequado e eficaz pela razão de que é a maneira mais confiável e reprodutível de produzir sinais de controle independentes de movimento ou comunicação (como dançar, cantar ou falar), destacando alguns estudos, por exemplo, relacionados com sujeitos com Síndrome do Encarceramento, aqueles que não têm qualquer atividade muscular, que conseguiram usar o sistema.

O problema era que o entendimento dos conceitos que serviam de base às instruções que eram necessárias para treinar os algoritmos — o nosso entendimento e dos vários sujeitos que participaram nestas experiências —, apesar de haver um entendimento mais ou menos consensual sobre eles, era (e é) subjetivo, intra-sujeito e, em boa verdade, não generalizável. Os pensamentos mesmo que focados num qualquer signo assinalado, são essencialmente voláteis, demasiado heterogêneos e dependentes do sujeito que o pensa.

Isto significou que tivemos de repensar várias vezes a abordagem aos treinos, nomeadamente no que respeita aquele que é dedicado ao estado “neutro”, pois é aquele que potencialmente teria mais problemas de ser entendido objetivamente enquanto conceito e, conseqüentemente, potenciar um estado-comportamento passível de ser classificado de forma robusta, claramente discriminável em relação aos outros comportamentos relacionados com comandos-ação necessários posteriormente para controlar objetos e eventos.

Uma das alterações foi passar a treinar o sistema com base numa conceção multimodal, pois esta vinha sendo sobretudo unimodal, passando a utilizar esquemas de associação como, a exemplo, pensar “esquerda” simultaneamente com focar na mão esquerda, ou na parte esquerda do corpo, mas, como será óbvio — para não introduzir outro tipo de génese elétrica —, não fisicamente, isto é, não deslocando o olhar para essas partes corporais. Estas novas abordagens vieram a revelar-se muito mais eficazes do que as até então usadas, produzindo resultados muito consistentes que motivaram o seu uso em experiências subsequentes, tanto connosco, como com participantes terceiros, sendo que, neste caso, a estratégia recaiu sobretudo sobre as instruções.

A materialização projetual foi um carro brinquedo²⁴⁰ telecomandado e aplicações de código aberto dedicados às práticas e projetos faça-você-mesmo. Era constituído por eletrónica baseada em microcontrolador AT Mega48V,²⁴¹ interface de comunicação sem-fios Bluetooth, 2 mini-motores a corrente contínua, um para mover para frente-e-para-trás e outro para manipular a direção, alimentação por bateria de Polímero de Lítio. O brinquedo era controlado por radio-frequência, via protocolo série-Bluetooth, de uma aplicação protótipo original desenhada e programada por nós no ambiente de programação Max, usada para o controlar a partir das matrizes gravadas no módulo Cognitiv Suite com base nos respetivos treinos, às quais o Max recorria via protocolo Open Sound Control.



Fig. 47: *willRacer*, controlado pelo investigador.

A composição fotográfica é um quadro de uma reportagem filmada com multi-câmaras, numa das experiências laboratoriais onde se realizaram treinos e demonstrações com vários sujeitos. Este quadro em particular denota o investigador a prosseguir com uma das demonstrações. Vídeo: Gema Azul, Lisboa.

²⁴⁰ O qual designámos de *Brinquedo Sério* num paralelo com a designação *Jogos Sérios* porque o projeto tinha um âmbito mais voltado para possibilidades de uso em contextos como educação, ciência ou terapêuticos, e não de entretenimento.

²⁴¹ ATmega48V da Microchip (<https://www.microchip.com/wwwproducts/ATmega48>).



Fig. 48: *willRacer*, sessão de explicação e treino.

Dois quadros de vídeos gravados nas mesmas sessões de demonstração ilustradas na imagem anterior. Destaca-se a interface desenhada em Max e a ativação de um comando (esquerda), por parte do sujeito. Vídeo: Gema Azul, Lisboa.

willRacer foi codesenvolvido com Francisco Marques Teixeira²⁴².

Este projeto foi alvo da possibilidade de patente. A hipótese foi mesmo avaliada e discutida em reuniões com os responsáveis do gabinete de propriedade intelectual, industrial e patentes da Universidade do Porto. Não chegou, contudo, a ser submetida devido a constrangimentos (recursos e tempo).

²⁴² Francisco Marques Teixeira e Horácio Tomé Marques são cofundadores do coletivo MUARTS (MμArts), um coletivo dedicado ao cérebro, media, neurofeedback e neurotecnologia. Este projeto foi desenvolvido num duplo contexto: investigação doutoral e coletivo. O coletivo MUARTS foi fundado em 2012 por quatro investigadores: Horácio Tomé Marques e Tiago Rocha, ambos estudantes do programa doutoral na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, e Francisco Marques Teixeira e Sofia Leite, ambos ligados à Faculdade de Psicologia e Ciências da Educação da Universidade do Porto. Cada membro tinha uma missão ancorada na suas características e interesses: Horácio, neuroart; Tiago, neuromarketing; Francisco, neurofeedback; e Sofia, neurocoaching. Apresentaram o seu projeto, designado de *MμARTs project - amplifying the inner, connecting selves* (Projeto MμARTs, amplificando o interior, conectando eus), propósitos e prática experimental no *Doctoral Symposium, Future Places 2012* (<http://archive.utaustinportugal.org/uploads/pubs/futureplaces-2012-doctoral-symposium.pdf>)

13 PROJETOS ARTÍSTICOS

13.1 Contributos para a representação do cérebro em (re)ação

Não era possível materializarmos nenhum objeto de caráter e missão artística sem antes termos criado condições para o fazermos, mas o objetivo derradeiro, o destino da nossa investigação, é artístico. Com o propósito de dar ao leitor uma visão global da implementação técnica e da lógica a esta subjacente, incluindo âncoras de racional científico, esta secção, prévia à descrição dos projetos artísticos, elenca, descreve e ilustra sinteticamente, as principais componentes, passos, fluxos e processos dessa implementação. Algumas particularidades técnicas são específicas e exclusivas de cada projeto. Nesse sentido, aquando das explicações de cada projeto, particularidades inerentes serão descritas e explicadas.

13.2 Fundamentais técnicos

13.2.1 Interface EEG/BCI

- Emotiv Epoc, versão Research;
- Número de canais: 14, mais referências CMS/DRL²⁴³, nos locais P3/P4 (alternativa: mastoides, esquerda/direita);
- Nomes dos canais, baseado no Sistema Internacional 10-20: AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4;

²⁴³ CMS/DRL são acrónimos de *Common Mode Sense / Driven Right Leg*. Refere-se a 2 elétrodos que formam um circuito de realimentação, que conduz o potencial médio do sujeito (a tensão de Modo Comum) o mais próximo possível da tensão de referência ADC, isto é, do Conversor Analógico-Digital, referência que pode ser considerada como o "zero".

- Método de recolha de amostras: sequencial, com ADC, Conversor Analógico-Digital²⁴⁴ simples;
- Taxa de amostragem: 128 amostras por segundo, 2048 Hz internos;
- Resolução: 14 bits, 1 LSB²⁴⁵ = 0.51 μ V (16 bit ADC, descartados 2 bits de ruído instrumental base);
- Largura de banda: 0.16 Hz a 43 Hz, com filtro rejeita-banda²⁴⁶ digital 50 Hz e 60 Hz;
- Filtragem: Filtro digital Sinc²⁴⁷ de 5ª Ordem, integrado;
- Gama dinâmica, referência à entrada: 8400 μ V, ponto-a-ponto;
- Método de acoplamento: AC²⁴⁸
- Conectividade: Sem-fios²⁴⁹, protocolo Bluetooth, mais recetor / adaptador USB / Bluetooth proprietário, banda 2.4 Ghz;
- Energia: Bateria Polímero de Lítio, 640 mAh;
- Medição de impedância: sistema patenteado, proprietário, de verificação de contacto em tempo-real;

13.2.2 Posição relativa dos sensores

Como vimos no Capítulo 3.3.1, Os sítios do EEG, os sítios do Sistema Internacional 10-20 são importantes porque têm uma relação de proximidade com zonas funcionais do cérebro e isso tem sido crucial como fator de ponderação na conceção dos sistemas EEG/BCI. É importante fazer aqui uma referência à posição dos sensores adaptada pela Emotiv e a algumas características físicas da interface que têm impacto na sua utilização relativa a este paradigma. Por exemplo, alguns sítios daquele sistema não estão presentes na versão Emotiv.

²⁴⁴ Comummente designado somente de ADC, acrónimo de *analog-to-digital converter*.

²⁴⁵ Bit com menos significado.

²⁴⁶ Comummente designado de *notch*.

²⁴⁷ Filtro Sinc é um filtro que tem por objetivo remover componentes de frequência acima de uma determinada frequência de corte, ou de referência, a partir da qual o filtro passa a atuar.

²⁴⁸ AC designa Corrente Alternada. O acoplamento AC consiste na utilização de um capacitor para filtrar a componente DC (Corrente Contínua), que atua como um deslocamento. Removendo esta componente, dos sinais, pode-se aumentar a resolução dos sinais medidos (National Instruments, 1999)

²⁴⁹ Designação comum: *Wireless*.

Optaram por outros, mais relacionados com a versão 10–10 (Jurcak, Tsuzuki, e Dan 2007, 10).

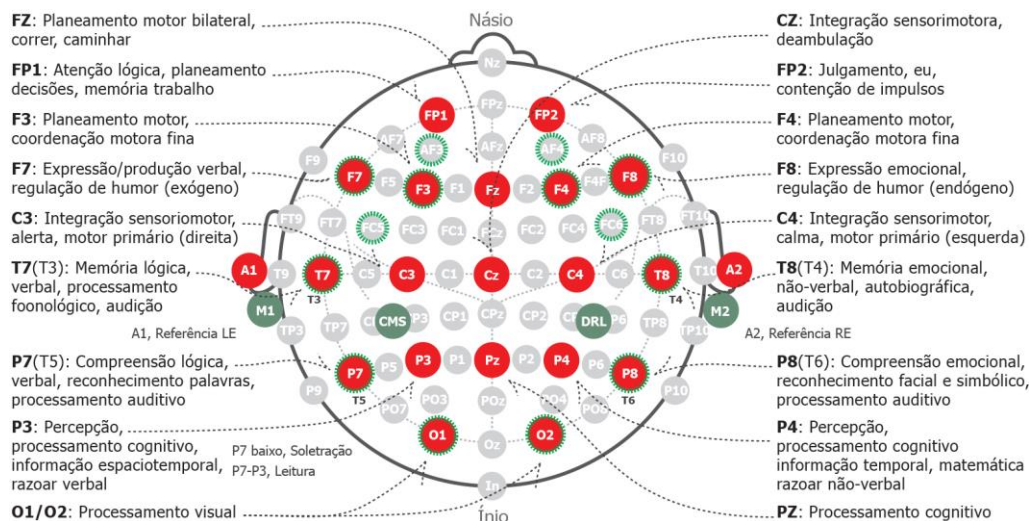


Fig. 49: Sistema 10 – 20 e funções.

O organograma integra a adaptação da Emotiv — tracejado verde, mais círculos verdes — ao Sistema Internacional 10-20 e o próprio sistema — círculos vermelhos. Destacamos a proximidade com áreas funcionais significativas neste esquema e que os sítios da Emotiv não coincidem totalmente com o padrão do sistema internacional em todos os seus elétrodos. Alguns nem sequer estão presentes naquele sistema, como os frontais AF3, AF4 e FC5, FC6 que estão sim pressupostos e inscritos na versão 10 – 10 do sistema. Adaptação síntese de: (Walker, Kozłowski, e Lawson 2007).

De notar também que o Córtex Motor Primário, abrangido, grosso-modo, pelos sítios C3, C4 não está contemplado. Mas conhecermos esta realidade e termos estudado exhaustivamente literatura de referência sobre as localizações das funções, e as respetivas teorias e postulados relacionados com essa dimensão, permitiu-nos concluir que aqueles aspetos não retiravam à interface as características que víamos como necessárias para desenvolver a nossa investigação e projeto(s).

Não conseguimos obter informações precisas sobre o porquê daquelas opções. Mas podemos referir que os braços da interface não são completamente rígidos. Pelo contrário, são flexíveis e, assim, o seu reposicionamento pode configurar proximidade com outros sítios relevantes necessários a cada desenho e uso específico. Outras opções de ajuste a sítios de interesse, podem passar por, por exemplo, rodar ligeiramente a interface no eixo sagital, mas observando o

consequente desvio dos sensores frontais e occipitais que se pode tornar problemático no que concerne a aquisição e computação de sinais relacionados com esses sítios (caso sejam necessários ao desenho da experiência/projeto).

13.2.3 Recolha, conversão, encriptação/descriptação e transmissão

A interface EEG/BCI Emotiv regista sinais do cérebro com 14 canais EEG, mais referências CMS/DRL, numa lógica sequencial circular.

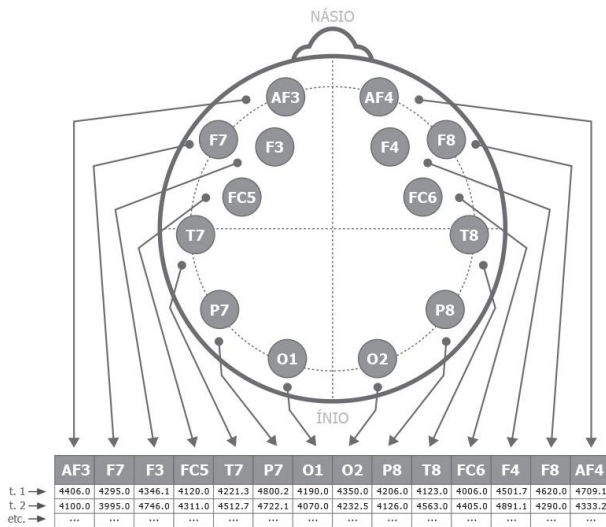


Fig. 50: Lógica de recolha Emotiv EPOC.
Diagrama da lógica de captação e disponibilização de dados da interface Emotiv EPOC.

Os dados são seguidamente enviados em fluxo sustentado por rede sem-fios de protocolo Bluetooth para o sistema recetor (computador) pela via de um adaptador USB Bluetooth, usando encriptação proprietária da Emotiv. São, depois, descriptados pelo Pacote de Desenvolvimento de Software de Investigação Emotiv, Emotiv Research SDK. A Interface de Programação de Aplicações Emotiv, Emotiv API, na versão de investigação, permite o acesso e exportação aos dados EEG em bruto, numa abstração numérica em representação dos microvolts. O valor médio flutuante (nível DC), é posicionado próximo de 4200, com tensões positivas transmitidas acima desse valor e negativas abaixo desse valor.

As gravações de sessões EEG podem ser realizadas com a aplicação Emotiv TestBench. Esta permite a criação de sessões por sujeito e inscrição de vários metadados explícitos, como identificação do sujeito, da sessão, da data e tempo de sessão. Permite ainda inscrição de marcadores, no caso da experiência pressupor marcar determinados momentos de, a exemplo, deteção de estímulos. Os dados podem ser gravados em formato EDF. Podem ser carregados na aplicação posteriormente, operados e (re)revistos se necessário. Permite ainda a exportação para tabelas de padrão comum²⁵⁰ para uso noutras aplicações, por exemplo análise estatística.

Para além do acesso a dados em bruto, o sistema Emotiv implementa, como vimos, o Emotiv Control Panel, que computa os dados com base em algoritmos proprietários e paradigmas, personalizados, configurando e disponibilizando métricas relacionadas com expressões, no módulo Expressiv Suite, emoções, no módulo Affectiv Suite e controlo volitivo, no módulo Cognitiv Suite. Pode-se aceder a estas métricas sem recorrer à versão de investigação.

Para aceder e transferir dados entre o sistema Emotiv e as aplicações de criação, programação e manifestação artística podem ser usados: para os dados em bruto, as aplicações Mind Your OSCs²⁵¹, versão Windows²⁵², e HoMy_EmoRAW²⁵³, versão Mac. Para acesso aos dados computados pelo Emotiv Control Panel Mind

²⁵⁰ Por exemplo CSV, Valores Separados por Vírgulas usados por aplicações de cálculo.

²⁵¹ Mind Your OSCs é uma aplicação baseada no protocolo Open Sound Control que serve de interface entre a Emotiv API e aplicações capazes de comunicar com base naquele protocolo, por exemplo Max. O autor original de Mind Your OSCs é Raymond Herron (bitrayne). Mind Your OSCs tinha duas versões no sistema operativo Microsoft Windows. Uma, EEG, que permitia acesso aos dados em bruto Emotiv. Outra que permitia acesso ao Emotiv Control Panel e às métricas computadas por cada um dos seus módulos. Para sistema operativo Apple Mac OS X existia apenas esta última.

²⁵² A versão que começámos a usar, desde 2013, denominava-se Mind your OSC's RAW version-COD. Estava disponível no sítio do VVVV, um ambiente híbrido de programação visual/textual ao vivo para prototipagem e desenvolvimento de aplicações e projetos de carácter tecno-artístico (<https://vvvv.org/>). De acordo com alguns ficheiros de demonstração, foi desenvolvida com base no trabalho de Raymond Herron. Sabemos, por mensagens trocadas diretamente com Raymond, que ele criou, de facto, o Mind Your OSCs nas duas variantes. Nunca desenvolveu a versão EEG para Apple Mac OS X e, de acordo com as mensagens, sabíamos que o não iria fazer.

²⁵³ Uma aplicação desenvolvida por nós que, justamente para colmatar a falta de uma aplicação tipo Mind Your OSCs, versão EEG, para Mac. É baseada em Open Sound Control e Java (ver Anexo Técnico).

Your OSCs, versão Mac. Os dados são transferidos em listas agregadas de pacotes OSC com base no protocolo de rede UDP e portas específicas desta.

13.2.4 Endereçamento seletivo de dados

Dentro da aplicação usada para a implementação projetual as listas necessitam de ser desagregadas para que os dados nelas encapsulados sejam orientados e usados de acordo com o desenho e as necessidades experimentais. O Max foi o nosso ambiente principal de implementação. Neste usam-se os objetos UDPRECEIVE, protocolo UDP com discriminação de porta, acoplado a OSC-ROUTE para endereçamento específico OSC de cada canal, no caso dos dados em bruto, e/ou endereçamento de métricas Emotiv pré-computadas pelos módulos do Emotiv Control Panel. Se os dados tiverem de ser aplicados noutra máquina que não a de receção usa-se o objeto UDPSEND, inscrevendo o endereço de rede e porta específicos da máquina de destino.

Para uma gestão integrada e monitorização dos dados e da ativação de padrões previamente treinados no Cognitiv Suite, a implementação tinha a forma de painel de controlo que incluía objetos número que denotavam as flutuações dos vários dados e barras deslizantes, baseadas em objeto SLIDE, correlacionadas com as amplitudes de cada padrão em ativação.

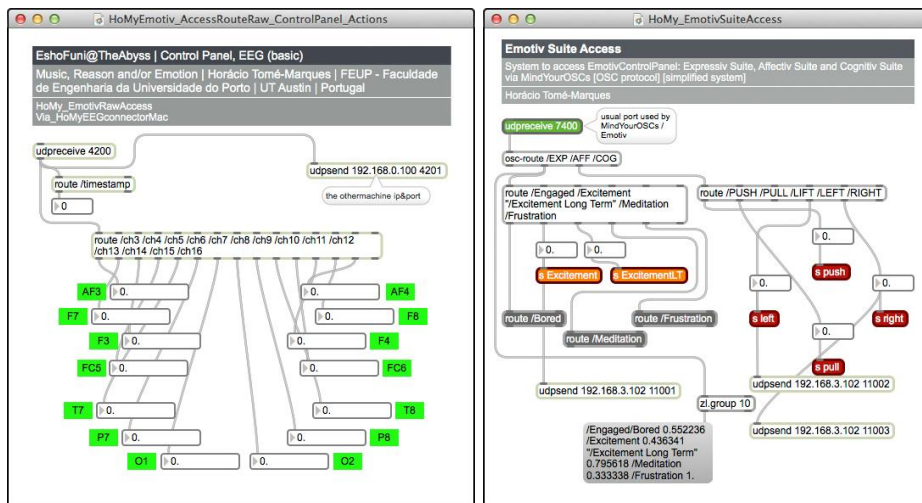


Fig. 51: Receção e endereçamento Max.

Imagens de ecrã de duas implementações de dois PATCH de receção, distribuição, envio de dados em bruto, à esquerda, e dados com origem no módulo Cognitiv Suite, à direita. Os dados podem ser enviados para um PATCH paralelo (aberto em simultâneo) ou encapsulado P PATCHER ou por rede para outra máquina [UDPSEND].

13.2.5 Filtragem e extração de sinal

Para seleção de frequências específicas foram usados uma série de filtros digitais monopolares e multipolares, entre passa-banda e rejeita-banda, e funções iteradas tanto para rejeição como para segregação de sinal em bandas de frequência e amplitudes específicas. Em termos de filtros usamos fundamentalmente a biblioteca MnM²⁵⁴. Mas também programamos outras rotinas baseadas em sugestões de referência de áreas tanto da ciência como das artes.

Em termos de sequência é fundamental que o sinal base esteja o mais limpo possível antes de seguir para extração de frequências de interesse. Por forma a acautelar a componente DC²⁵⁵, e de acordo com as sugestões da Emotiv, implementamos e usamos dois métodos. O método de cálculo de média, por canal, com base na captação de duas épocas, uma de olhos-fechados e outras de olhos-abertos, mínimo de 30 segundos cada situação, e subtração da média, estabelecendo a base padrão zero, a partir do qual são calculadas as flutuações de amplitude dos elétrodos, ou seja, sítios de interesse. O segundo método usa filtro Passa-alto, de primeira ordem, de 0.16Hz.

²⁵⁴ MnM, "*Mapping is not Music*" é uma biblioteca (Bevilacqua, Müller, e Schnell 2005) constituída conjunto de objetos externos para Max que operam, principalmente, sobre matrizes de valores flutuantes e também valores arbitrários. São baseados em FTM que é uma biblioteca partilhada para Max. Esta é baseada em múltiplos objetos externos dedicados a estender os tipos de dados trocados entre objetos num PATCH relacionados com estruturas de dados complexas, como sequências, matrizes, dicionários, funções, entre outros, para o processamento de dados capturados — música, som e movimento. São iniciativas de vários membros do IRCAM Real-Time Musical Interactions, IRCAM - Institut de Recherche et de Coordination Acoustique/Musique, Centre Pompidou, Paris, França. FTM&Co: <http://ftm.ircam.fr/>

²⁵⁵ A componente DC é a amplitude média de um sinal. O deslocamento DC (DC Offset) é o desvio da média da base (zero). Se a amplitude média é zero a não existe tendência. A conversão analógica-digital de um sinal pode ser uma das fontes da componente e pode ser considerado sinal de fundo indesejável. A Emotiv recomenda: para remover o deslocamento DC, especialmente antes de realizar qualquer tipo de análise como a Transformada Rápida de Fourier (FFT), deve-se aplicar algum método de remoção de deslocamento DC. O método mais simples é subtrair a média de todos os dados do canal, embora este seja o menos preciso. Idealmente, deve-se aplicar um filtro um filtro que corresponda às características dos componentes electrónicas. O mais comum é um passa-alta, de primeira ordem, de 0.16Hz, que deve remover o sinal de fundo. Este também remove quaisquer derivas de longo prazo (*drift*), o que não é alcançado por método de subtração média. Outra forma é usar um filtro IIR para rastrear o nível de fundo e subtraí-lo (em: Manual Emotiv EPOC Research).

Seguidamente, filtros MnM passa-banda dedicados à segregação de bandas de frequência de interesse são usados para extrair Alfa e Beta (as que estiveram presentes nas nossas implementações projetuais).

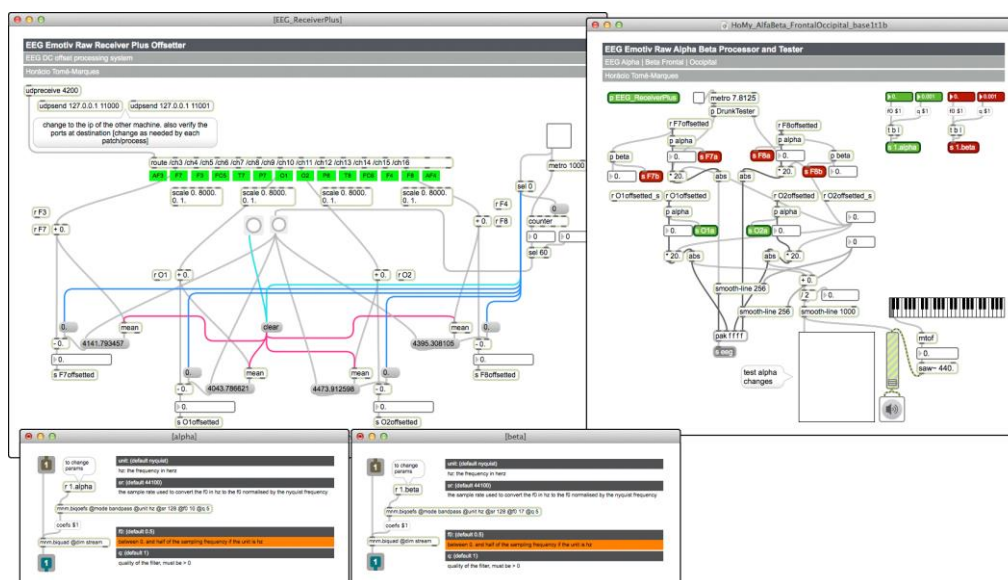


Fig. 52: Filtragem: remoção e seleção de frequências.

Imagens de ecrã dos vários PATCH e p PATCHER usados para a filtragem de sinal. Em cima à esquerda, a implementação em P PATCHER encapsulada na *patch* da direita, baseada em cálculo de média, por um tempo determinado e subtração ao sinal de entrada. No PATCH da direita, onde aquele está encapsulado, vemos os P PATCHER dos filtros de segregação de Alfa P ALPHA e Beta P BETA, visíveis nas imagens de baixo. Também visível na imagem de cima da direita, o método para verificação do(s) filtro(s), através de monitorização visual e áudio.

Por forma a verificar cada sessão, usámos a segregação de Alfa occipital que alimenta com a sua amplitude um objeto visual de barras múltiplas deslizantes MULTISLIDER, e um gerador de áudio baseado em oscilações triangulares SAW~ e frequências determinadas por números MIDI²⁵⁶ convertidos em frequência

²⁵⁶ O MIDI, Musical Instrument Digital Interface, em inglês, designa interface digital de instrumentos musicais. É um padrão de interconexão — interface digital, protocolo e conexão — e lógica para a comunicação em tempo real entre instrumentos musicais eletrónicos, computadores e dispositivos relacionados. Foi criado em 1982 por um consórcio de fabricantes de sintetizadores japoneses e americanos. O MIDI inclui mensagens que especificam várias componentes da música como a altura de uma nota. Por exemplo, o número de nota MIDI 60 corresponde ao Dó central (C4). O Dó central é assim designado porque corresponde a tecla central de um teclado padrão e também porque é a nota que está entre o fim da Clave de Fá (baixos) e o início da Clave de Sol (altos) e que marca o início da quarta oitava (Pejrolo e DeRosa 2009). Outras informações em: <https://www.midi.org>

MTOF que reagem à variação de amplitude. Como Alfa tem uma amplitude diferente entre olhos abertos e olhos fechados isto permite detetar se o(s) filtro(s) tem de ser calibrado na sessão. Os filtros permitem a seleção e calibração do centro da frequência (f_0)²⁵⁷, da qualidade (q)²⁵⁸ e também do ganho (gain).

13.2.6 Assimetria frontal Alfa, computação

Para cálculo da Assimetria frontal Alfa implementámos um PATCH que usa o objeto `EXPR` para avaliar e criar resultados de expressões matemáticas. Baseámo-nos no paradigma canónico poder de Alfa do sítio direito menos poder de Alfa do sítio esquerdo, aquele usado em experiências laboratoriais de investigação EEG.

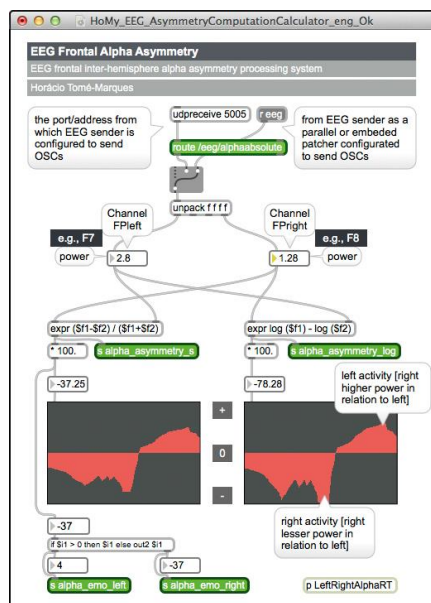


Fig. 53: Cálculo da Assimetria frontal Alfa.

Imagem de ecrã da implementação do cálculo de assimetria, com duas versões de fórmulas equivalentes. A que usa logarítmica exponencia os valores de saída.

²⁵⁷ No qual, a exemplo, (f_0 10) quer dizer que foi escolhido a zona 10 Hz da banda Alfa (8 – 12 Hz) como zona de interesse.

²⁵⁸ Os filtros deixam passar ou rejeitam bandas de frequência. Fazem-no por corte. Esses cortes podem ser mais drásticos ou mais suaves. O fator Q (qualidade) é definido como a proporção do centro da banda de frequência selecionada para filtrar em relação à largura dessa banda. Quanto maior a qualidade, mais drástico(s) o(s) corte(s) e, por isso, mais apertada é a largura incluída na filtragem (Mancini e Carter 2009).

O cálculo da assimetria gera uma variação numérica ativa entre valores positivos e negativos. Este é, seguidamente, separado e enviado para duas saídas diferenciadas, uma relacionada com os valores positivos e outra com negativos, pelo objeto IF²⁵⁹, dedicado a instruções condicionais. Os valores são finalmente usados como base para gerar e/ou controlo de eventos e/ou objetos.

13.2.7 Módulo Cognitiv Suite

Finalmente, parece-nos importante descrever um pouco mais detalhadamente o módulo Cognitiv Suite²⁶⁰ já que este foi central em muitas das nossas experiências. Este módulo inserido no Emotiv Control Panel é constituído por fórmulas e algoritmos proprietários Emotiv destinados a inferir padrões eletrofisiológicos e associá-los a comandos que podem ser atribuídos de forma arbitrária de acordo com interesses e necessidades da implementação e dos designers.

O passo inicial na criação de comandos com base em padrões mentais é o treino do sistema com o objetivo que este reconheça um estado mental de fundo do utilizador, denominado de neutro. Faz-se através da gravação, por um breve período de tempo, de padrões mentais gerais não focados, isto é, sem o utilizador tentar executar nenhum comando específico. Estabelecido o estado mental neutro, guarda-se o perfil de utilizador base e passa-se ao treino de comandos específicos.

Depois de selecionado o rótulo do comando desejado no modo treino, por exemplo PUSH²⁶¹, o utilizador deve imaginar as consequências do comando selecionado durante 8 segundos. Por exemplo, o objeto-alvo deslocando-se para a

²⁵⁹ Este objeto permite fazer uso alargado de funções desta lógica. Por exemplo: se $x > y$ então t1, caso contrário t0, onde t1 pode ser usado para ramificar e desviar números acima ou abaixo de um determinado valor, por exemplo 10, para saídas distintas. Mas também pode ser usado para outras funções, como, por exemplo, iniciar e interromper o movimento de um objeto no ecrã.

²⁶⁰ A descrição articula conteúdos do manual *Emotiv SDK User Manual*, colocado à disposição na instalação do software da Emotiv com entradas baseadas na nossa experiência.

²⁶¹ Rótulos do Cognitiv Suite: PUSH, PULL, LIFT, DROP, LEFT, RIGHT, ROTATE LEFT, ROTATE RIGHT, ROTATE FORWARDS, ROTATE BACKWARDS, ROTATE CLOCKWISE, ROTATE ANTICLOCKWISE, DISAPPEAR.

frente, como se estivesse a ser empurrado e/ou o utilizador a empurrá-lo. Enquanto isso, o sistema regista os padrões mentais que o utilizador está a usar para esse efeito, classifica-os e associa-os ao respetivo comando.

Assim treinado um comando, este fica disponível para ser testado e mais treinado. A repetição do treino baseada na mesma imaginação relacionada com o comando relativo vai adicionando dados ao ficheiro de perfil de utilizador e contribui para a qualidade da classificação. O módulo mostra a qualidade da classificação no ecrã relativo ao perfil ativo. O módulo inclui um ecrã com um ambiente tridimensional e um objeto-alvo 3D que servem de guia visual para gestão de treinos, ações e calibração do sistema.

Depois de treinado passa-se ao modo ação. Assim que o utilizador consegue replicar o padrão classificado, recrutando os argumentos mentais por si imaginados para o treino relativo, o sistema desencadeia o algoritmo que faz com que o objeto-alvo se desloque para a frente (no caso do exemplo PUSH).

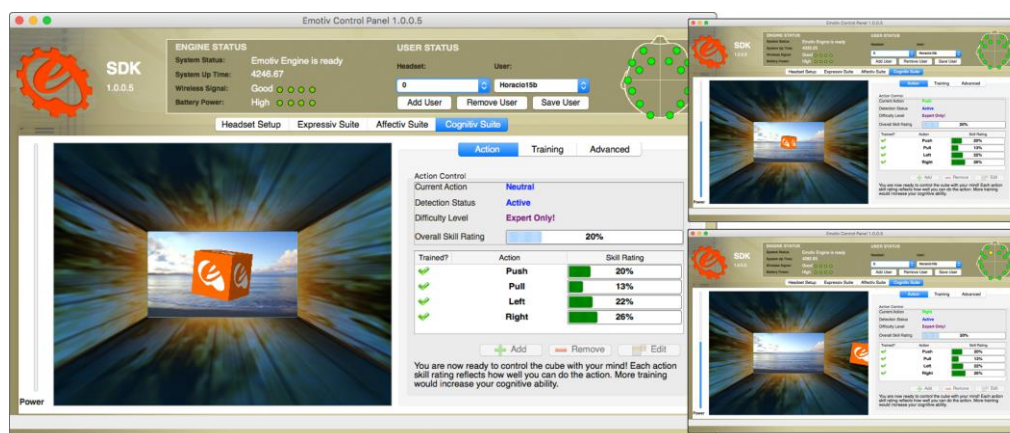


Fig. 54: Treino e testes do Cognitiv Suite.

Imagens de ecrã do módulo Cognitiv Suite do Emotiv Control Panel, versão 1.0.0.5, depois de algumas sessões de treino e pronto para testes de ação. À esquerda, sem qualquer tipo de tentativa de ação; à direita, a replicação bem-sucedida de dois padrões mentais associados respetivamente a PUSH e RIGHT.

O Cognitiv Suite tem mais de uma dezena de hipóteses de ações que podem ser treinadas e usadas, mas quantas mais ações diferentes maiores são as dificuldades de treino, classificação e replicação. Só é possível, por isso, estarem no máximo 4 ações ativas por sessão, sendo esta a versão mais difícil de treinar e usar.

13.3 FROM THE UNSEEN TO THE S[CR]EEN:

ESHOFUNI AN APPROACH TOWARDS REAL-TIME REPRESENTATION OF
BRAIN DATA²⁶²

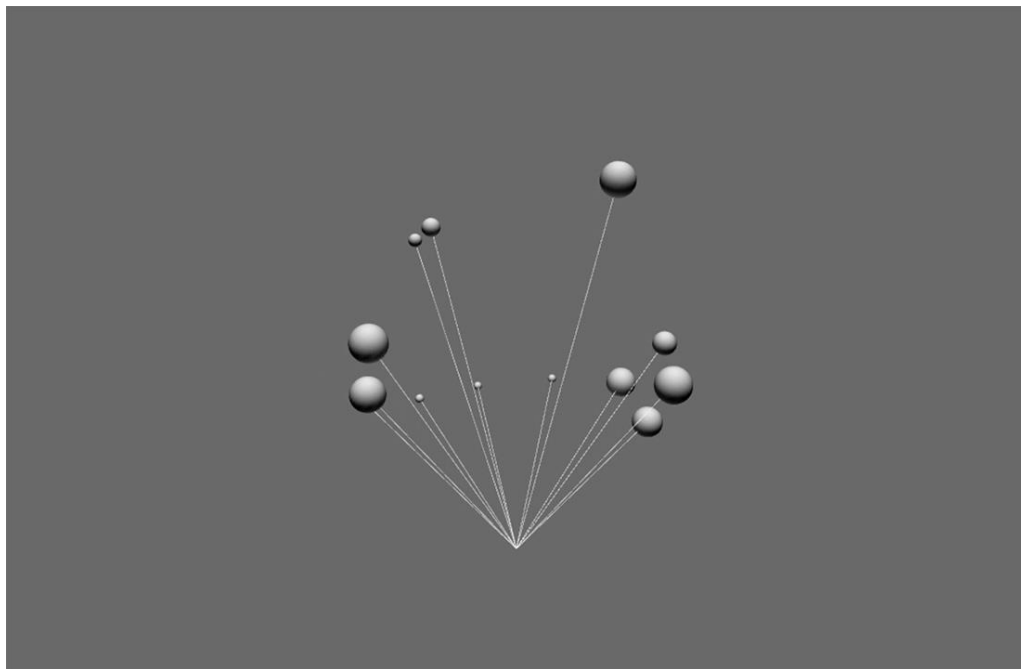


Fig. 55: *EshoFuni*, xCoAx 2014 (1).

Ecrã do projeto (somente com as analogias aos sensores (versão performativa principal)).

²⁶² *EshoFuni*, uma abordagem à representação em tempo-real de dados do cérebro.

Horácio Tomé-Marques: concepção, racional EEG, programação Max

João Menezes: coconcepção, racional computação física, programação Max

Apresentação: xCoAx Computation, Communication, Aesthetics and X, 2014, Porto, Portugal

Documentação av: <https://encephalo.online/eshofuni/> [local]

13.3.1 Introdução conceptual

Neste projeto propusemos uma abordagem de representação em tempo-real de dados do cérebro usando um sistema de física virtual, construído em Max, a partir de dados EEG em bruto. Foi a primeira materialização projetual relacionada com a investigação.

Partindo do estado da arte e do corpo de projetos relativa às representações do EEG, tanto de carácter científico, como artístico, da sua análise e avaliadas algumas questões que se me abeiraram como pertinentes, continha como propósito, para além de uma materialização com essência e sentido artísticos, promover uma reflexão crítica sobre as representações.

Podemos vê-lo como um exercício prático que se inspirou nas metodologias de representação, tanto usadas pelas ciências como pelas artes, baseadas em diferentes estratégias, convenções e propósitos e promovia a reflexão sobre aquelas. Por exemplo, no caso das ciências, a visualização topográfica, o método de representação que implementa a possibilidade de denotar ocorrências específicas dentro de regiões específicas da geografia do cérebro — evento(s) e sítio(s) de um fenómeno — usando esquemas de codificação cromática (pseudo-cores) para denotar e caracterizar ambos os constituintes.

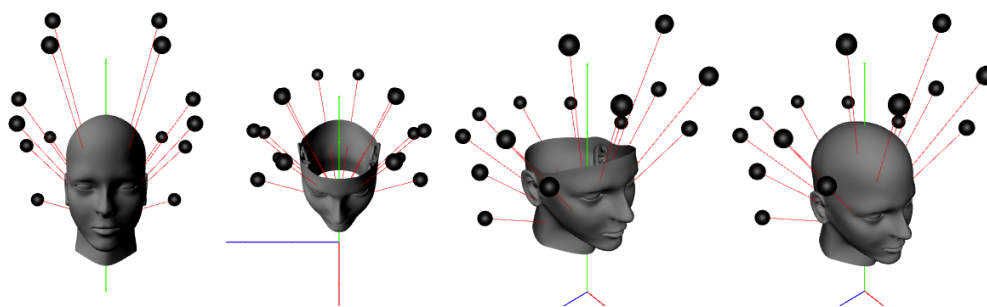


Fig. 56: *EshoFuni*, xCoAx 2014 (2).

Caracterização visual. *EshoFuni* denotava a atividade cerebral pela via da utilização de analogias animadas dos elétrodos (esferas). Presente nesta imagem também duas versões de um modelo de cabeça humana de síntese 3D referencial genérico que faz parte do sistema. Estas podiam estar visíveis ou invisíveis pois o sistema permite a ativação ou desativação desses estados.

A reflexão recaía, não exclusivamente, mas de forma relevante mesmo que não explícita, sobre as limitações impostas por paradigmas de autorregulação de classe às abordagens de representação EEG, que, embora permitam evolução e reconceptualização, replicam convenções e quadros de referência das quais dependem, isto é, de posições fechadas e restritivas. O que me parecia limitador e abria, de facto, a possibilidade de propostas de novos métodos e formas de representação.

A minha motivação estava ancorada, contudo, num duplo aspeto visto que estava a lidar com dois constituintes correlacionados: métodos de representação do fenómeno elétrico do cérebro e, simultaneamente, o fenómeno elétrico em si mesmo. Assim o projeto invocava um paralelismo conceptual inspirado nas leis de movimento e equilíbrio de Newton — lembro: um corpo continua no seu estado de repouso, ou movimento uniforme, a não ser que forças externas o obriguem a alterar esse estado — e a teoria que diz que o cérebro tem um estado padrão capaz de desenvolver atividade espontânea, intrínseca auto-organizada e autorregulada, sem necessitar de estímulos externos, mas para o qual, todavia, estímulos ambientais são cruciais para ser útil para si e para o ambiente e constituintes no qual habita e faz parte. Ou seja, é um sistema que depende da relação que estabelece com o contexto — uma relação ecológica, inter-dinâmica, sinérgica. A denominação *EshoFuni* nasce dessa interpretação. *Esho Funi* é um termo budista japonês: *Esho* é um composto de *shoho*, que significa vida, ou um ser vivo, e *eho*, o seu meio-ambiente. *Funi*, que significa "não dois", indica a unidade ou não-dualidade. É uma abreviação de *nini-funi*, que significa "dois (enquanto fenómenos), mas não dois (na essência)." *Ho* de *shoho* e *eho* significa recompensa ou efeito. Ao nível mais fundamental, da própria vida, significa que não há separação entre nós e o meio ambiente.

Foi também um ensaio técnico sobre as possibilidades de implementação real e objetiva de processamento de dados EEG com metodologias próprias, mas ancoradas e informadas por critérios científicos e observando-as.

13.3.2 Desenvolvimento

O projeto teve na sua base uma proto-versão denominada de *Maximizing phenomena within the Brain*, (Maximizando o fenómeno dentro do Cérebro) iniciada em 2013 e apresentada em novembro desse mesmo ano na sessão 22 da iniciativa Grupo de Leitura, na Faculdade de Belas-Artes da Universidade do

Porto. Em março desse ano fiz uma visita a Austin, Texas, Estado Unidos da América, enquadrada no programa doutoral. A visita desencadeou a produção exercícios conceituais sobre possibilidades de concretização projetual artística relacionada com a investigação. Justamente lá, idealizei e materializei alguns esboços relacionados com o que viria a designar-se posteriormente de *EshoFuni*.

A sua ideação original, que precedeu o desenvolvimento da versão do projeto aqui apresentada, seguindo interesses e propósitos artísticos, tinha uma forte essência e caracterização autoral²⁶³. Os proto *EshoFuni* usavam também modelos 3D antropomórficos, mas personalizados, mais vinculativos formalmente em direção à minha pessoa, isto é, um retrato, mesmo que a sua caracterização mimética não fosse absolutamente literal.

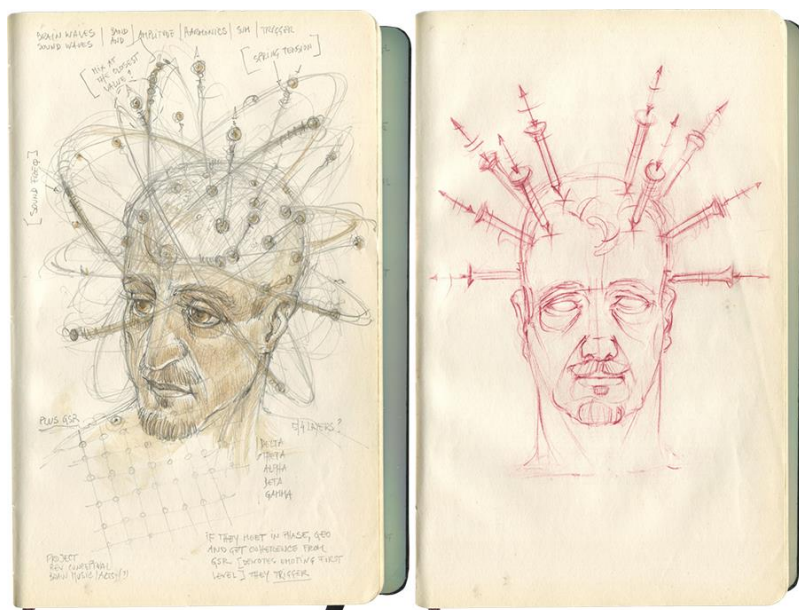


Fig. 57: Proto *EshoFuni*, 2013.

Duas das propostas conceptualizadas, com configuração de potencial autorretrato. A ilustração da esquerda pode-se ver algumas anotações sobre possíveis funções a incluir como geração sonora e utilização de física. Mas também a possibilidade de incluir outro tipo de sinais eletrofisiológicos, nomeadamente baseados na atividade eletrodérmica. Na ilustração da direita vê-se que as analogias aos sensores tinham uma forma e indicavam um movimento que colocava a possibilidade, mesmo que eventual, de interrupção emocional potenciada do recetor e isso era um propósito de potenciação artística que eu perseguia. Essa abordagem não foi, contudo, implementada neste caso.

²⁶³ *EshoFuni* foi, entretanto, despersonalizado por forma a permitir análise cega por parte de cada membro do painel de revisores da conferência xCoAx. Na versão da apresentação nesta conferência o modelo de cabeça humana de síntese 3D usado era genérico e o menos vinculativo possível por forma a manter o anonimato autoral.

Não houve uma conceção narrativa²⁶⁴ formal, nem materialização de qualquer guião vinculativo.

A materialização do projeto foi feita em conjunto com João Menezes²⁶⁵, artista sonoro com trabalho centrado em composição musical, síntese sonora e programação, que conheci em julho de 2013 por intermédio de amigos das artes performativas e membros do programa autoral, incluindo diretores e orientadores. João tinha finalizado em 2012 o seu mestrado na Faculdade de Engenharia com o projeto *SonData*, um conjunto de ferramentas desenvolvido em Max dedicado à sonorização interativa de conjuntos de dados complexos e multidimensionais.

A minha investigação trabalhava com dados complexos e multidimensionais derivados dos sinais cerebrais captados pela interface com 14 canais e tanto nos projetos tecnocientíficos como nos artísticos eu procurava e testava software e soluções programáticas que pudessem responder o mais adequadamente possível à complexidade do fluxo e computação daqueles dados. Também, a materialização projetual tinha uma grande relação com o som, mesmo que não exclusivamente. Ora, sendo o João artista sonoro, compositor, investigador e com experiência em processamento de dados complexos e multidimensionais, e justamente processados em Max com objetivos sonoros, isso alargava o campo de possibilidades de desenvolvimento. Nesse sentido, vi a entrada dele no projeto como possibilidade de trazer um contributo valioso não só na parte técnica, mas também conceptual, artística e performativa²⁶⁶.

²⁶⁴ Uma das teorias canónicas sobre narrativa é a de Gustav Freytag (1816-1895), também designada de pirâmide, ou arco, de Freytag, que propõe a seguinte estrutura: a) Introdução, ou exposição; b) Aumentação, ou ação crescente; c) Clímax, ou culminar; d) Queda, ou ação descendente; e) e Desfecho (Herman, Jahn, e Ryan 2010). É uma configuração que de referência que cobre genericamente o nosso sentido. Não é objetivo do nosso trabalho aprofundar e descortinar as teorias narrativas.

²⁶⁵ <https://cargocollective.com/joaomenezes/about-me>

²⁶⁶ A minha experiência enquanto músico — performance, composição — tem cerca de 40 anos, tanto a solo como em grupo. Ambas as práticas têm sido importantes para mim, mas a que me tem trazido mais potencial de reflexão (e prazer) enquanto artista e investigador é a de grupo já que, justamente, é a que tem permitido troca de ideias, investigação e prática partilhada e reflexão sobre as dinâmicas dos contextos criativos e performativos.

Fizemos uma primeira reunião nessa altura na Casa da Música²⁶⁷, onde lhe falei da essência da investigação / projeto, daquilo que procurava, esquemas, orientações possíveis e preocupações conceptuais, de computação e programáticas. O João mostrou interesse e entusiasmo e iniciámos um processo interativo de desenvolvimento muito produtivo. Fizemos em conjunto a apresentação da proto-versão de *EshoFuni* no Clube de Leitura. A versão apresentada no clube usava, como disse anteriormente, o meu retrato em síntese 3D. Continuámos, entretanto, a desenvolver o projeto por forma a ter substrato e resultados com densidade satisfatória para elaborar um artigo já que era uma necessidade da minha investigação.

Ainda durante o desenvolvimento de *EshoFuni*, surgiu a oportunidade de João ir para a Universidade de Nova Iorque em Abu Dhaby, que ele aceitou. Contudo, conseguimos fechar a versão que submetemos a xCoAx, incluir uma componente de som generativo e ainda fazer as primeiras tentativas funcionais da versão posterior que viria a ser denominada *EshoFuni@TheAbyss* (capítulo seguinte).

13.3.3 Aspetos técnicos específicos

O sistema compreendia o seguinte hardware e software: 1) Interface EEG/BCI Emotiv Epoc; 2) Computador; 3) Emotiv Research SDK; 4) MindYourOSCs; 5) Max.

Foi programado um sistema de física em Max que aplicava internamente algoritmos baseados na física do mundo-real²⁶⁸ que incluíam vários objetos JIT.PHYS²⁶⁹ permitindo isso simular um mundo virtual análogo a um real. Os algoritmos internos permitiam dinâmicas complexas entre os existentes nesse mundo virtual. Entidades como corpos rígidos, que podiam ter formas, massas

²⁶⁷ João Menezes também era membro ativo da Digitópia, Casa da Música.

²⁶⁸ O sistema de física original foi desenvolvido por Thomas Hermann (Hermann e Ritter 1999) tendo em conta a sonificação de dados. Apesar de dedicado à representação sonora de dados, não encontramos objeção em o usar para representação visual.

²⁶⁹ Os objetos para a simulação física virtual fundamentais são: JIT.PHYS.WORLD, que encapsula um contexto de simulação física para realizar a deteção de colisão e a dinâmica rígida de objetos. O JIT.PHYS.BODY, que representa um corpo rígido associado a um *colisor* que permite detetar e usar colisões numa simulação física. E o JIT.PHYS.6DOF — seis graus de liberdade —, que permite restrições lineares e angulares em qualquer um dos três eixos x, y e z. Cada eixo pode ser bloqueado, livre ou limitado.

e tamanhos distintos, eram sujeitos a forças, como por exemplo, gravidade, e podiam interagir entre si, por exemplo, colidir, condicionar. O resultado dessas interações era baseado na dinâmica do sistema.

Os dados do cérebro eram recolhidos pela Interface EEG/BCI e enviados via Bluetooth para o Emotiv Research SDK, instalado no computador de recepção de dados (Windows); O MindYourOSC (Windows) era usado para estabelecer uma ponte entre o Emotiv Research SDK (Windows) e o Max (Mac OS, usando o protocolo Open Sound Control); os dados provenientes do MindYourOSC eram recebidos no Max através de conexão de rede usando o protocolo UDP.

Seguidamente procedia-se às operações que compreendiam filtragem, perfilamento, escalonamento e mapeamento. Na filtragem os dados brutos eram sujeitos a filtros passa-baixa e passa-banda. Estes podiam ser aplicados ou não, com frequências ajustáveis pelo utilizador. Adicionalmente a média móvel dos dados em trânsito era calculada, com propósitos de monitorização e também de delineação do perfil do utilizador.

O perfilamento, ou seja, a caracterização do perfil de utilizador, era baseado na ideia de que cada indivíduo tem um modo padrão, isto é, um modo que opera permanentemente dentro de uma endo-dinâmica interdependente, onde as partes constitutivas do indivíduo estão sempre expostas e interagem com o ambiente onde habitam, isto é, ele mesmo. Consequentemente cada indivíduo tem um sinal central, de base, dependente do seu estado padrão. Qualquer agitação, isto é, qualquer estímulo, que não pertence ao estado padrão é o que provoca uma cadeia de reações que pode modular o estado padrão, gerando sinais com amplitude dependente da interação do indivíduo com o ambiente onde opera. Tendo isto em conta, o sistema recolhia os dados e calculava a média estatística por forma a estabelecer o modo padrão de cada utilizador. Este estado padrão era, desde então, o ponto a partir do qual o sistema atuava. Os dados-padrão serviam, depois, como base do processo de escalonamento.

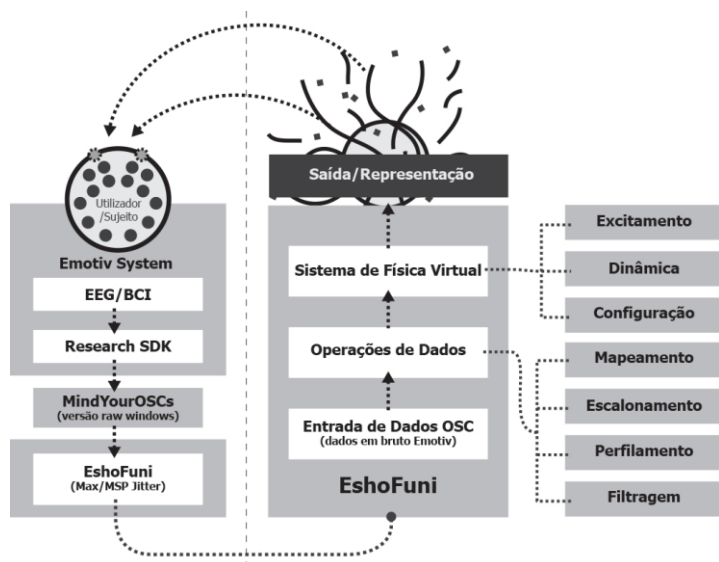


Fig. 58: *EshoFuni*, fluxograma.

Diagrama síntese da lógica de fluxo e processamento dos dados EEG.

O escalonamento observava o deslocamento central do sinal bruto inicial (4200 μV , em abstração numérica), e redimensionava-os para uma escala de valores entre -5 e 5. Estes eram traduzidos em vetores com magnitude e direção que atuavam como forças quando aplicadas ao sistema de física. O escalonamento tinha um impacto significativo na relação entre os dados de entrada e as forças físicas aplicadas ao sistema. Por esta razão, a possibilidade do utilizador alterar o âmbito de aplicação da escala, bem como a sua função de transferência subjacente, traduzia-se em características importantes relativamente à busca de uma representação equilibrada de dados EEG com características diferentes.

Já com dados corretamente filtrados e ampliados, procedia-se ao processo de mapeamento. Aqui, os dados vetor eram convertidos em forças que eram, posteriormente, introduzidos no sistema física virtual.

Em termos de configuração, o modelo de visualização proposto era composto por um sistema de massa-mola por cada canal EEG, estando cada mola, virtual, ligada a uma esfera. Em termos de dinâmica, cada esfera, com uma massa, estava relacionada com uma mola virtual. Cada esfera podia realizar uma oscilação harmónica em torno da sua própria posição. Esta oscilação harmónica era modelada pela mecânica clássica dos sistemas massa-mola, que é determinada por uma força externa, a massa da esfera, a rigidez da mola e o coeficiente de amortecimento (ou taxa de dissipação).

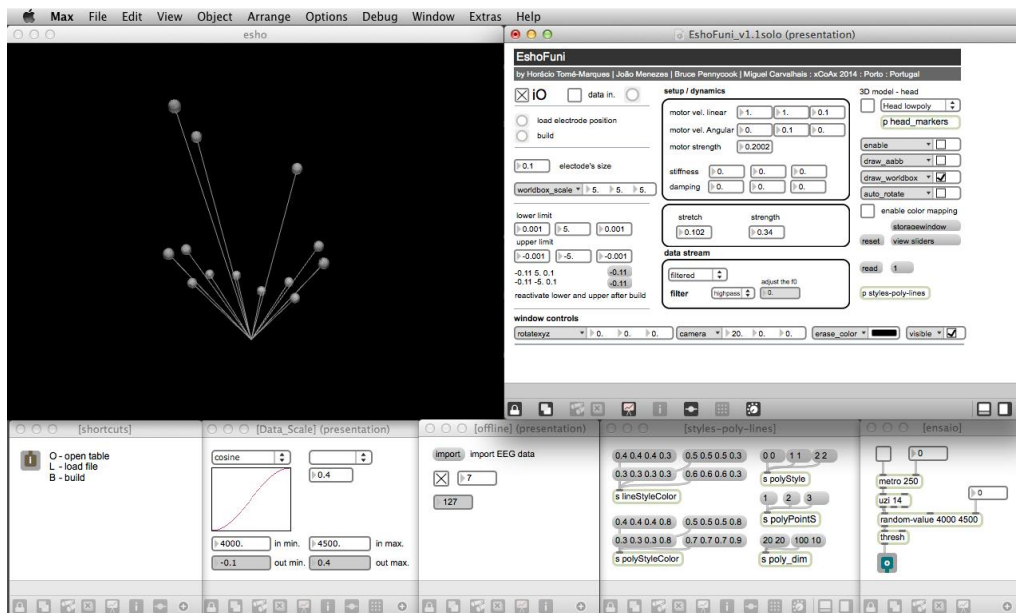


Fig. 59: *EshoFuni*, painéis de controlo e monitorização.

Ecrãs Max do sistema onde se vêm vários painéis de controlo. Estes, por articulação, permitiam o controlo dos vários aspetos referidos na descrição. Entre estes o OFFLINE e o ENSAIO permitiam a simulação do sistema, estes últimos gerados aleatoriamente e os primeiros usando dados reais gravados em sessões realizadas para recolha EEG.

Inicialmente em estado de repouso, o modelo era excitado ao serem introduzidas forças na sua dinâmica. Essas forças atuavam como vetores com magnitude e direção aplicadas nas equações de movimento de cada esfera. A mudança de movimento de cada esfera era proporcional à força aplicada. As 14 esferas movimentavam-se ao longo de 14 vetores orientados radialmente em relação ao centro do cérebro (cérebro esse aqui representado por uma esfera implícita). A magnitude e a direção do vetor estavam diretamente relacionadas com o mapeamento e os operadores de escala e refletidas na força aplicada. Por conseguinte, nas oscilações harmónicas das esferas.

A componente sonora era baseada nos dados EEG, dados que alimentavam um sistema de síntese constituído por osciladores baseados em objetos OSCBANK~ polireplicados 14 vezes pelo objeto POLY~. Os sons eram modulados pelos dados iterados dos movimentos das analogias dos sensores que resultavam da amplitude dos canais EEG.

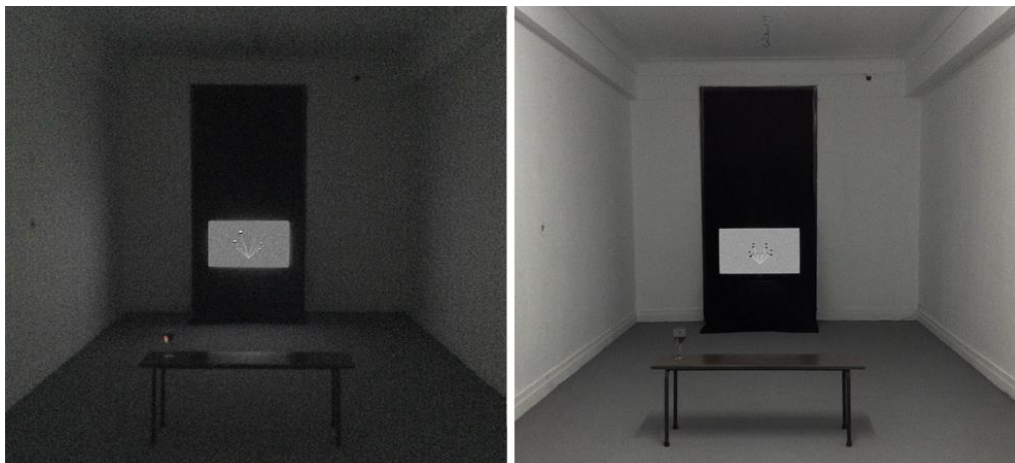


Fig. 60: *EshoFuni* em exibição em xCoAx 2014.

Duas fotos da instalação vídeo que exibiu *EshoFuni* na galeria dedicada à exposição de projetos.

13.3.4 Resultados

EshoFuni foi, de acordo com a nossa investigação, a primeira implementação de um sistema que fazia uso de simulação física para representar visualmente dados EEG em tempo-real. Sendo um dos objetivos do projeto resolver problemas e dar solução a necessidades relativas à criação de representações artísticas dos fenômenos elétricos do cérebro, consideramos que a maneira como ele cumpriu aquela premissa foi bastante consistente. Quanto ao potencial narrativo: a exposição era fundamentalmente abstrata, mostrando variações e comportamentos dos existentes, mas sem vínculo a qualquer origem nem forma com princípio, meio e resolução. Transparecia mesmo uma circularidade minimal e radicalmente simples, mas muito apelativa, isto observando a adesão curiosa e apreciação declarada do público que a presenciou.

Artigo correlacionado: *From the unseen to the s[cr]een: EshoFuni, an approach towards real-time representation of brain data* (Tomé-Marques, Meneses, et al. 2014). [local]

13.4 ESHOFUNI@THEABYSS

FROM xCoAx TO BRAIN: THE ULTIMATE ENACTIVE
INTERFACE?

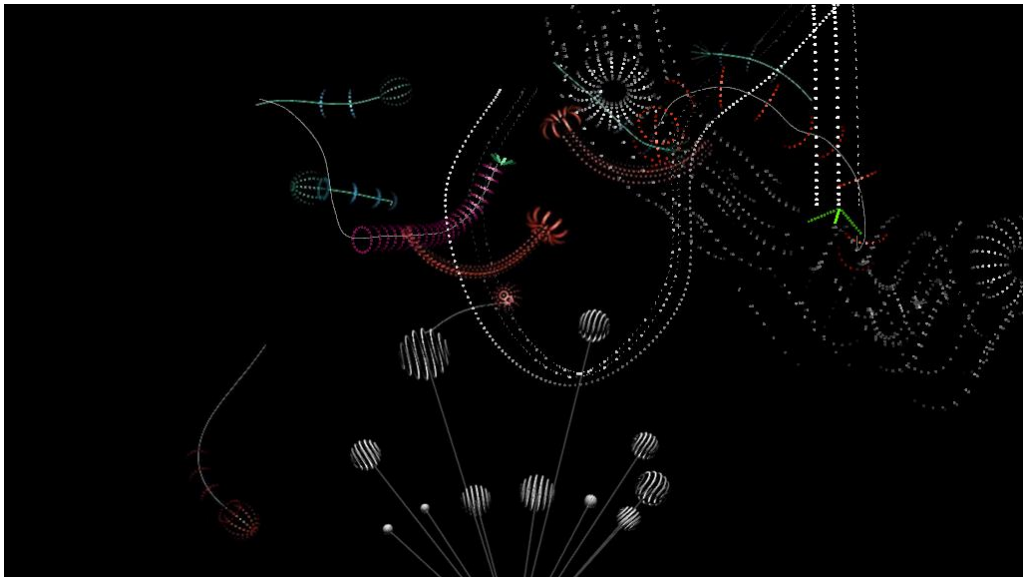


Fig. 61: *EshoFuni@TheAbyss II*, xCoAx 2014 (1).
Ecrã do projeto na sua versão com o avatar metafórico.

Horácio Tomé-Marques: conceção, racional EEG, programação EEG, programação Max, conceção, programação e produção sonora, atuação EEG/BCI em tempo real

João Menezes (*EshoFuni@TheAbyss, Chapter II*): coconceção, racional computação física, conceção, programação e produção sonora, programação Max

Tiago Ângelo (*EshoFuni@TheAbyss, Chapter III e IV*): coconceção, programação Processing, programação Max; conceção, programação e produção sonora

Apresentações: a) xCoAx Computation, Communication, Aesthetics and X, 2014, Porto, Portugal; b) ICLI 2014 - INTER-FACE: International Conference on Live Interfaces, 2014, Lisboa, Portugal; c) #14ART, 14º Encontro Internacional de Arte e Tecnologia: Arte e Desenvolvimento Humano. 2015, Aveiro, Portugal; d) Escola Superior de Media, Artes e Design, Auditório Luís Soares, 2019, Vila do Conde, Portugal.

Documentação av: <https://encephalo.online/eshofunitheabyss/> [local]

13.4.1 Introdução conceptual

EshoFuni referia-se sobretudo ao cérebro enquanto sistema visto de forma isolada, mesmo que, como vimos, colocássemos em perspetiva que os seus processos e a sua utilidade só é possível numa relação com os contextos que habita e se relaciona com.

Ora, a perspetiva de contextos, e as suas ecologias, era crucial para mim, desde o início da investigação e materialização artística. Antes de mais por considerar que o ato performativo, ao vivo, é um evento participativo, multi-contributivo dependente do meio-ambiente, onde as partes partilham e constroem um jogo de eventos interligados — como proposto, um processo dinâmico de experiência estética, raciocínio e emoções — só podemos inferir e aceder a determinados fenómenos dentro nos contextos onde estes acontecem, mesmo correndo o risco de que as complexidades herdadas destes contextos-processo possam comprometer o entendimento dos dados.

Para além desta necessidade, a minha investigação e reflexão também me colocou perante argumentos e questões relacionadas com o cérebro enquanto sistema enativo, enquanto derradeira interface entre endo- e exo-realidades, entidade que pode escolher caminhos e tomar posições. Mas também sobre a diversidade de perspetivas derivadas da diversidade de cérebros e problemáticas que isso pode implicar. Implicitamente, também queria que despertasse para a necessidade de assumir responsabilidades sobre as suas decisões e atuações.

Propus que o cérebro possa ter uma endo-realidade consciente, uma que possa somente comunicar com a exo-realidade (o meio-ambiente) através de uma interface abstrata não-háptica, desassociada de qualquer instância física, mas que, todavia, está consubstanciada no nosso hardware (isto é, o elemento constitutivo físico humano). Que esta encarnação criou um organismo complexo com múltiplos sensores e subsistemas, que são interdependentes e fundamentais para os procedimentos que tem de operar por forma a viver. Uma espécie de simultaneidade enativa onde a entidade é dependente do sistema e é condicionada por ele, mas, ao mesmo tempo, tem uma perspetiva e entendimento personalizados deste, dos seus ícones e símbolos, e atua nele de acordo com esse entendimento. Isto quer dizer que as complexidades de tanto o meio-ambiente como das entidades são bidirecionais e impactam-se entre si. Que estamos também habilitados com a noção de que somos agentes que podem atuar em coerência com as opções disponíveis e potenciais, derivadas da dinâmica da relação entidade/meio-ambiente, mas que também podem recusar atuar em respeito a deliberações incoerente.

*TheAbys*s é um sistema ecológico habitado por entidades e constituintes com formas gráficas e sonoras inspiradas nos organismos que formam o plâncton que interagem entre si e com o avatar *Eshofuni*, qua performer, permitindo que o conjunto denote os processos cerebrais do performer, gerados e alterados dentro do e pelo ecossistema. Entidades que habitam o *TheAbys*s — por exemplo, Sifonóforos²⁷⁰ — têm sua própria vida independente e interativa. Diferentes entidades estão conectadas com diferentes grupos neuronais da metáfora cerebral, isto é, *Eshofuni*, que também é uma entidade que habita o *TheAbys*s.

A evolução acontece quando grupos específicos do cérebro são acionados por eventos que ocorrem neste ecossistema. Quando padrões espectrais derivados de processos cerebrais específicos — por exemplo, emoções — são detetados, o sistema denota esse fenómeno com mudanças na(s) representação(s). Esta evolução pode ser caracterizada pela recodificação da cor, pelo comportamento e alteração de forma e pela ativação e/ou alteração dos objetos sonoros.

²⁷⁰ Os Sifonóforos são hidrozoários invertebrados. São caracterizados por serem colónias de vários membros — zooides—. A caravela-portuguesa (*Physalia physalis*) é um sifonóforo.

13.4.2 Desenvolvimento

EshoFuni@TheAbyss é fundamentalmente inspirado em *Plankton Chronicles*²⁷¹, um projeto relacionado com a diversidade, as características e a beleza dos organismos que constituem o plâncton que vagueiam nas correntes oceânicas e nas ilustrações de Ernst Haeckel²⁷² litografadas na sua obra seminal *Kunstformen der Natur* (Formas de Arte na Natureza).

O desenvolvimento passou por várias hipóteses de conceção formal das representações, tendo eu realizado esboços cuja expressão gráfica têm uma essência ilustrativa mimética que denota as fontes de inspiração. Contudo, as formas que vim a construir denotam simplicidade. Remetem do mesmo modo para os mesmos organismos pois têm uma proximidade formal, pelo menos no meu ponto-de-vista, mas são uma abstração síntese. A simplicidade não está exclusivamente relacionada com deliberação artística, pois é também uma opção derivada de constrangimentos de programação²⁷³. Mas depois de voltar às referências e observar a simplicidade radical dos organismos reais, acabei por incorporar os constrangimentos na construção do sistema e maximizar a síntese.

²⁷¹ Crónicas do Plâncton: <http://planktonchronicles.org/>

²⁷² 1834 – 1919.

²⁷³ Consequência das minhas competências, ao nível da programação, mas também por decisão ponderada depois de verificado que a complexidade poderia trazer problemas de computação complicados de contornar. Por altura de arranque definitivo do sistema de física no Max, a equipa da Cycling'74 fez uma série de tutoriais, em setembro de 2012, designada de *Physics Path-a-day*, onde explicavam os princípios, funcionalidades e capacidades disponíveis nessa altura, dando bastantes exemplos em várias vertentes e objetivos, desde sonorização a animações cujo comportamento dependia dos mecanismos de física incorporada no sistema, nomeadamente gravidade, impulsos, fricção, interação física. Percebi melhor nessa altura, com Rob Ramirez e Gregory Taylor, como se fazia som generativo com objetos poli replicados e comportamentos físicos interativos nesse novo motor. Um dos tutoriais que me despertou muito interesse foi o do Dia 9, no qual Ben Bracken (e Rob Ramirez) tinha uma analogia a uma cobra com comportamento físico aleatório e interativo. E desafiava-nos sobre como poderíamos adicionar outros elementos à cobra ou múltiplas cobras e ver qual o comportamento. Depois de ter trabalhado várias vezes com o ficheiro de exemplo, e andando eu às voltas na ideação de um contexto ecológico com organismos autónomos e interativos para o projeto, percebi que os mecanismos e a forma base lá aplicada poderia ser derivada para outro tipo de organismos. Foi assim que nasceram as primeiras versões das analogias dos Sifonóforos.



Fig. 62: Organismos do abismo.

Imagem da esquerda: ilustração de Ernst Haeckel. Imagem central: pormenor de um quadro do vídeo²⁷⁴ das Crônicas do Plâncton, episódio Pleurobrachia²⁷⁴. Imagem da direita: uma das minhas ilustrações realizadas durante o processo de ideação de *EshoFuni@TheAbyss*.

A inspiração baseada no plâncton ou em organismos de aspeto zoomorfo ou biomorfo não era recente. Era, aliás, recorrente e isso tinha-se refletido noutros objetos criados e manifestados em vários projetos meus, como, a exemplo, *ArtMathAttractio* (2005).

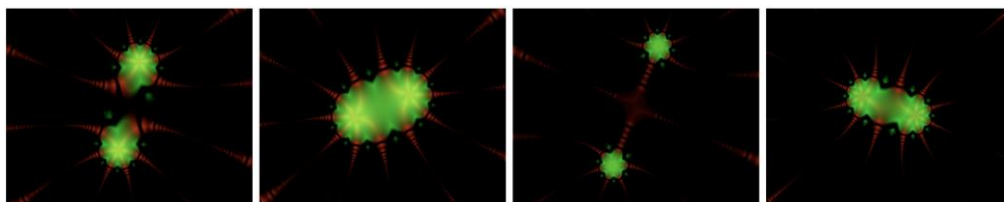


Fig. 63: *ArtMathAttractio*.

Quatro quadros da animação gerada procedimentalmente. Esta peça fazia parte de uma série, com a mesma essência, que foi exposta em 2003 na Galeria da Biblioteca da Faculdade de Engenharia na exposição *GrafiasDigitais* a ela dedicada.

Este projeto também foi referência programática, já que usava funções e algoritmos procedimentais para gerar entidades digitais animadas inspiradas em organismos celulares simples, mas que denotavam vida própria, agência, interação e evolução.

²⁷⁴ Disponível em <http://planktonchronicles.org/fr/episode/pleurobrachia/>. Pleurobrachia, também designado de groselhas-do-mar é um organismo do filo Ctenophora.

EshoFuni@TheAbyss incorporava a possibilidade de uma linha narrativa, formalmente idealizada para ter princípio, meio e fim, incluindo hipóteses de potenciação de picos de tensão e catarse, ou seja, nesse pró-orientadora. Contudo, não foi transcrita para a própria materialidade formal. Ou seja, existia, tinha uma lógica, mas não tinha qualquer tipo de guião gráfico ou sonoro. Existia só no pensamento e como estratégia.

EshoFuni@TheAbyss foi materializado em várias versões, em várias fases e em dois ambientes de programação — Max e Processing —, e com a colaboração de João Menezes e Tiago Ângelo em diferentes fases. Denominei as várias versões de *Capítulos* por forma a distingui-las não só por denominação, mas também para promover uma ideia de sequência. Seguidamente descrevo as componentes técnicas fundamentais e no capítulo seguinte, [11.4.4 Resultados e particularidades](#), dou nota de aspetos particulares relevantes, técnicos e de desenvolvimento, das versões efetivamente apresentadas.

13.4.3 Aspetos técnicos específicos

O sistema compreendia o seguinte hardware e software: 1) Interface EEG/BCI Emotiv EPOC; 2) Computador(es); 3) Emotiv Research SDK; 4) HoMy_EmoRAW; 5) MindYourOSCs; 5) Max; 6) Processing e Max (*Chapter III* e *Chapter IV*)²⁷⁵.

A descrição que se segue é fundamentalmente relativa a *TheAbyss* implementado em Max, que é a teve evolução mais sustentada e a que tem sido usada em apresentações recentes.

As entidades em *EshoFuni@TheAbyss*, são organismos pseudo-biológicos, digitais, que têm fundamentalmente duas componentes análogas a constituintes físicos dos seres biológicos reais: cabeça e corpo. A cabeça é a componente que controla o corpo — posição, orientação, velocidade. O corpo tem, no seu interior, uma analogia ao axónio²⁷⁶ para além do próprio corpo como elemento exterior.

²⁷⁵ A iteração mais recente, *Chapter V*, usa exclusivamente Max.

²⁷⁶ Os Sifonóforos, que são os organismos mais longos do planeta, têm ao longo do tronco um longo axónio que propaga sinais de uma extremidade à outra da colónia.

Os organismos, relativamente à cabeça, são construídos com objetos `JIT.GL.GRIDSHAPE` que permitem ser parametrizados em várias formas (por exemplo, cone).

No que concerne o corpo, usa matrizes `MATRIX` com várias divisões, controladas por um multiplicador `JIT.PHYS.MULTIPLE` que usa nós com 6 graus de liberdade para a relação dos múltiplos e permite entrada de posição, força e torque, que são usados por nós de animação `JIT.ANIM.NODE` para controlar as coordenadas a cabeça. Alimenta depois duas linhas `JIT.GL.PATH`, uma com contorno primitivo (por exemplo, tubo) ou programado manualmente²⁷⁷, relativo ao exterior, e outra somente linha, relativa ao interior (axónio).

O corpo está programado para ter distorção suave. A visualização é programada para ser calculada em modo pontos²⁷⁸ e não em modo preenchido²⁷⁹. O objetivo é que os pontos possam ser percecionados como, a exemplo nesta analogia, os zooides de um Sifonóforo, isto é, os membros da colónia. O todo denota uma entidade com comportamento análogo a organismos homólogos naturais.

Cada organismo "nasce" sem qualquer tipo de saturação. Isto é, é caracterizado por ser monocromático, ou, mais propriamente, descolorado. Esta caracterização é alterada pelo sistema durante o desenrolar da narrativa pseudo-natural²⁸⁰ em tempo-real. Os organismos vagueiam, respiram e mudam de cor. A saturação intensifica-se e a respiração fica mais acelerada, iteradamente, por soma à deteção anterior do respetivo organismo quando o sistema deteta processamento relacionado com emoções do performer ator EEG/BCI pela via da computação de Assimetria Alfa²⁸¹. Isto sugere uma potencial relação conceptual com o nível de inquietação que os organismos incorrem quando detetam as emoções.

²⁷⁷ A programação manual permite secções mais complexas do que se usado um contorno primitivo.

²⁷⁸ Os pontos são os vértices do objeto tridimensional.

²⁷⁹ Preenchido é, em termos genéricos, a visualização sólida.

²⁸⁰ Há autores (Alber et al. 2010) que propõem que narrativas inspiradas na realidade e no decorrer do tempo linear humano e da interação dos elementos dessa realidade são naturais, reduzidas por mimetismo. Por outro lado, propõem que muitas desconstroem o mimetismo e a noção de tempo e espaço do mundo físico, e desafiam e brincam e experimentam com as suposições centrais sobre narrativa, considerando-as narrativas não naturais. Aqui queremos apenas dizer que sendo analogia de uma realidade natural, mas sendo digital, é pseudo-natural.

²⁸¹ O sistema também permite usar, em alternativa, métricas como Excitement proprietárias da Emotiv.

Para além de ficarem mais inquietos e coloridos somam um número determinado de iterações relacionadas com a deteção emocional, ao fim das quais são impelidos a deslocarem-se para o local onde se encontra *EshoFuni* ficando aí “presos” e transmitem-lhe cor (consideremos isto toque emocional). Uma vez aqui *EshoFuni* tenta libertá-los, por volição, replicando mentalmente o performer EEG/BCI um padrão previamente treinado no módulo Cognitiv Suite e escolhido para essa ação²⁸². Assim que atinge o valor designado, que só é alcançado se o performer conseguir replicar o padrão com uma energia determinada por um tempo determinado de forma sustentada²⁸³ os organismos são libertados e voltam ao estado cor e respiração padrão.

O mundo virtual da versão Max foi baseado em objetos `JIT.PHYS.WORLD` que, como vimos, permite replicar processos da física natural. Isso possibilita que os organismos possam ter um comportamento análogo aos seus homólogos naturais.

²⁸² Usámos, nesta ação, maioritariamente o rótulo `LEFT`.

²⁸³ Num exemplo prático: o comando `LEFT` controlava valores entre 0.0 e 1.0, onde, alcançado o valor 0.6 ao fim de 5 segundos — o que implicava uma sustentação do referido comando pelo menos durante 5 segundos com valores cuja média resultasse em 0.6, proporcionado pelo objeto que realiza cálculo de média. Usámos com bastante eficácia o objeto `SMOOTH-LINE`. Este objeto aplica uma transição suavizada em tempo-real entre números multidimensionais o que implica que um número só é alcançado se o seu valor estiver presente durante o tempo programado como tempo de transição suave. Por exemplo, se no decorrer de três segundos chegarem ao sistema 3 números como 0.0, 0.6 e 0.0, sem o `SMOOTH-LINE`, o valor 0.6 está alcançado no segundo dois. Mas se o `SMOOTH-LINE` for programado para uma transição suavizada de 3 segundos, o valor no segundo dois será de 0.3, e nem mesmo no segundo três o valor é alcançado. É um sistema de cálculo da média em andamento, em tempo-real, baseada em épocas.

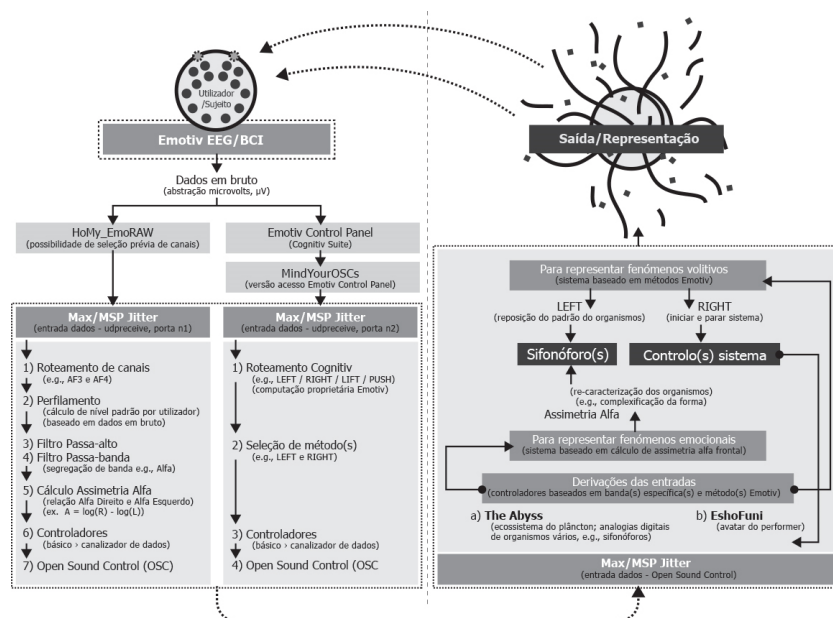


Fig. 64: *EshoFuni@TheAbyss, Capter II e V, fluxograma.*

Diagrama síntese da lógica de fluxo e processamento dos dados EEG e padrões Cognitiv.

No modo padrão, as entidades vagueiam aleatoriamente no ambiente. O que permite isso é o objeto **VEXPR** que opera em listas, programado para gerar números aleatórios não repetíveis cobrindo as coordenadas x , y e z globais, simultaneamente, e um metrónomo, baseado no objeto **METRO**, com uma pulsação relativamente lenta — por exemplo, uma batida a cada 3 segundos — que aciona a expressão referida. Implica isso uma espécie de empurrões que os mantêm em permanente animação.

Tudo isto faz com que a deslocação de cada organismo seja relativamente suave e também, muito importante, imprevisível. Ou seja, qualquer dos organismos está em permanente atualização posicional. Para obrigar os organismos a deslocarem-se para coordenadas específicas, estas são aplicadas ao objeto **VEXPR** em paralelo com as gerais, sendo ativadas por um segundo **METRO** cujas batidas são muito rápidas que, por isso, prevalecem sobre o padrão. Este segundo metro só é ativado quando a condição número determinado das deteções emocionais estiver preenchida.

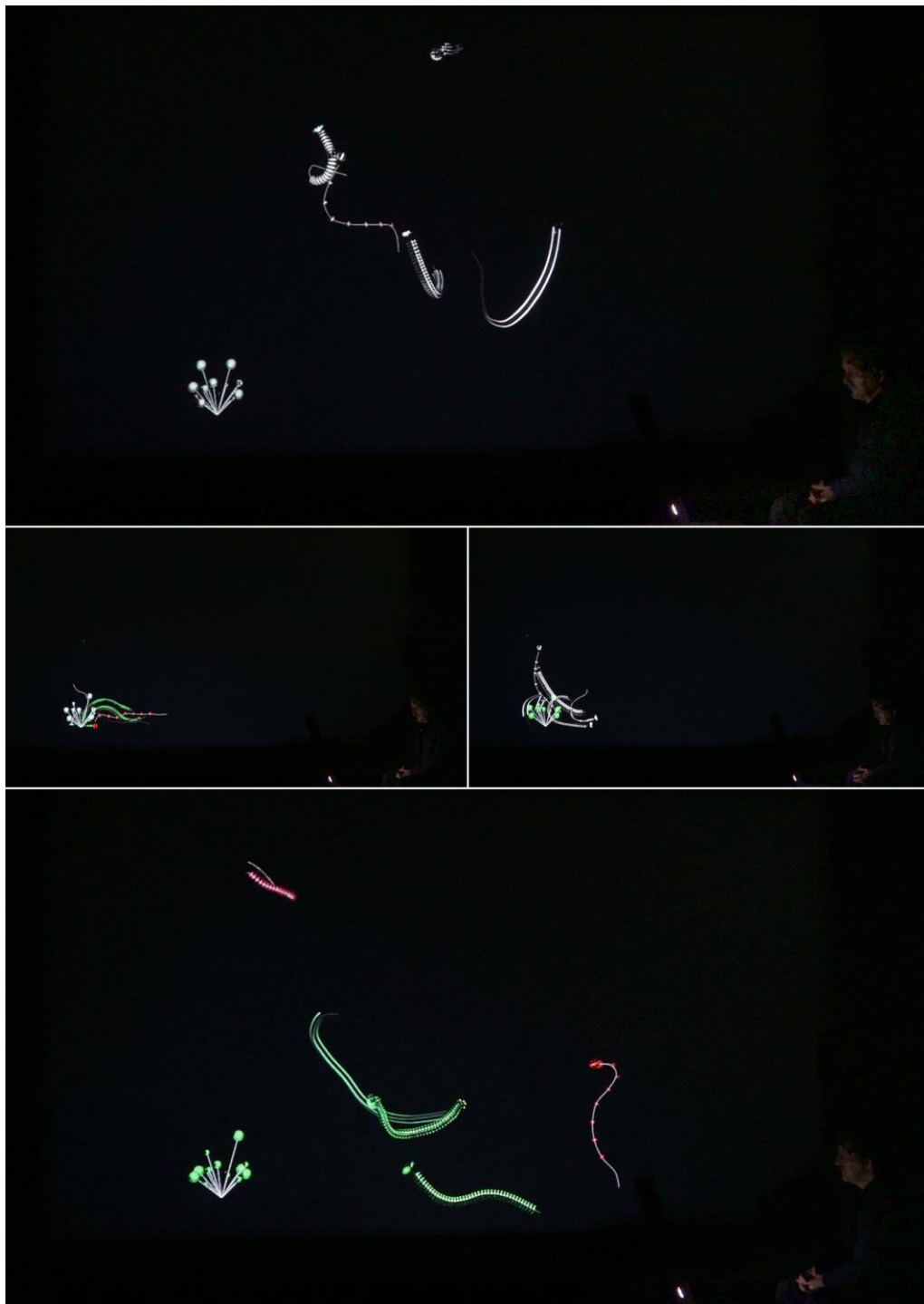


Fig. 66: *EshoFuni@TheAbyss, Chapter V.*

Quadros de um vídeo gravado numa performance de *EshoFuni@TheAbyss*, na versão Max mais recente (2017, 2019) na Escola Superior de Media Artes e Design, no Auditório Luís Soares. As 4 imagens denotam a sequência entre início (1, imagem do topo), quando *EshoFuni* ainda não recebeu nenhuma cor (toque emocional) por parte dos organismos, passando (2, 3, imagens do centro) pela ida destes às coordenadas daquele, transmissão de cor e deliberação volitiva do performer EEG/BCI, e finalmente (4, imagem da base) quando *EshoFuni* já recebeu bastantes toques.

A par destas características de deslocação, o sistema físico implementa colisão entre objetos. Isto significa que, se os constituintes de um organismo tocam nos constituintes de outro, isso altera as rotas de ambos. O todo sugere, e parece de facto de acordo com a nossa perspetiva, um ambiente natural e ecológico, onde os constituintes interagem naturalmente uns com os outros e o comportamento de cada entidade tem impacto nas outras.

Na versão Processing, a cor é menos importante e evidente. As deteções emocionais são denotadas, sobretudo, pela complexificação dos organismos. A forma gráfica dos organismos também é substancialmente diferente.

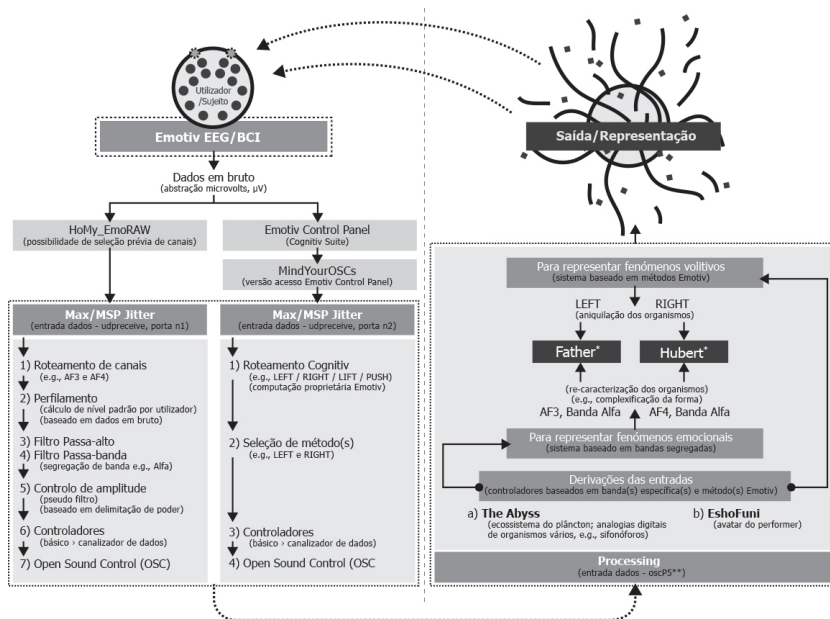


Fig. 67: EshoFuni@TheAbbyss, Capter III e IV, fluxograma. Diagrama síntese da lógica de fluxo e processamento dos dados EEG e padrões Cognitiv.

A lógica conceptual da interação e da dinâmica ecológica e das sinergias entre constituintes foi mantida.

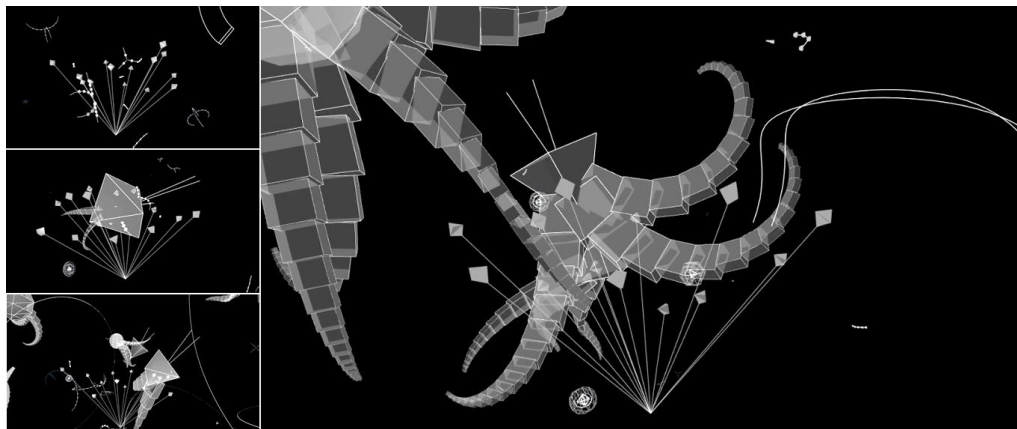


Fig. 68: *EshoFuni@TheAbyss, Chapter III.*

Quatro quadros da versão Processing em ação onde se vê a evolução do sistema, entre a presença quase sozinha de *EshoFuni* (imagem de topo da coluna de imagens à esquerda) o nascimento de organismos e a sua complexificação (nas restantes imagens).

A componente sonora de *EshoFuni* incluía sonificação de síntese com base no EEG²⁸⁴, em tempo real, e essa característica podia ser ativada de forma independente. Para *EshoFuni@TheAbyss, Chapter II*, que também foi exposto em xCoAx, programei um sistema dependente de comportamentos existentes em de *TheAbyss*, na relação com *EshoFuni*: emoções, na sua variação de amplitude e reposição num valor padrão, através da replicação de um padrão Cognitiv. Usava 2 media capturados²⁸⁵ que eram controlados e (re)caracterizados em tempo real. Esta versão ainda é a que está presente na versão mais recente, o *Chapter V*. Usa 2 objetos BUFFER~, como sistema de memória temporária na qual ficheiros de áudio são armazenadas e referenciados, e dois objetos GROOVE~, objeto que permite uma reprodução não linear dos ficheiros armazenados temporariamente nos BUFFER~. O controlo e a (re)caracterização assenta no acesso não linear a determinadas zonas dos ficheiros, e reprodução a partir daí, zonas cujas características sonoras me pareciam relevantes para associar às variações referidas.

²⁸⁴ Implementado por João Menezes na versão *EshoFuni* original.

²⁸⁵ Fornecidos por Tiago Ângelo. É importante notar que os media capturados também têm origem em síntese. São ficheiros de áudio que fazem parte de uma série de 4 denominada de *Sound Beings*, de 2013, da autoria de Tiago. O coautor usou, nas apresentações, uma aplicação de mistura e sequenciação digital controlada pelo sistema, e também outros objetos sonoros, escolhidos por si, para a caracterização desta componente.

Posteriormente, para esta versão, implementei um sistema que usa a variação das coordenadas x, y e z de organismos. As coordenadas alimentam dois osciladores OSCBANK~, cada um com 8 parciais, que usam como base padrão as notas Dó e Sol. A variações das coordenadas x e z controlam a variação de amplitude do quinto e oitavo parcial, e as variações de y controlam a amplitude geral pelo uso do objeto LIVE.GAIN~.

Nas versões *Chapter III* e *Chapter IV* implementou-se um sistema baseado em Live²⁸⁶ que permitia uma manipulação háptica em tempo real, enquanto performer sonoro, potenciando uma interação comigo, enquanto performer EEG/BCI.

13.4.4 Resultados e particularidades

Baseados nas realizações e apresentações, entre demonstrações e performances tanto, dou nota dos resultados e aspetos particulares de cada iteração do desenvolvimento na forma seguinte:

1) *EshoFuni*, programado em Max, apresentado em junho 2014, na xCoAx 2014, em forma audiovisual gerada com base em dados EEG derivados da experiência laboratorial Música e Emoções, Ciência 2.0, transcrita no Capítulo 10, Projetos tecnocientíficos. Os resultados cumpriram, como dissemos, as expectativas.

2) Na segunda iteração de *EshoFuni*, perseguindo a ideia do contexto ecológico *TheAbyss*, tentámos incluir proto-organismos o que nos viria a permitir testar não só se o conceito teria possibilidades performativas, mas também aferir a qualidade e robustez da própria implementação técnica. Serviu esta tentativa, justamente, para perceber que uma implementação que reunisse no mesmo sistema (ficheiro) *EshoFuni* e *TheAbyss*, trazia demasiados problemas técnicos difíceis de resolver ou contornar no tempo que tínhamos programado para a sua realização. Um dos principais era que o arranque dos mecanismos de física virtual desconfigurava o próprio sistema. Uma outra desvantagem muito relevante era o facto de que a colocação de *EshoFuni* noutra coordenada dentro do mundo virtual era impraticável.

²⁸⁶ O Live é uma estação digital de áudio dedicada à prática musical em tempo real que permite a organização, sequenciação e atuação deliberada de ficheiros de som. É desenvolvido, comercializado e propriedade da Ableton (<https://www.ableton.com/en/live/>).

Com a aceitação de João Menezes ir para a Universidade de Nova Iorque em Abu Dhaby, a parte sonora ficou pela experiência inicial que era bastante interessante e que preencheu as necessidades como uma primeira solução. Mas como a minha intenção de continuar a trabalhar neste projeto, incluindo em experiências de sonificação, continuava presente, para continuar a trabalhar, e a conselho do próprio João Menezes, entra para o desenvolvimento subsequente Tiago Ângelo, colega de João Menezes no mestrado e na Digitópia. Tiago Ângelo, também era artista sonoro e performativo e fez tese sobre sistema para desenvolvimento e performance de instrumentos musicais digitais em Max. Por tudo isto, a sua entrada e participação no projeto foi natural. Foi o Tiago Ângelo que me cedeu os primeiros ficheiros, da sua autoria e baseados em processos generativos, que usei numa primeira implementação funcional de *EshoFuni@TheAbyss, Chapter II* ainda antes de ter iniciado uma colaboração programática propriamente dita.

3) *EshoFuni@TheAbyss, Chapter II*, com múltiplos organismos, apresentado também na xCoAx 2014, em forma audiovisual gerada com base nos mesmos dados EEG. A sua apresentação foi bem-sucedida tendo despertado interesse do público, nomeadamente no que concerne os organismos e à sua interação com *EshoFuni* sob os quais nos colocaram várias perguntas — sistema de física, alimentação de dados, entre outros. Esta versão foi colocada em perspetiva na conferência ICLI 2014 - INTER-FACE: International Conference on Live Interfaces, 2014, Lisboa, na nossa apresentação *Brain, the ultimate enactive interface(?)*.

4) A conferência ICLI 2014, para além das apresentações de essência teórica também foi constituída por eventos artísticos. Aqui tivemos a oportunidade submeter e apresentar como prática performativa e em palco, a versão de *Eshofuni@TheAbyss, Chapter III*, dotada de praticamente todas as características conceptuais e técnicas que perseguia. A versão de Max tinha bastante complexidade, o que nos levou, a mim e ao Tiago, a discutir e a investigar sobre possíveis alternativas. No processo descobrimos um workshop de Processing, dedicado a polimorfismos, de Andreas Gysin, denominado também *The Abyss*²⁸⁷. Seguindo

²⁸⁷ <https://github.com/ertdfgcvb/TheAbyss>. Este workshop de Andreas Gysin promovia a ideia de construção de um sistema com entidades que também remetem para organismos marinhos tipo plâncton (apesar de não termos conseguido nenhuma opinião do autor a esse respeito) para o qual os participantes deviam contribuir, tanto de forma individual como colaborativa, com novas entidades.

propósitos inscritos no próprio workshop, mas também aproveitando a oportunidade para desenvolver noutras plataformas e aprender com isso, decidimos usar, assim, o Processing²⁸⁸. Na nossa implementação usámos uma ramificação Github²⁸⁹ do workshop (ficheiros), ao qual adicionámos características e funções não existentes no original, como o sistema de comunicação baseado em protocolo Open Sound Control, fundamental à interoperabilidade do conjunto de computadores necessários ao controlo e exibição de *Eshofuni*, e organismos virtuais como *Eshofuni* ele mesmo e outros imaginários, mas fundamentais ao conceito projetual.

A performance não aconteceu com o sucesso que queríamos, bem pelo contrário, devido à instabilidade do Processing e/ou da implementação da versão²⁹⁰, apesar de termos sujeitado a implementação a testes práticos preliminares que não denotaram uma instabilidade que sugerisse problemas tão grandes como os que, entretanto, se vieram a revelar na hora da performance, tendo mesmo o sistema bloqueado.

5) Entretanto, surgiu a possibilidade de participarmos na conferência #14ART 14º Encontro Internacional de Arte e Tecnologia: arte e desenvolvimento humano, 2015, Aveiro. Esta conferência também foi constituída por eventos artísticos para além das apresentações de essência teórica. Apresentámos *EshoFuni@TheAbyss, Chapter IV*, que refletia uma atualização técnica do anterior. Colocadas várias questões sobre o que contribuiu para os problemas da apresentação em ICLI e inferidas possíveis respostas, continuámos a trabalhar na versão de Processing que acabou por configurar um sistema mais robusto tendo a performance decorrido sem falhas.

6) Após a apresentação referida anteriormente voltei à versão programada em Max e realizei *EshoFuni@TheAbyss, Chapter V*. Esta versão teve uma apresentação agendada para a conferência EXCITE 2017, no Museu Jardim Botânico da

²⁸⁸ Para além do Processing chegámos a testar a plataforma Cinder (<https://libcinder.org>), mas decidimos concentrar os trabalhos no Processing por motivos de tempo.

²⁸⁹ <https://github.com>

²⁹⁰ Não conseguimos aferir e circunscrever exatamente a origem da instabilidade.

Universidade do Porto, na qual os ensaios foram bem-sucedidos, mas, por motivos incontornáveis²⁹¹ a performance não se realizou. Motivado pela versão, que se me afigurava como a mais robusta e madura, realizei, recentemente, algumas performances em contexto experimental na Escola Superior de Media Artes e Design, no Auditório Luís Soares (Fig. 66) tendo sido estas as que melhor responderam aos vários pressupostos da ideação experimental e projetual de âmbito científico, técnicos e artístico. Nestas é bastante explícito que as representações são representantes de processos cerebrais relacionados com a experiência emocional e ações baseadas na volição.

Todas a versões denotam um potencial estético sensorial e racional e encerram a possibilidade de convocar reflexão às testemunhas sobre a relação entre os organismos humanos com outros organismos e com o ambiente que habitam e que partilham e eventual impacto de todos no todo e respetivas consequências.

Artigo correlacionado: *Brain: the ultimate enactive interface?* (Tomé-Marques, Pennycook, e Carvalhais 2014) [[local](#)]

²⁹¹ Devido a um acidente no Museu, e necessidade de diagnóstico hospitalar urgente, ocorrido durante os meus trabalhos de pré performance horas antes da hora agendada.

13.5 QUARTAS PAREDES

PERFORMANCE PARA PRESENÇA, VOZ, *FIXED MEDIA* E
MANIPULAÇÃO DE SOM E IMAGEM EM TEMPO-REAL.



Fig. 69: *Quartas Paredes*.

Performance, enquadramento geral. Escola Superior de Música, Artes e Espetáculos, *Festival ESMAE 2014*.

Horácio Tomé-Marques: coconcepção, codireção artística, racional EEG, programação EEG, programação Max, atuação EEG/BCI sobre vídeo captado em tempo-real

Bruno Pereira: coconcepção, codireção artística, racional performativo corporal, performance corporal e voz

Dimitris Andrikopoulos: coconcepção, codireção artística, racional musical, programação Max, atuação musical – *fixed media* e manipulação sonora em tempo-real

Apresentações: 1) Faculdade de Belas-Artes da Universidade do Porto, Museu, em *Experimento: o Processo Criativo em Análise*, 6 de março de 2014. Eco performativo/instalação até 21 Março; 2) Escola Superior de Música, Artes e Espetáculos, em *Festival ESMAE*, 5 abril, 2014. Eco performativo/instalação, 6 de abril; 3) Museu Abade Pedrosa, Santo Tirso, em *The Corner*, 18 de maio de 2014. Eco performativo/instalação até 24 de maio.

Documentação av: <https://encephalo.online/quartas-paredes/> [local]

13.5.1 Introdução conceptual

A origem deste projeto foi um desafio colocado por Bruno Pereira. Respondia a necessidades das suas atividades de investigação, mas foi colocado desde o início como um projeto de cocriação e coprodução, onde cada participante seria coautor devendo contribuir livremente com os seus fundamentos artísticos, argumentos teóricos e competências técnicas relacionadas com os interesses e campos de investigação pessoais, contribuindo para um todo científico e artístico coerente. Foi levado a palco em várias ocasiões.

Invocava uma reflexão à volta da ansiedade, da percepção de tempo linear e não linear e do espaço físico. Usava constituintes sonoros, verbais/não-verbais e visuais e atitudes estratégicas que os emitiam e manipulavam em tempo real criando um todo artístico que tinha como um dos objetivos fundamentais evocar questões de ordem estética e filosófica.

Entre outras modalidades propunha, a respeito de uma das minhas preocupações projetuais, mas circunstancialmente paralela a todos os coautores, que um ato performativo é um evento participativo onde essas entidades partilham e constroem um conjunto de circunstâncias interligadas simultâneas. Mas também uma ocasião onde os constituintes e eventos desencadeiam processos interativos de análise, percepção, apreciação, retorno e coprocessamento entre as entidades envolvidas, criando processos dinâmicos e complexos de experiência estética — isto é, experiência emocional, mas também racional.

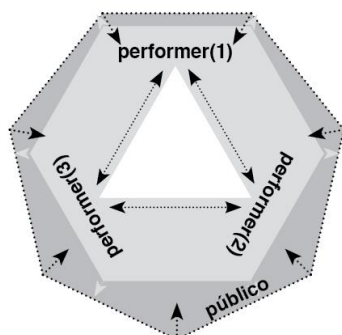


Fig. 70: Ecologia de um contexto performativo.

Abstração conceptual sobre as potenciais sinergias geradas no palco.

Em: (Pereira, Andrikopoulos, e Tomé-Marques 2015)

O ato performativo, na sua ecologia, era proposto como um superconteúdo evento, isto é, uma quantidade extraordinária de estímulos a competir entre si, que poderia potenciar momentos capazes de condicionar a receção, percepção, cognição dos participantes, onde a fruição destes poderia possivelmente ser manipulada por uma dimensão impossível de controlar. Isto deveria ser usado como alimento de um sistema de manipulação de vídeo em tempo real.

Era um ato performativo participativo, que pressupunha a interação dos três autores também como performers. Bruno Pereira, como performer voz/corpo, Dimitris Andrikopoulos, como performer dos conteúdos sonoros, e nós, como performer dos conteúdos visuais vídeo.

Para além das performances em tempo real, *Quartas Paredes* pressupunha um formato de instalação com tinha como propósito a ressonância dos atos performativos.

13.5.2 Desenvolvimento

Para que a ideia da possível desestruturação das hierarquias da percepção fosse conseguida, tanto no tempo-real performativo, de palco, assim como na ressonância, implementámos um sistema que se relacionava com aquela hipótese. Um (sub)sistema de atuação com base na replicação de um padrão Cognitiv²⁹², que poderia representar a volição e um segundo (sub)sistema, com capacidade de medição da excitação, que representava o processamento emocional.

²⁹² Ou seja, um padrão treinado e gravado no módulo Cognitiv Suite.

Permitiam a manipulação das sequências videográficas explorando, em tempo real, a sobreposição de quadros, por via de retenção temporária de mais ou menos quadros precedentes e mistura com os em exposição, ora mais, ora menos sincronizados, tanto com a exposição e expressão corporal do performer voz/corpo, como com a exposição e caracterização sonora.



Fig. 71: Representações em *Quartas Paredes*.

A composição acima, com quadros dos documentos vídeo de uma das câmaras usada para a performance, refere-se às três performances do projeto. Primeira linha: Faculdade de Belas Artes, Porto; segunda linha: Escola Superior de Música, Artes e Espetáculos, Porto; terceira linha: Museu Municipal Abade Pedrosa. As sequências testemunham com bastante clareza a sobreposição de camadas, ora mais em fase ora mais desfasadas, onde as imagens do performer estão em várias posições, e mais ou menos repetidas, ora com proximidade de expressão corporal, ora com expressão pela qual passou há algum tempo.

Quartas Paredes propunha uma lógica narrativa, baseada numa estrutura formal e pró orientadora, inscrita num diagrama guião.

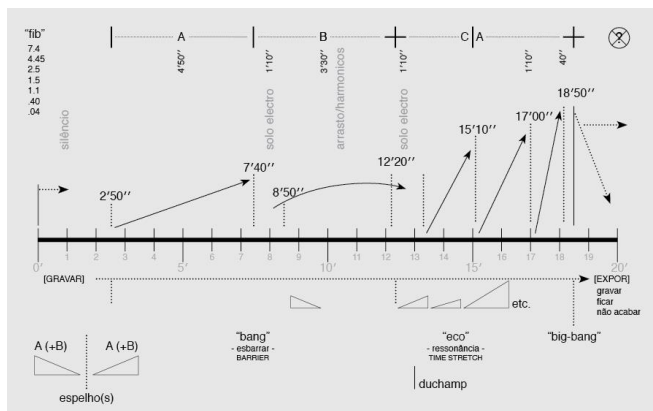


Fig. 72: Quartas Paredes, estrutura narrativa formal.

Fluxograma de pragmatização do conceito narrativo e segmentação temporal de Quartas Paredes. Em: (Pereira, Andrikopoulos, e Tomé-Marques 2015).

Foi decidido que tivesse 20 minutos na sua totalidade. Depois usou-se o número ϕ (Fi) — 1.618 — o número relacionado com sequência de Fibonacci²⁹³ e com a proporção áurea na sua inversão, 0.618, (Stakhov 2009) como base de relação entre partes. O cálculo, não rígido, mas observando a lógica fibonaciana, determinou 7 partes, em que a mais próxima do final da performance teria muito poucos segundos, a penúltima cerca de 40 segundos, a antepenúltima cerca de 1 minuto e 10 segundos, e assim sucessivamente até à primeira com cerca de 7 minutos e 40 segundos. Não havia também nenhum vínculo exclusivo a uma forma com início, meio e fim, absolutista, mas era configurado por princípios a observar durante o ato performativo: secções, tempos de exposição de secção, aumentos e/ou variações de amplitude, possibilidade de um grande clímax e desfecho. Mas, não sendo rígido, apesar de existir formalmente, o guião possibilitava permeabilidade a contingências espontâneas do contexto e liberdade de improvisação.

13.5.3 Aspetos técnicos específicos

O sistema²⁹⁴ compreendia o seguinte hardware e software: 1) Interface EEG/BCI Emotiv Epop; 2) Computador; 3) Emotiv Research SDK; 4) MindYourOSCs; 5) Max.

²⁹³ A sequência de Fibonacci (c. 1170 – c. 1250) refere-se à sequência de números na qual cada número é resultado da soma dos dois precedentes, começando pelo número 0 e 1. Assim, $0+1=1$; $1+1=2$; $2+1=3$; $3+2=5$; $5+3=8$; etc.

²⁹⁴ Aqui damos nota apenas do sistema de manipulação de vídeo em tempo real.

O sistema visual era constituído por captação com dupla câmara, uma com sensibilidade a infravermelhos, e projeção de vídeo sobre o performer voz/corpo, estando este entre dois planos de receção, um anterior, translúcido e outro posterior, opaco. Isto tinha como objetivo explorar de forma mais intensa a sobreposição dos elementos projetados com os elementos reais em atuação.

O sistema de manipulação de vídeo era baseado em controlo de parâmetros que usava a interface EEG/BCI Emotiv e métricas dos módulos Affectiv Suite, para denotar emoções, Cognitiv Suite, para o controlo volitivo. Permitiam isso controlar e manipular os constituintes videográficos em dimensões como continuidade e descontinuidade, através da sobreposição de múltiplos quadros na projeção, proporcionada por desalinhamento e dessincronização destes, entre si, e entre si e os em atuação real, com diferentes transparências e tempos de dessincronização.

Níveis de experienciação emocional deveriam estar correlacionados com desfaseamento do vídeo captado e projetado em tempo real. Havia um nível “zero”, relativo a um estado pouco excitado. A partir daí, quanto mais excitado, mais desfaseamento deveria ser aplicado. A volição deveria ser usada para repor o nível “zero”.

À entrada tinha um PATCH de receção e endereçamento das métricas Excitement provenientes, do módulo Affectiv Suite, e métricas com rótulo RIGHT, do módulo Cognitiv Suite. As métricas Excitement eram divididas numa escala de 5 níveis, usando um sistema com objeto(s) PAST, objeto que, quando deteta se um determinado valor é ultrapassado, gera um só impulso BANG, que servia para ativar os manipuladores de vídeo. Foi implementado simultaneamente para valores crescentes e valores decrescentes, permitindo isso gerar BANG para, no sentido ascendente, ativar o(s) vídeo(s) correspondente(s) ao nível, e vice-versa. Tinha saídas diretas e com atraso via objeto DELAY. Primeiramente selecionava as velocidades aplicadas aos controladores de tempo, usando metrónomo QMETRO, para permitir o desfaseamento da exposição dos quadros e, imediatamente a seguir, o DELAY ativava-os. Os valores provenientes do módulo Cognitiv Suite, que permitiam a reposição do nível “zero”, passavam por um processo idêntico, mas usava apenas um PAST pois necessitava somente de detetar um máximo de valor, pré-determinado, para replicar o padrão do rótulo RIGT para repor o referido nível.

O sistema de controlo de parâmetros era baseado num PATCH Max criado por mim para o projeto. Este permitia atrasos e sobreposição de quadros com operações baseadas em modos de mistura²⁹⁵.

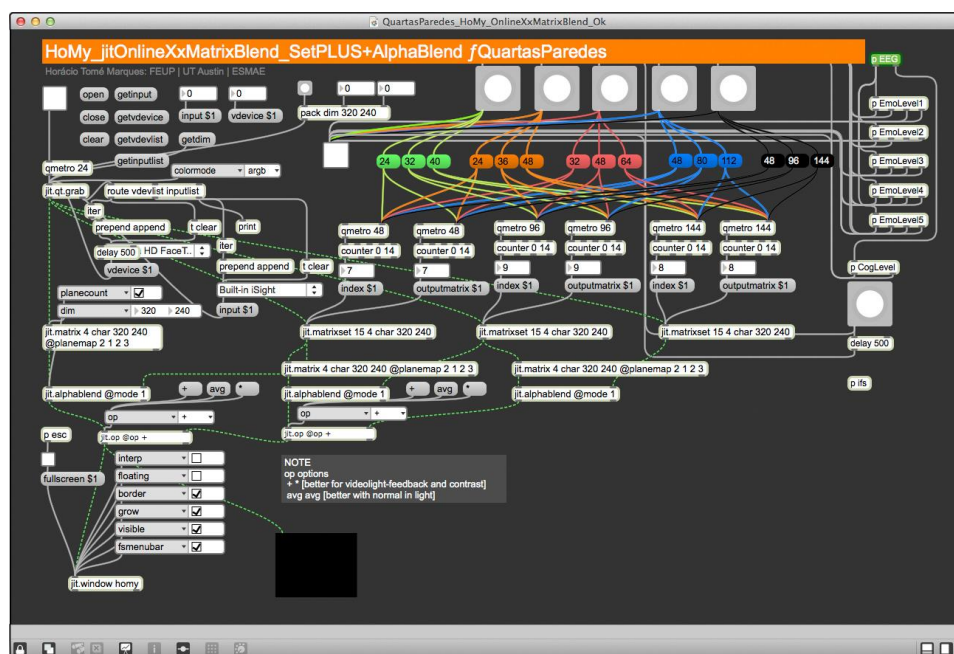


Fig. 73: Painel de controlo *Quartas Paredes*.

Imagem da implementação do sistema de manipulação de vídeo em tempo real baseado em entradas de métricas Excitement do módulo Affectiv Suite, divididas numa escala de 5 níveis (à direita, mais acima), e da entrada dos níveis de um rótulo proveniente do módulo Cognitiv Suite.

²⁹⁵ O sistema foi imaginado e implementada por mim por motivos experimentais, pois, à altura, o Max incorporava alguns objetos e algoritmos com características que permitiam uma aproximação semelhante à nossa implementação. Mas a curiosidade e a possibilidade de poder retirar dividendos de conhecimento adquirido pela experimentação, foi um impulso incontornável.

13.5.4 Resultados

Em termos de potencial narrativo, como *Quartas Paredes* é uma performance a três onde se cria uma complexidade de desenrolar narrativo cuja receção e percepção pode criar problemas no que concerne a audiência inferir que eventos estão relacionados com que processos cerebrais. As três performances (e, já agora, as ressonâncias também) responderam de forma satisfatória à ideação projetual nos seus vários aspetos.

É relevante dizer que usei várias vezes o mecanismo implementado para contornar imprevistos, para manipulação do sistema de vídeo. Mas mais importante é frisar que a maioria das variações narrativas têm potencial para denotar processos cerebrais, seja experiência emocional ou outros aspetos, são realmente provocadas pelos níveis que o sistema aplica com base na deteção do comportamento do cérebro diretamente.

O projeto teve três apresentações performativas com ressonância em Portugal e uma apresentação projetual em Tilburg, Holanda. Foi ainda motivo e objeto de reflexão e sistematização teórica num manuscrito dedicado.

Artigo correlacionado: *Quartas Paredes: Performance para presença, voz, mixed media e manipulação de som e imagem em tempo-real.* (Pereira, Andrikopoulos, e Tomé-Marques 2015) [local]

13.6 FINDINGSOMETHING BONDINGSOUND

A FIGHT BETWEEN THE MENTAL & THE PHYSICAL
FULFILLMENT TO ACHIEVE AN ENLIGHTENMENT



Fig. 75: *FindingSomething BondingSound* (1).

Apresentação no MTF - Music Tech Fest Scandi 2015. Quadro do documentário do evento (MTF).

Horácio Tomé-Marques: coconceção/design, racional EEG, direção artística, programação Max, implementação geral do sistema;

Francisco Marques-Teixeira: coconceção, racional EEG, fundamentação métricas cerebrais *neurofeedback*, supervisão neurociências, atuação EEG/BCI;

Fanni Fazakas: coconceção, conteúdos visuais, design e programação de som, atuação gestual;

Apresentações: 1) MTF Scandi, Music Tech Fest Scandinavia, Umã, Suécia, maio 2015;

2) MTF Central, Ljubljana, Eslovénia, setembro de 2015.

Documentação av: <https://encephalo.online/findingsomething/> [local]

Nota: Prémio Prémio Blue Vinyl Award / MusicBricks

13.6.1 Introdução conceptual

O *FindingSomething BondingSound*²⁹⁶ é uma peça performativa audiovisual para dois atores que expõem uma narrativa conceptualmente ancorada num evento inter-relacional entre dois seres humanos. Podemos vê-lo como um jogo baseado em provocação e perceção, tendo como ingredientes gestos, expressão corporal, e a sua receção, perceção e potencial reação cerebral, operando de forma iterada evolutiva.

O projeto propunha originalmente uma reflexão sobre a relação da mente com o corpo. Colocava também a questão, de essência introspetiva e filosófica: “está a mente separada do corpo”? e propunha-se a *hackear* o cérebro e o corpo e a traduzir a atividade destes por via de sons e imagens relacionados com as emoções, motivações e comportamentos.

O cérebro deveria atuar como um sistema de amostragem audiovisual e os movimentos (gestos) do corpo como modulador de efeitos. A mente deveria controlar amostras — objetos sonoros previamente selecionados — de áudio e vídeo organizadas numa lista de reprodução de acordo com paradigmas de *neurofeedback* relacionados com deteção e gestão de estados mentais. Esses estados mentais deveriam ter 7 etapas, de baixa excitação a alta excitação, como hipóteses e fontes de alimentação do sistema de controlo, e deveriam emanar da eletrofisiologia cerebral do performer EEG/BCI no contexto da interação. Em simultâneo, os movimentos e gestos do corpo e membros do performer que atuava sensores cinemáticos deveriam servir como moduladores de efeitos, tanto sobre os objetos e sequências sonoras como sobre os objetos e sequências visuais.

²⁹⁶ A designação original era *FindingSomEthing BondingSoUnding*.

Colocámos a hipótese que, entre um momento inicial, em que o performer que atuava a interface EEG/BCI estivesse, eventualmente, mais relaxado, e um momento final, em que este estivesse eventualmente mais ansioso, e/ou focado, pudesse haver vários estádios intermédios, entre a zona mais posterior e a mais anterior, que iria ser usado com potencial narrativo. Houve, por isso, ideação prévia sobre a possibilidade narrativa que foi transcrita formalmente.

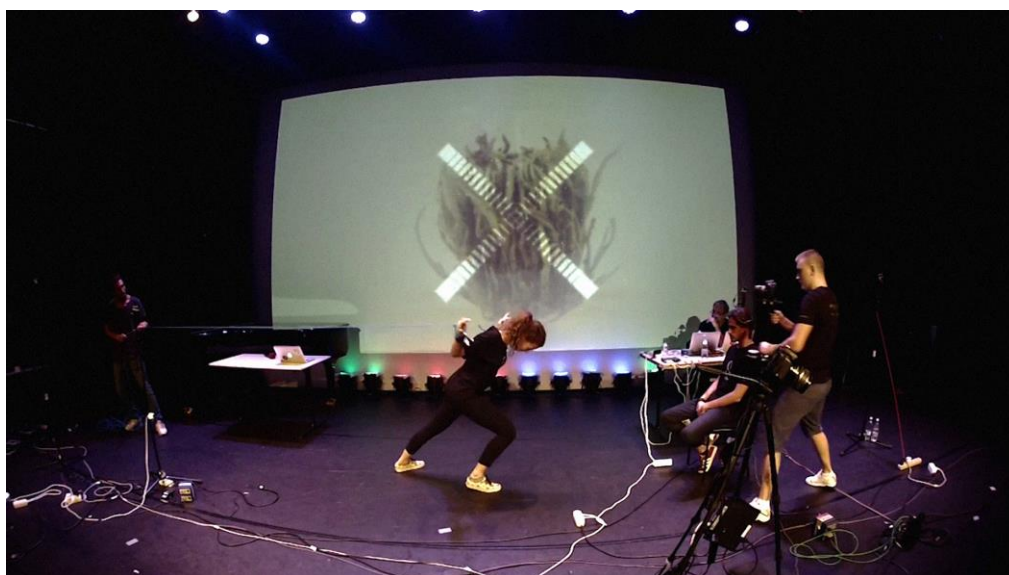


Fig. 76: *FindingSomething BondingSound* (2).
Segunda apresentação no MTF Central, Ljubljana, Eslovénia, setembro 2015.

13.6.2 Desenvolvimento

Foi realizado no #MTF Hacks um laboratório de *hacking*²⁹⁷ promovido pelo MTF, Music Tech Fest Escandinávia 2015, Umeå, Suécia, campus das artes,

²⁹⁷ Um Hacker é indivíduo que se dedica a conhecer e a modificar hardware e software com o objetivo de potenciar o livre acesso a informações e a melhoria da qualidade de vida. O conceito foi divulgado no livro *Hackers: Heroes of the Computer Revolution* de Steven Levy (ISBN 0-385-19195-2), no qual escreve sobre as motivações, ética de conduta e a possível origem no Instituto de Tecnologia de Massachusetts, nos anos 50 e 60.

Universidade Umeå, entre 29 e 30 maio de 2015²⁹⁸. O MTF é um evento que desafia e potencia a ideação e experimentação técnica, artística e performativa abrangendo áreas como a biônica, a moda e interfaces hápticos e não hápticos com destaque nas tecnologias de criação e produção musical com preocupações e objetivos humanísticos, sociais, integradores, que quebrem barreiras e preconceitos políticos, sociais e culturais.

Os #MTFHacks colocam desafios de criação, produção e demonstração efetiva de projetos em 24 horas, sobre temas específicos, com curadoria e supervisão de um comité de artistas, engenheiros, cientistas, académicos e investigadores. Para além dos temas, disponibilizam protótipo de tecnologias em desenvolvimento que devem ser incorporadas de alguma forma nos projetos. Nesta edição, a exemplo, o IRCAM disponibilizava protótipos de sensores de movimento/gestos R-IoT²⁹⁹. O tema que escolhemos para enquadrar *FindingSomething BondingSoUnding* foi Music Communication³⁰⁰ pois era que se nos afigurava como o menos fechado em termos de aproximação e onde poderíamos incorporar várias componentes que sublimassem a essência conceptual que articulava dinâmica de interação humana, percepção, emoções e comportamento.

Baseou-se, assim, fundamentalmente em duas tecnologias: sensores de eletrofisiologia cerebral e cinéticos. O dedicado ao cérebro era uma interface EEG/BCI

²⁹⁸ Antes da participação no Music Tech Fest, em janeiro do mesmo ano, participámos no Festival CTM 2014, onde criámos um projeto denominado SonicMinds. Este projeto, com autoria partilhada — Horácio Tomé-Marques, Francisco Marques-Teixeira, Miguel Ortiz e Francisca Gonçalves — tinha por objetivo sonificar os dados cerebrais em tempo real, implementando uma consola de DJ (disc jockey), onde os objetos sonoros, em vez de serem derivados de discos ou ficheiros digitais, deveriam ser gerados pelos cérebros e escolhidos e passados pelo DJ, como se estivesse a escolher aqueles, de acordo com pré-escuta e seleção da sonificação proporcionada por cada cérebro. SonicMinds não teve desenvolvimentos posteriores, mas foi inspirador e motivador para o projeto *FindingSomething BondingSound*. O Festival CTM ocorre paralelamente e de forma cooperativa com o Festival Transmediale Berlim (<https://www.ctm-festival.de>)

²⁹⁹ O módulo R-IoT, plataforma com tecnologia para a internet-das-coisas, permite a deteção de movimento, processamento e transmissão sem fio através de rede WiFi. Foi pensado e desenvolvido como um bloco (*brick*) essencial para a criação de novos instrumentos musicais baseados em movimento e interação media baseada no corpo (<http://ismm.ircam.fr/riot/>).

³⁰⁰ Comunicação Musical.

Emotiv, com a qual já estávamos bastante familiarizados, e os cinéticos eram os R-IoT, IRCAM, que desconhecíamos.

13.6.3 Aspetos técnicos específicos

O sistema compreendia o seguinte hardware e software: 1) Interface EEG/BCI Emotiv EPOC; 2) Computadores Macbook Pro; 3) R-IoTs IRCAM; 4) Router 8 canais TP-link Ethernet³⁰¹; 5) Mini routers TP-link 3G/Wi-Fi AP³⁰²; 6) Emotiv Research SDK; 7) HoMy_EmoRAW; 8) Max; 9) Ableton Live.

Desenvolvemos uma aplicação baseada em Max que incluía várias rotinas e funções originais e também nós-objetos nativos e externos específicos, como os filtros da biblioteca MnM, para filtrar os dados e extrair as bandas de frequência Alfa e Beta. Os dados em bruto eram recolhidos e transferidos por HoMy_EmoRaw para um PATCH de receção e endereçamento de canais. Seguidamente, seguia-se a extração e segregação de bandas de interesse de acordo com a seguinte distribuição: 1) banda Beta: 8 elétrodos frontais (pré-frontal, frontal, pré-motor, 4 no hemisfério esquerdo e 4 no hemisfério direito); 2) banda Alfa: 6 elétrodos posteriores (occipital, parietal e temporal, 3 no hemisfério esquerdo e 3 no hemisfério direito).

Depois de obtido o espectro de potência dessas 2 bandas de interesse relativas aos sítios frontais e posteriores, o sistema calibrava a sensibilidade de cada filtro MnM de acordo com o performer que atuava a interface EEG/BCI Emotiv.

³⁰¹ Ethernet é uma arquitetura e tecnologia de rede baseada em interconexão física.

³⁰² AP designa Access Point (ponto de acesso).

13.6.4 Resultados

Conseguimos levar o projeto a um nível que preenchia algumas das ideias e objetivos iniciais, não apenas em aspetos técnicos, mas também artísticos. As métricas baseadas nas filtragens e cálculos implementados, alimentadas pelos processos cerebrais do performer que atuava a interface EEG/BCI Emotiv Epop, ativava os constituintes áudio, no Live, e os constituintes visuais relativos, no Max, de forma que potenciava uma leitura de essência sequencial narrativa, isto é, uma exposição com início, momentos intermédios e resolução.

O potencial estético mostrou-se presente pela provocação emocional e também por desafio à introspeção e reflexão sobre as relações dos seres humanos entre eles e consigo próprios.

FindingSomething BondingSound teve duas apresentações públicas, uma em Umã, Suécia, em maio 2015 e outra em Ljubljana, Eslovénia, em setembro de 2015. Devido à natureza do #MTFHacks, que determinava 24 horas para materialização dos projetos, desde a conceção à apresentação, a versão usada na Suécia estava em estado de protótipo, que foi, posteriormente, depurado, na medida do possível, para a apresentação na Eslovénia.

Esta última surgiu como consequência da apresentação em Umã, mas também como obrigação, já que o projeto foi premiado com um MusicBricks³⁰⁴, uma atribuição que pressupunha a continuação do desenvolvimento do projeto e posterior apresentação. Não negamos que o prémio não seja interessante enquanto motivo de impacto social. Mas, para nós, o seu significado maior deriva do facto de que a sua atribuição assenta numa deliberação do júri do MusicBricks pois este era constituído por elementos ligados à academia e investigação, de várias áreas de conhecimento, e isso para nós significou que *FindingSomething*

³⁰⁴ MusicBricks: Musical Building Blocks for Digital Makers and Content Creators, foi uma Ação de Inovação fundada pela Comissão Europeia, coordenada pela Sigma Oriniosis SA (França) em consórcio com várias instituições. Eram prémios de incubação e incentivos à continuidade de investigação e desenvolvimento, configurados por bolsas. Era composto das seguintes instituições: 1) Sigma Orionis, França; 2) Stromatolite Ltd, Reino Unido; 3) IRCAM - Institut de Recherche et de Coordination Acoustique Musique, França; 4) Universitat Pompeu Fabra, Espanha; 5) Fraunhofer-Gesellschaft zur Foerderung der Angewandten Forschung E.V, Alemanha, e 6) Technische Universität Wien, Österreich, Áustria).

BondingSound tinha características que responderam satisfatoriamente aos critérios, análise e apreciação desse público específico.



Fig. 78: Blue Vinyl MusicBricks Award.

Imagem da cerimónia da entrega do prémio ao projeto *FindingSomething BondingSound* por Michela Magas e Adam John Williams, ambos à esquerda, aos autores, à direita.

Foi ainda finalista nas nomeações da primeira edição do *STARTS Prize'16, Innovation at the nexus of Science, Technology and the Arts*, um prémio patrocinado pela Comissão Europeia para reconhecimento de inovação na tecnologia, indústria e sociedade estimulada pelas artes, coordenado pela organização Ars Electronica.

13.7 I WILL PLAY THE ELECTRIC BRAIN

THE MANIPULATION OF THE BRAIN'S ELECTRIC CAPACITY, AND ITS CLUSTERS, THROUGH SENSING AND IMAGINATION, TO SYNTHESIZE SOUND ENTITIES.

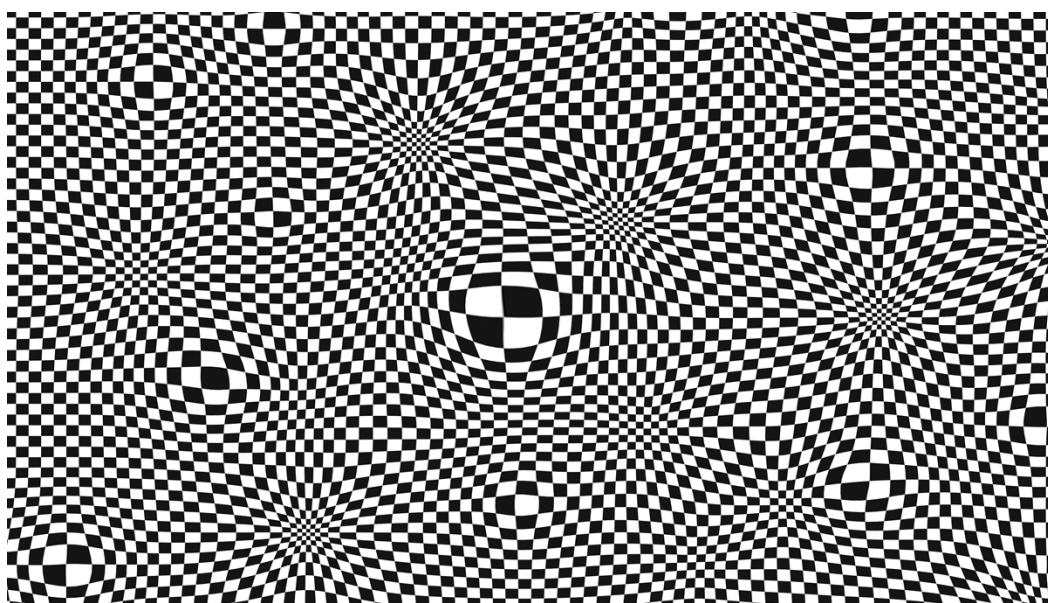


Fig. 79: *I Will Play the Electric Brain.*

Imagem de referência de estímulo visual: abstração de fosfeno

Horácio Tomé-Marques: conceção artística, conceção EEG, programação Max

Apresentações: 1) *16th International Meeting of Art and Technology: #16.ART: Artis intelligentia: Imagining The Real*, 2017. Porto, Faculdade de Belas-Artes da Universidade do Porto. 2) Laboratório Multimédia da Escola Superior de Media, Artes e Design, abril de 2019.

Documentação av: <https://encephalo.online/i-will-play-the-electric-brain/> [local]

13.7.1 Introdução conceptual

I Will Play the Electric Brain é um projeto de essência fundamentalmente sonora. Foi o mais recente a ser apresentado, mas o mais longo a ser implementado. Foi também o projeto mais solitário. É um retorno ao início, à música. Faltava-me um trabalho cuja essência fundamental fosse musical. Um projeto onde a expressão sonora fosse o cerne da manifestação, mesmo que aberto à expressão visual também. As minhas primeiras intervenções, experiências e propostas tiveram-na como alvo preferencial pelo seu eventual potencial enquanto estímulo para a experiência emocional. Mas também enquanto sistema de produção artística, que, para ser atuada e manifestada, em tempo real por um performer, se humano, pressupõe o uso de mecanismos da volição por parte deste.

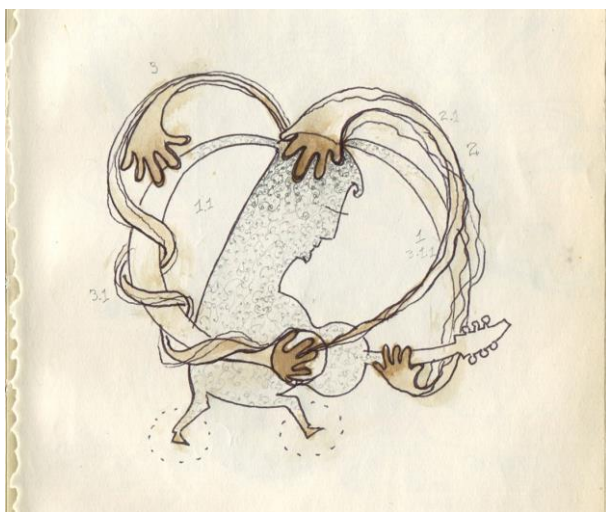


Fig. 80: *My electric brain will play my guitar*, 2011.

Ilustração emanada da reflexão sobre os processos que podem estar envolvidos na atuação, manifestação, receção e impacto nos processos do cérebro.

E, enquanto músico, tanto na vertente de composição como prática de palco, a motivação transformou-se em necessidade. Também motivado pelos projetos

artísticos que, na história dos últimos sessenta anos, usaram ondas cerebrais, muito particularmente as ondas Alfa, como fonte da expressão artística.

O projeto ancorava-se em reflexões, correlacionadas, sobre a visão, sobre a imaginação, sobre os processos cérebro relacionados com vários destes aspetos. Também sobre os estímulos visuais e o potencial impacto destes na percepção auditiva e o dos estímulos sonoros na percepção visual, e sobre a lógica das oscilações elétricas cerebrais e das oscilações sonoras.

Seguindo estrategicamente e metodologicamente critérios especulativos sobre as oscilações cerebrais, propunha a exploração de campos, fluxos e variações elétricas de vários sítios do cérebro, tanto geradas pela observação como pela imaginação, como possível matéria básica constitutiva de um sintetizador de som usando principalmente síntese aditiva³⁰⁵. Neste, os osciladores deveriam ser alimentados pelos dados em bruto da discretização Emotiv.

Procurava processos indutores, eventualmente apercebidos como embutidos com essência narrativa, entre a exposição a estímulos visuais e a imaginação de objetos e eventos, conscientemente, mas permeáveis à interferência do contexto, que pudessem manipular a eletricidade cerebral, por forma a sintetizar substância sonora nova e não disponível anteriormente. Ou seja, gerar objetos sonoros inovadores. Objetos que, eventualmente, se pudessem intra e inter-correlacionar e sequenciar de tal forma que permitissem, eventualmente e não sendo esse o derradeiro objetivo, que o todo fosse percebido como música³⁰⁶.

Incluía na reflexão o problema inverso, que está relacionado com o problema em localizar efetivamente e objetivamente as fontes reais da atividade elétrica cerebral a partir dos sinais recolhidos nos vários locais à superfície do escalpe pelos eletrodos EEG³⁰⁷.

³⁰⁵ A síntese aditiva é o processo de adicionar várias sinusoides com diferentes frequências com o objetivo de produzir um som final (Russ 2012).

³⁰⁶ Música entendida como exposição vertical e horizontal de objetos sonoros, capturados ou gerados em tempo real, organizados deliberadamente e/ou espontaneamente.

³⁰⁷ O EEG adquirido à superfície do couro cabeludo só é capaz de registar a partir de populações de neurónios, porque apenas grupos de células produzem voltagem suficiente para permitir isso. Contudo, os locais-fonte do EEG não são fáceis de inferir. O EEG é bom como um descodificador temporal, mas

Finalmente, queria-o como um manifesto — e protesto, senão explícito, implícito — que visava problematizar o consenso em e sobre as fontes de certos fenômenos elétricos cerebrais, como os sítios da imaginação, e os postulados sobre o que esses fenômenos supõem denotar em termos de demarcação e sinalização fenotípica e a alguns métodos e abordagens experimentais que os seres humanos têm vindo a usar ao longo do percurso de investigação do cérebro, por exemplo, as experiências que ajudaram a perceber as características tópicas do sistema visual. Algumas foram feitas *in vivo* usando elétrodos intra-corticais — literalmente inserindo minúsculos elétrodos nos grupos neuronais do córtex visual primário —, no final da década de 1950 e início dos anos 1960, usando gatos como sujeitos.

O projeto, nesta versão, é essencialmente sonoro. Recorre, contudo, a imagética de essência visual para gerar e manipular a realidade sonora, mas apenas a inscrita no interior cerebral, isto é não é materializada em qualquer realidade visual explícita de sentido artístico instrumental.

Observando os vários elementos e a essência específica atrás mencionados, a exposição a seguir, tendo a mesma base formal, tem conteúdos que vão para além do caráter de reporte, pois vi como necessário mais algumas referências, específicas, para além das que estão no corpo de referência dos capítulos iniciais.

13.7.2 Desenvolvimento

Alguns ingredientes emanaram de uma introspeção derivada de leituras de referência que diziam que “no cérebro a imaginação e realidade fluem em direções opostas” (Bergland 2014; Dentico et al. 2014), e que há fortes evidências de um caminho cortical occipito-parieto-frontal durante a percepção de imagens, invertida na reprodução mental e na imaginação livre de imagens. E, outros, que sugeriram que novas técnicas de EEG permitiam a classificação da percepção musical, com acurácia estatisticamente significativa, mas foram incapazes de classificar a imaginação da música (Sternin 2016).

não é bom como um informante de sítio-de-ocorrência, ou seja, não é bom em detetar e denunciar os locais precisos onde os sinais elétricos se originam (Nunez e Srinivasan 2006).

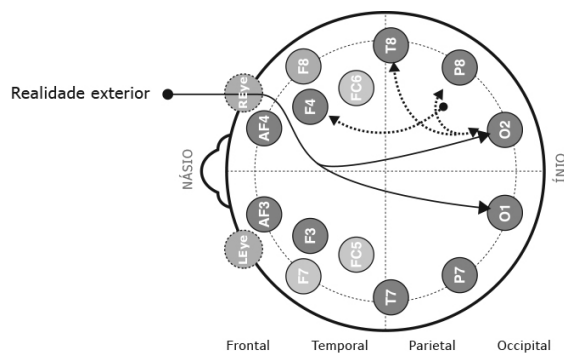


Fig. 81: Caminhos da visão e das imagens.

Diagrama denotando os caminhos da visão (apenas de um olho por conveniência), os locais do cérebro onde as imagens podem estar presentes e os locais dos eletrodos correspondentes, na generalidade, aos respetivos locais.

Olhei de novo para as oscilações Alfa, mas também para as oscilações sonoras, e analisei a lógica e as características da amplitude e energia destas. Em relação a Alfa: quando os olhos se fecham, há uma interpretação potencial por parte do cérebro que esse comportamento seja o início de um comportamento relaxado e menos pró-ativo o que inicia um disparo sincronizado das células occipitais que levam a um aumento da amplitude elétrica média na banda de frequência Alfa. À medida que os olhos se abrem, o cérebro interpreta isso, potencialmente, como um retorno a um estado ativo, o que leva a uma dessincronização do disparo das células occipitais, denotando uma diminuição da amplitude elétrica média na mesma banda. A alteração do sinal elétrico é evidente mesmo numa inspeção à vista desarmada, ou seja, sem ter de se recorrer instrumentos de ampliação ou destrinça.

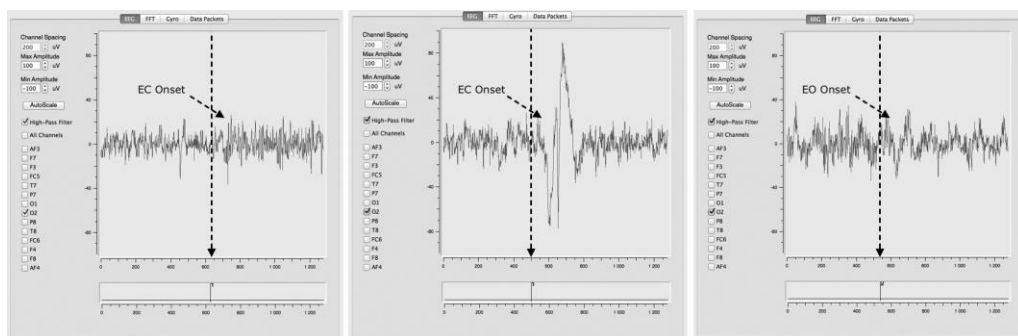


Fig. 82: Ondas Alfa no córtex occipital.

Uma representação visual em tempo real do EEG na zona occipital (somente canal direito, por conveniência de inspeção) por 3 sujeitos diferentes, onde as variações de sinal são claramente visíveis entre as condições de olhos fechados / abertos. 1 e 2 denotam o início de fechamento dos olhos; 3 denota o início de abertura dos olhos.

Um sinal sonoro, se não for uma oscilação senoide pura, isolada, é formado pela soma de várias oscilações isoladas que a constituem (Müller 2015). As ondas cerebrais também são oscilações complexas. Elas resultam da soma de todas as ondas que as constituem, que delas fazem parte. Podemos vê-las como o resultado de uma síntese aditiva natural.

Uma característica particular dos sinais oscilatórios reside no facto de que as ondas que têm mais energia — amplitude — tendem a conduzir aquelas que têm menos. E as ondas mais lentas tendem a ter mais amplitude, e as mais rápidas tendem a ter menos. Existe uma estreita relação das ondas cerebrais com esta lógica, embora, em termos de amplitude, elas possam exibir pequenas diferenças, sendo relevante dizer que isso também depende dos métodos e da tecnologia aplicada na captação, transdução a amplificação.

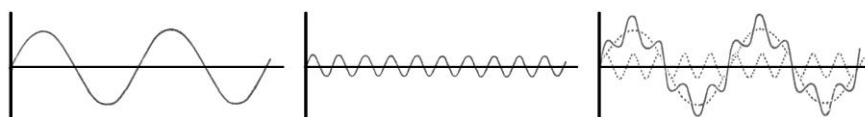


Fig. 83: Somação de ondas.

Dois frequências, duas amplitudes e a onda resultante. Adaptado de *Waveforms: Adding waveforms and Phase.* (Mannell 2008)

Alguma literatura (Kropotov 2010; Niedermeyer e Silva 2005b) sugere: Delta, a mais lenta, de > 0 a 4 Hz, está na faixa de 10-20 microvolt; mas o Alfa, que é mais rápido, de 8 a 12 Hz, pode estar na faixa de 15-50 μV . Contudo a Delta está escassamente disponível para ser adquirida (à superfície do escalpe e durante estados de vigília, ativos). Teta está disponível, mas não é muito proeminente no lobo occipital; Alfa é o mais proeminente e mais disponível; Beta está disponível, é proeminente em vários sítios, mas é mais rápido e tem uma amplitude de bastante menos poderosa que Alfa, usualmente não ultrapassando os 20 μV .

Ideei, então, uma formulação com as seguintes condições: 1) as oscilações Alfa são as mais presentes; 2) tendo Alfa bastante mais amplitude do que Beta, será então Alfa que conduz beta; 3) os processos cerebrais cujo Beta está relacionado com, só poderão ser observáveis se lhe removermos Alfa. 4) estando Alfa sempre presente é Alfa que se mostra; 5) Beta não será vinculativo, quando muito será um ruído de fundo negligenciável e só será discernível se lhe removermos Alfa;

6) o traçado EEG de sinais em bruto, isto é, aquele ao qual não é aplicado qualquer filtro de extração e remoção de bandas de frequência relacionadas com processos cerebrais, é primordialmente Alfa.

Isto significaria que poderia usar o sinal em bruto enquanto representante de Alfa, e que a deteção de picos de máxima amplitude do sinal bruto, em comparação com mínimos de amplitude, no sítio onde é detetado ou entre sítios, poderia ser usado como índice de processos e dimensões onde Alfa é usado para os detetar. Por exemplo emoções calculadas com base na assimetria frontal Alfa.

I Will Play the Electric Brain, no que concerne a estrutura de exposição, não obedece a nenhuma pauta, grafada formalmente, que o reduza a uma narrativa definitiva. Mas devido a um longo envolvimento e relação prática com música, acabei por ter presente sempre formas musicais³⁰⁸ implícitas, onde a ideia de introdução, solo e resolução está presente. Por exemplo, uma conceção ternária, em termos de secções, onde existe início (A), meio (B) e fim (A'). Mas, como disse, não passa de estrutura abstrata exclusivamente mental.

13.7.3 Aspetos técnicos específicos

O sistema compreende o seguinte hardware e software: 1) Interface EEG/BCI Emotiv Epor; 2) Computador Macbook Pro; 3) Emotiv Research SDK; 4) HoMy_EmoRAW; 5) MindYourOSCs; 5) Max; 6) Reaktor³⁰⁹

Usei dois tipos de dados: as abstrações Emotiv das oscilações elétricas do cérebro em microvolts, que, lembro, são caracterizados por terem um fluxo à roda do valor 4200 μV , com o deslocamento DC, e métricas do módulo Cognitiv Suite. Usei 10 canais³¹⁰ para cobrir os sítios occipitais, parietais, frontais, mas também os temporais que me são relevantes na perceção e processamento de som.

³⁰⁸ Há várias formas — ou conceitos de forma — musicais propostas aos longo dos séculos, entre formas binárias, ternárias, rondo, sonata, minimalistas, entre outras. Duas obras que as delineiam e discutem de forma interessante são: *Musical Form and Analysis: Time, Pattern, Proportion* (Spring e Hutcheson 2013) e *Musical Rhetoric: Foundations and Annotation Schemes*. (Saint-Dizier 2014)

³⁰⁹ O Reaktor é um estúdio musical digital gráfico modular da Native Instruments. Permite projetar e criar instrumentos, sons, efeitos e ferramentas de design de som (<https://www.native-instruments.com/en/products/komplete/synths/reaktor-6/>)

³¹⁰ Lembro que o Emotiv Epor tem 14.

Primeiramente, com um PACTH de recepção e endereçamento dos canais, são iterados os dados em listas por forma a permitir alterar o tempo de trânsito e saída com base no objeto METRO. São iterados cálculos do máximo do sinal por canal. São depois distribuídos de acordo com a sua relação com os sítios EEG e enviados para o PACTH principal de gestão. À entrada deste, de seguida, é removido o deslocamento DC usando uma média da tensão. Como se estivéssemos a usar um filtro passa-alto, mas por via de cálculo de média e remoção desta aos valores de entrada em épocas pré-determinadas (a aplicação usual era 1 segundo).

Seguidamente, por forma a deslocar alguns dos valores resultantes, com fluxo à roda de zero depois da remoção, para escalas audíveis, adicionam-se valores com o objeto +, por exemplo, 48. Isto quer dizer, a exemplo, que o valor 1, resultante do processo da pseudo-filtragem, terá o valor 49. Os números são, também, todos transformados em inteiros. Depois são calculados os máximos de amplitude do sinal de cada canal através de um sistema de comparação baseado em dois objetos condicionais IF e um derivador de porta com o objeto GATE que passa uma entrada para uma saída pré-determinada. São os valores numéricos resultantes os usados para alimentar os oscilares, ora diretamente, ora através da passagem por teclados virtuais.

Os dados resultantes são usados para alimentar três sistemas de geração sonora. Dois deles usam osciladores periódicos diretamente, uma de onda sinusoidal, via objeto CYCLE~ e outra onda triangular, via objeto SAW~. As ondas são suplementadas, não simples, considerando que há uma fundamental baseada no valor de entrada do gerador, e pelo menos 4 parciais, baseadas na multiplicação desse valor com o objeto * de multiplicação. Isto tinha por objetivo explorar ressonâncias e potenciais de timbre.

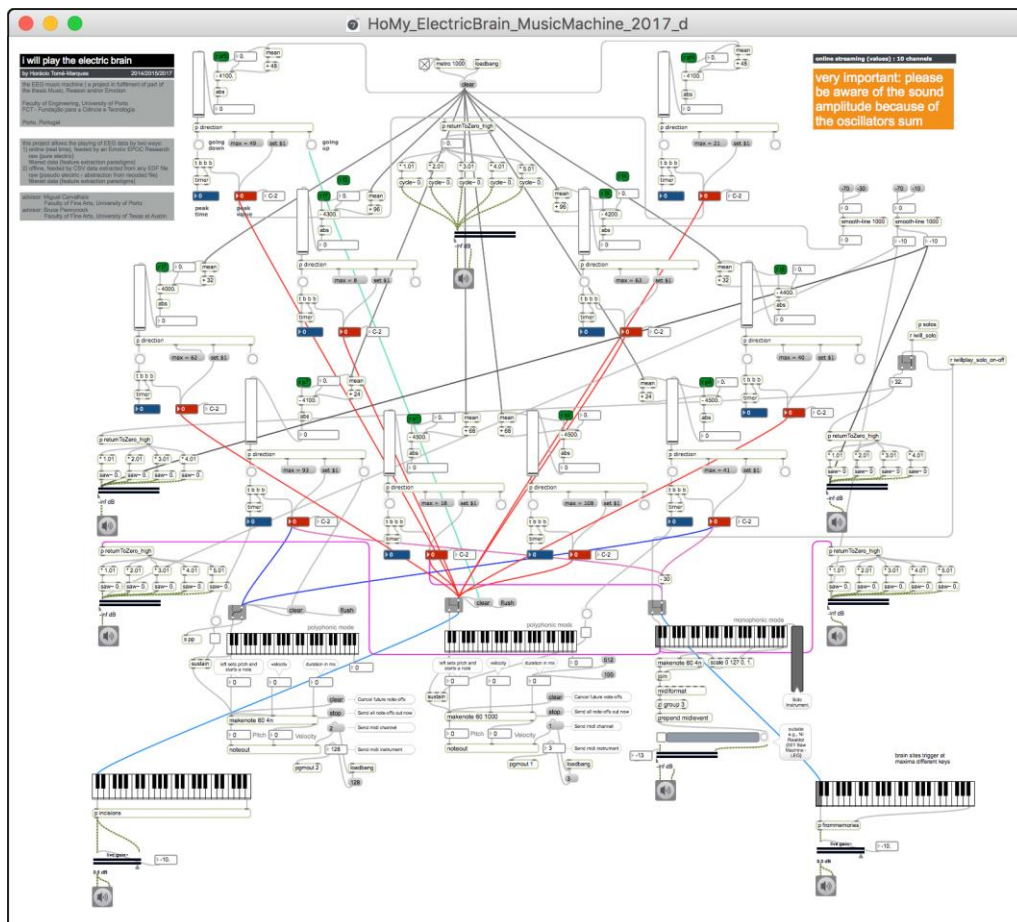


Fig. 85: *Panel I Will Play the Electric Brain.*
 Aspetto do PATCH painel de controlo principal.

A possibilidade de usar instrumentos virtuais com base MIDI também está presente, nomeadamente para aceder a software externo (como o Reaktor) com vista a abrir possibilidade sonoras³¹³.

O sistema está implementado por forma a que a replicação de alguns padrões Cognitiv ligue e desligue vários objetos que o controlam em várias dimensões. Para iniciar o sistema, usamos o rótulo RIGHT, mas por um tempo superior a 5 segundos com uma energia sustentada superior a 0.5 (*10), usando o objeto SMOOTH-LINE. Depois do sistema ligado este começa a gerar múltiplos sons de acordo, então, com os picos de amplitude do sinal. Para o manter a gerar sons

³¹³ A versão da ilustração usa o canal 128 que controla um instrumento de síntese que remete para percussão. O sistema apresentado em #16ART, usou o Reaktor com instrumento solista.

sem nenhuma interferência de padrões Cognitiv atuadores, podemos simplesmente não replicar nenhum padrão, ou melhor, replicar o estado neutro.

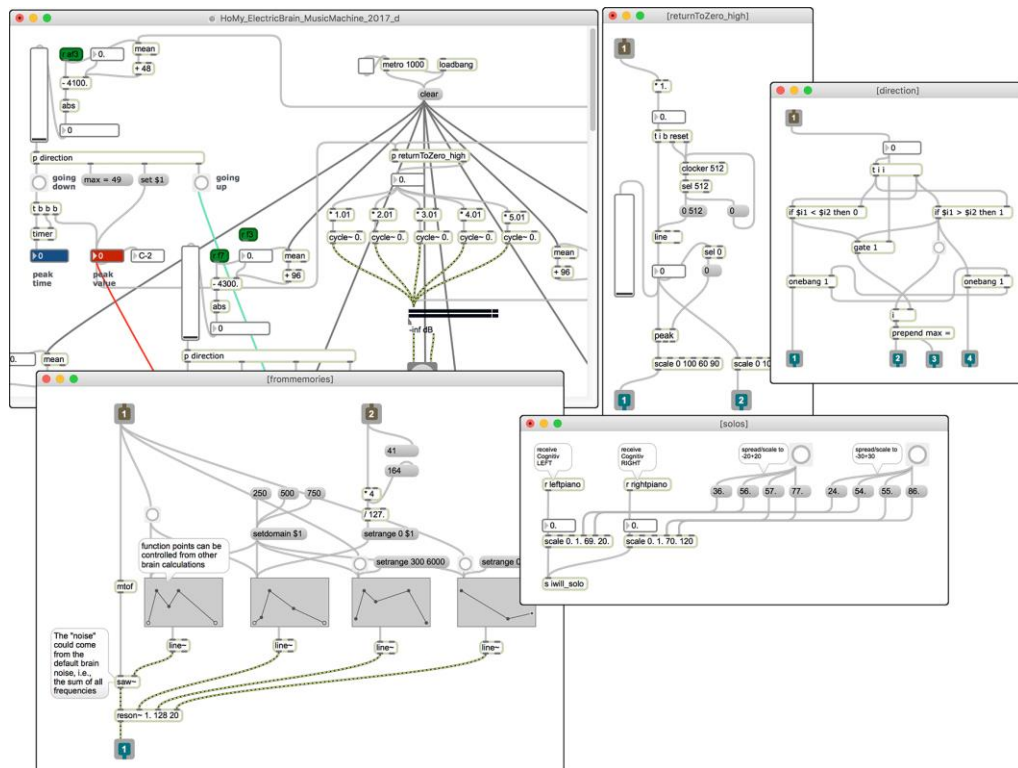


Fig. 86: Detalhes do sistema *Will Play the Electric Brain*.

Esta imagem contempla 5 aspectos do sistema. Acima mais à esquerda detalhe do painel principal. No sentido horário, pode-se ver a implementação de retorno ao zero, depois cálculo de máximos, depois o derivador que permite solar com padrões Cognitiv e, finalmente, um gerador baseado em oscilador [saw~] e envelopes [function].

Mas o sistema está construído de tal forma que permite executar solos, entre baseados nos processos parietais e occipitais — por serem estes fundamentais na reflexão —, mas também baseados em volição, via Cognitiv. Para o fazer, usa-se um segundo padrão, este com rótulo PUSH, que atua sobre dois objetos GSWITCH2 que permitem alternar entre duas saídas de sinal a partir de uma entrada. Assim que o valor Cognitiv estipulado é alcançado os alternadores fazem com que as saídas alimentem osciladores dedicados aos solos. Um deles é permanentemente alimentado pelas variações elétricas dos parietais e occipitais. Mas o outro só atua sob a replicação de dois padrões: o LEFT e o RIGHT.

Este sistema coloca o ponto de partida de um possível solo na nota Dó central implícita³¹⁴. A partir desta nota, a replicação do padrão associada ao rótulo RIGHT faz com que notas sejam tocadas na direção dos agudos — quanto mais potente e sustentada a deliberação mais agudas as notas — e no sentido oposto, uma deliberação relacionada com “esquerda”, mapeada no rótulo LEFT, que consiga replicar esse padrão, faz com que notas mais graves sejam tocadas. Pode-se ligar e desligar a possibilidade de solar sempre que PUSH é replicado.

Para parar o sistema, basta, depois de desligar os solos, replicar o padrão RIGHT com a mesma energia e tempo que foi necessário para o iniciar. É de notar que este padrão também é usado para solar. Isto significa que durante os solos não podemos manter a energia e o tempo que é necessário para parar o sistema, pois, justamente por isso, ele pode-o parar.

13.7.4 Resultados

Os objetos e sequências sonoras geradas são muito satisfatórias e o projeto, enquanto potencial instrumento, respondeu às expectativas, sobretudo porque abre hipóteses de geração e controlo sonoro, a partir dos potenciais elétricos do cérebro, efetivamente motivadoras e, a meu conhecimento, numa forma bastante original. A sonorização caracteriza-se por não transparecer qualquer determinismo, numa primeira fase, pois as notas geradas percorrem uma escala livre, mesmo que não completamente micro-tonal já que parte dos sonorizadores estão mapeados à numeração MIDI relacionada com a distribuição padrão cromática das notas musicais. As entradas dos solos proporcionados pelos sinais emanados de parietais e occipitais são claramente percecionadas, assim como a segunda camada proporcionada pela replicação das métricas Cognitiv.

As características, variações de altura e amplitude dos objetos sonoros, e também da articulação entre eles, encerram um potencial estético pela possibilidade de provocarem emoções espontâneas, mas também curiosidade racional.

Não há documentação vídeo nem fotográfica da apresentação realizada na conferência #16ART, mas há três sequências sonoras exemplo. Há uma apresentação de 2019, realizada em contexto académico na Escola Superior de Arte e Design,

³¹⁴ Lembro que o número de nota MIDI 60 corresponde ao Dó central (C4).

documentada em vídeo, que testemunha a totalidade de uma exposição musical, incluindo os aspetos relacionados com os atuadores de solo.

Artigo correlacionado: *I Will Play the Electric Brain: The Manipulation of the Brain's Electric Capacity, and its Clusters, Through Sensing and Imagination, to Synthesize Sound Entities.*
(Tomé-Marques e Carvalhais 2017) [[local](#)]

14 DISCUSSÃO

14.1 No que concerne o cérebro

14.1.1 O cérebro, esse desconhecido

Gostaria de dizer que há medida que penetrava neste tema gigante que é o cérebro, as minhas leituras, procedimentos meta-analíticos e resenhas críticas, revelaram-me muitas questões de maior importância que se vieram a mostrar como fundamentais, somando-se como motivação simultaneamente filosófica, científica e artística. É importante, por isso, sublinhar que comecei a perceber cedo que havia muitos imponderáveis, muitas questões epistemológicas, muitas questões metodológicas e técnicas, muitas “falácias”, enfim, muitas questões em aberto e que estas deviam ser incorporadas na reflexão, racional, produção e manifestação projetual. E estas preocupações e descobertas fizeram parte sistemática do projeto, que, assumo foi muito mais processo do que projeto. Um processo durante o qual incuti em mim a busca permanente de verdade epistemológica e um comportamento intelectual honesto e imprescindível.

Quando falei sobre o cérebro e os seus constituintes, os neurónios, por exemplo, as suas estruturas, o lobo frontal, como exemplo, e funções, como, a exemplo, motora, não o queria fazer de forma enciclopédica, descrevendo “cirurgicamente” e caracterizando todos os macro- e micro-detalhes que estão, ou possam estar, associados a cada um deles³¹⁵. Nem o poderia fazer, por vários motivos: primeiramente, porque, apesar do projeto estar relacionado com o cérebro, a sua essência não é especificamente sobre este mesmo, enquanto *sistema* multidimensional

³¹⁵ Aliás, estes têm vindo a ser sistematicamente caracterizados pela ciência, ciência que tem construído repositórios gigantes sobre esse assunto e promovido a sua disponibilização facilitada tanto às comunidades académicas, como à sociedade em geral.

complexo. É relembro, antes, e mais do que estrutural, sobre o fenómeno elétrico que nele ocorre, e em contextos do ato performativo artístico. É também sobre o que este fenómeno pode denotar no que concerne a fenómenos de âmbito funcional — fundamentalmente, o racional, isto é, o processamento lógico, deliberativo e executivo, e o emocional, isto é, o processamento das emoções implícitas e explícitas. E, primordialmente, é sobre abordagens de representação destes fenómenos, com grande foco nas de carácter criativo, inovador e artístico.

Curiosamente, apesar do foco ser dedicado às representações relacionadas com a essência funcional a minha pesquisa levou-me, simultaneamente e consequentemente, a outras questões, como, a exemplo, as relacionadas com as representações estruturais, sobretudo as de carácter científico e as suas necessidades de objetividade e retórica epistemológica, que acabaram por se tornar elementos de co-reflexão temática e projetual.

Sabia, desde logo, que os estudos sugeriam que muitas das funções estavam relacionadas com locais específicos e só poderiam ser “descodificadas” se soubesse onde elas ocorriam. Também sabia que o trânsito de dados entre sítios e o seu processamento específico poderiam determinar o entendimento da lógica funcional do sistema. O estudo de determinadas especificidades foi assim incontornável, caso contrário, as propostas, os métodos e procedimentos experimentais incorriam, à partida, em debilidade de racional e pragmatismo científicos — mesmo que, como vimos na abertura deste manuscrito, os propósitos últimos deste nosso projeto fossem (e sejam, sem dúvida) artísticos, livres para enveredar por “devaneios” especulativos sobre todos estes assuntos, por isso.

Mas, sem dúvida, uma revisão sistemática e recorrente das aproximações e procedimentos científicos, nomeadamente na questão estrutural e de organização foi-me essencial.

Assim, apesar de não fazer sentido falar do cérebro numa aproximação enciclopédica, e me saber com algumas limitações no que respeita ao seu conhecimento com densidade científica específica, entendo que só era possível compreender o projeto quando devidamente expostas informações e explicações sobre este, tanto do domínio estrutural como funcional. É importante, neste contexto, referir que no decorrer do estudo houve factos sobre este, como as características dos

denominados “homúnculos”³¹⁶ dos córtices sensorial e motor, me levaram a alterações de carácter metodológico e respetivas aproximações de conceção e implementação projetual.

A característica da diversidade também somou uma camada crucial à reflexão filosófica e artística sobre o tema a que me propus trabalhar, tendo mesmo tido algumas repercussões de fundo.

Finalmente, da história extraordinária que nos deu o conhecimento que temos hoje sobre o cérebro, algumas experiências, independentemente de terem ajudado a construir esse admirável repositório de conhecimento, também somaram uma camada incontornável à reflexão, sobretudo aquelas *in vivo*, invasivas. Isto é, aquelas que usaram sujeitos vivos, humanos ou animais outros, invadindo-lhes literalmente o cérebro, muitas das vezes de forma violenta, lesadora e irreversível.

14.1.2 Entre falácias e generalizações problemáticas

Há várias questões que quero relembrar, pois estas foram cruciais para um entendimento mais alargado sobre o cérebro, as suas estruturas, funções, processos e comportamento e, talvez o mais fundamental, nos trouxe perspectiva sobre possíveis e potenciais limitações tanto dos métodos, como das tecnologias, como do próprio conhecimento mesmo aquele derivado da observação e análise consensualmente objetiva.

Vimos que Paul Nunez, sugeriu em Falácias do EEG que para além de haver problemas de implementação matemática no método EEG, as características fisiológicas do córtex colocam, logo à partida, problemas de captação homogénea, pois a captação deste é mais fácil nas zonas das voltadas para o “exterior” (coroas das convoluções) do que nas zonas profundas e não voltadas para o “exterior” (sulcos).

Também referenciámos o “problema inverso”, questão que reside no facto de que não é fácil delimitar os locais específicos das fontes da eletricidade; o facto de a captação dos sensores-eléctrodos ser permanentemente contaminada por ou-

³¹⁶ Mapeamento e correspondência tópica dos constituintes corporais nestes córtices.

tros fatores; que os sítios de interesse poderem ser difíceis ou impossíveis de isolar; que o EEG é uma aproximação tanto na questão de amplitude e variação elétrica como também em relação aos sítios onde esta ocorre.

Vimos também que não há dois cérebros iguais, nem mesmo de gémeos mono-zigóticos. Esta potencial diversidade é também colocada em perspetiva enquanto mito dos cérebros normais, ou outros ditos de geniais, onde referenciámos cérebros de músicos, cientistas, escritores, filósofos, ou de pessoas com o cérebro dividido, com doenças ou lesões, doenças. Isto pode significar que há uma diversidade cerebral humana tão vasta, e mesmo desconhecida, que pode colocar questões de consensos sobre padrões e fenótipos ou mesmo ter implicações na procura de construção de atlas baseados em denominadores comuns. Mas também devemos ter presente que os cérebros acabam por encontrar maneiras de contornarem problemas que não fazem parte do seu reportório e da sua lógica funcional e de se adaptarem a novas realidades de forma inusitada e competente.

Referenciámos ainda possíveis problemáticas relacionadas com a própria tecnologia das interfaces EEG/BCI, entre perceção e interpretação sobre esta, e desenho e ergonomia, podendo isso trazer problemas de autocondicionamento derivado de um entendimento subjetivo sobre a tecnologia e as suas capacidades reais; de conforto e facilidade de uso por motivos de construção e materiais das armações ou dos sensores; ou ainda de um número de sensores inadequados para determinadas necessidades.

Tudo isto pode significar estamos sempre a ser surpreendidos por novidades que não fazem parte dos pressupostos, mesmo aqueles que são suficientemente abertos a novidades inesperadas e que um possível problema é não se poder, eventualmente, acautelar uma coisa que não faz parte dessa abertura. Também a emanção de problemas relativos a pressupostos, conceções e aproximações erradas, influenciar comportamentos não detetáveis conscientemente de sujeitos e investigadores — não acauteláveis por isso —, potenciar viés e subjetividade, possibilitar captações, análises, classificações e usos defeituosos de dados EEG.

Rematando esta parte da discussão: isto também foi promotor de outras questões, a vários níveis, científicos, artísticos e éticos, incluindo no que concerne as abordagens e metodologias relacionadas com a eletrofisiologia do cérebro e do que podemos inferir dela e sobre potenciais catalogações subjetivas e carregadas de estigma, muitas vezes geradas pela própria comunidade de investigadores.

14.2 No que concerne as representações

14.2.1 Representações em estado crítico

Toda a representação é mediação arbitrária. A mediação é sempre arbitrária pois o método e a técnica que a possibilita e veicula também são artefactos abstratos na origem e arbitrários pela conceção, escolha e posição. As representações científicas são ferramentas para o conhecimento, mas também dispositivos retóricos.

A explicação de uma realidade — realidade física ou realidade imaginada — pode ter várias materialidades. Por isso, estas podem permitir que grupos diferentes possam aceder àquela realidade, contrariamente — potencialmente — àquela outra materialidade balizada numa só literacia específica que se torna mais impermeável assim. Claro que também se usa a abstração para explicar as coisas, mas a abstração é um problema em si mesmo porque é uma mediação não isenta.

Uma explicação da realidade, seja física, seja teorizada, pela via da descrição alfanumérica, da equação matemática, poder ser somente passível de interpretação pelos pares, isto é, não ser descodificável por outras classes – pelos comuns. Reduz-se e permanece, assim, confinada a um grupo que tem uma literacia específica.

Vimos que as imagens literais, sejam fotografias sejam ilustrações, podem ter a capacidade de descodificar e explicar um fenómeno, sem necessidade de recorrer a legendas, mas noutras é fundamental uma legenda aposta, para acautelar possíveis ambiguidades.

A explicação por linguagem, exclusivamente, por mais objetiva que se preconize, também é permeável a interpretações outras que não aquelas que tenta codificar-comunicar na sua narrativa. Mesmo unidades linguísticas como verbos, adjetivos e substantivos podem alterar ou mesmo impedir a descodificação do discurso, seja por uso inadequado dessas unidades nos articulados, seja por uso opcional e arbitrário dos redatores. Mas, muito importante, também porque muitas dessas unidades encerram, na sua unicidade, um potencial de interpretação aberto. Por exemplo, termos como *Elektrenkephalogramm*, *Electrocerebrogram* e *Neurograph*, não se reduzem a si mesmos. Permitem-nos imaginar, para além do seu propósito.

Aliás, a representação unicamente verbal pode ter um impacto dramático nas interpretações da realidade. Por exemplo, quando lemos que investigadores observaram e estudaram a arquitetura do cérebro pela dissecação deste, podemos imaginar os tecidos, as câmaras, as circunvoluções (etc.). Contudo, quando lemos que (também) o estudaram pela vivissecção, nomeadamente de seres humanos, isso potencia uma leitura com outra carga, e mesmo com hierarquias diferentes. Podemos imaginar também a arquitetura, ou outros constituintes, mas podemos imaginar também o sofrimento a quem foi desmantelado o cérebro — mesmo que isso não propiciasse sofrimento físico, imaginamos o destino dos sujeitos a essa experiência. E também tentamos encontrar respostas, pela imaginação especulativa, claro, sobre os pretextos, lógica e a racionalidade dos cientistas que usaram estes métodos — é relevante dizer, pelo menos no contexto desta secção, que, de acordo com alguns dos dados históricos, algumas vivissecções eram realizadas perante audiências.

Mesmo as representações diagramáticas, por mais reduzidas que sejam, por mais excisadas do acessório não pertencente ao seu propósito e lógica, não as privam de interpretações outras além da sua missão. Têm sempre um potencial literal, mas também simbólico. Permitem-se a possibilidades narrativas que não podem ser acauteladas a priori. As representações estão sempre impregnadas de citações escondidas.

Podemos dizer que as representações têm —ou há representações que têm— um potencial mimético, meta-mimético, extra-mimético, isomorfo, analógico, metafórico, alegórico, referencial, etc., e é o seu uso adequado, seja em que contexto for, mas observando os preceitos do contexto em questão, que lhes delega a capacidade de serem representantes de uma realidade. Parece-me também que, independentemente de um potencial desvio de preceitos, as representações devem ser epistémicas — relembrando a base conceptual de Bolinska: devem ser ferramentas para obter informações sobre aspetos dos fenómenos de interesse.

É também importante relembrar que muitas vezes os métodos, técnicas e sistemas de representação que não parecem ser o ideais para “descodificar” um fenómeno, são, surpreendentemente aqueles que levam à descoberta efetiva, ou a descobertas que não estavam colocadas como hipótese na conceptualização teórica e configuração das experiências. É por vezes o acaso, alguma dose de acaso, ou, já agora, a provocação do acaso, que leva a descobertas de relevo.

14.2.2 Representações em tempo real

As entidades-objetos gerados em tempo real nunca poderão ser representadas. Só poderão ser apresentados. Não se pode representar o que não se conhece ainda! O que podemos é colocar hipóteses. E as hipóteses são sempre especulativas, mesmo aquelas que se socorrem de estatísticas que denotam uma estabilidade de um sistema. Contudo o cérebro-sistema é dinâmico, plástico e imprevisível.

Isto que dizer que a hipótese pode ser qualquer uma, desde que seja pertinente no seu racional de implementação, verdadeira na intenção e ética na posição. E é legítima usando qualquer estratégia, método e técnica que permita a especulação. Só se pode imaginar o que está para acontecer! E a imaginação é especulativa.

O objeto-representação tanto pode ser materializado por transferência da observação, como por transferência da imaginação. Mas mesmo aquela que o faz pela transferência da observação implica uma transcodificação, uma mediação personalizada, e a mediação é sempre arbitrária pois o método e a técnica que a possibilita e veicula também são procedimentos e artefactos abstratos na origem e arbitrários pela conceção, escolha e posição.

Assim, antes de avançarmos mais, surge então a necessidade de dizer: não é possível denotar empiricamente e objetivamente a ubiquidade e a dinâmica dos processos do cérebro. Só é possível especular. Assim como a física teórica, na sua objetividade, enquanto posição alinha na verdade epistemológica, especula sobre a ubiquidade cósmica. Já vimos muitas coisas, já configurámos muitas experiências para confirmar essas observações, já fizemos muitas iniciativas na tentativa de falsificar e refutar as conclusões e teorias, mas o problema é de tal maneira vasto, dinâmico, plástico, mutante, adaptativo e desconhecido, que só pela abstração conceptual será possível propor explicações — mas nunca explicar realmente!

14.2.3 Sobre as nossas propostas de representação

Num acontecimento do tipo acontecido nas experiências do carro brinquedo, descrito anteriormente, em que este virava à esquerda ou à direita após o ator declarar verbalmente (e previamente) essa possibilidade, isso denota uma relação causa e efeito que se revela como explícita e, neste caso específico, onde o resultado esperado era justamente o carro brinquedo mover-se de acordo com a

deliberação arbitrária consciente cerebral (isto é, volição) do ator, as suas movimentações específicas demonstram, ou pelo menos sugerem, que é possível usar as interfaces EEG/BCI como instrumentos da volição. Assim, independentemente disto não se eximir de hipóteses de questionamento sobre a sua verdade (disso não serem postas de parte completamente eximidas), a leitura das testemunhas sobre a real possibilidade é mais imediata e não coloca reivindicações de legenda. Neste caso, o método a forma de representação e a sua possível eficácia de interpretação não é questionável pois não permite alternativas de leitura.

No caso de *Eshofuni@TheAbys*, sobretudo nas versões II e V, o comportamento dos representantes dos existentes na exposição narrativa pode permitir inferir, com alguma precisão, que há processos cerebrais diferenciados, mesmo que não seja possível aferir que uns estão relacionados com experiência emocional e outros com volição.

Mas *Eshofuni*, versão I, sendo um sistema essencialmente reativo e baseado exclusivamente em dados em bruto, parece transmitir variações aleatórias, que podiam ter fonte em qualquer coisa. Mas usa, em tempo real, a variação da amplitude elétrica cerebral, em tempo real, como método para representar estados e atividades cerebrais. Cada esfera está associada a um eletrodo, cada eletrodo está associado a um sítio, cada sítio pode estar num estado, a experimentar e/ou a atuar. Os estímulos provocam experiência. A experiência e a atuação provocam variações da amplitude elétrica. Quanto maior a amplitude elétrica de uma ocorrência num sítio, mais longe a esfera correspondente a esse sítio vai. Ou seja, a capacidade de representar experiências emocionais e processos volitivos está lá, mas não é explícita pelo menos para um observador não treinado.

As representações sonoras em *I Will Play the Electric Brain* podem ser percebidas como sendo geradas aleatoriamente pelo menos em parte da exposição. Mas pensamos que as entradas dos solos denotam uma intenção. Em relação à experiência emocional, esta não transparecia estar presente, pelo menos de forma literal. Cremos que isto se deve ao facto de não haver nenhum objeto sonoro ou correlação entre objetos sonoros e a sua articulação na exposição das sequências que a possamos atribuir um valor emocional, seja objetivo, seja subjetivo. Mas no que concerne a volição, não nos merece dúvidas de maior que as testemunhas possam correlacionar determinados constituintes e sequências da exposição musical com controlo consciente, específico, deliberado.

14.2.4 Sobre as métricas usadas

Para denotar comportamentos cerebrais usamos cálculos de assimetria Alfa frontal e cálculos informados pelos módulos Affectiv Suite e Cognitiv Suite do Emotiv Control Panel, sobre estes cabe-nos dizer. Como frisamos no capítulo 10.1.2 *willRacer*, por motivos de proteção de propriedade industrial e intelectual, a Emotiv não divulga, pelo menos de forma cabal, quais as ondas cerebrais associadas a cada métrica. Mas pelas publicações que colocam à disposição tanto na documentação técnica, como de divulgação geral e respostas a questões colocadas por utilizadores no fórum dedicado aos investigadores podemos deduzir quais são essas bandas, senão em absoluto, pelo menos com alguma confiança.

Em relação à métrica Excitement, do módulo Affectiv Suite, que usamos como possibilidade de denotar experiencição emocional, a Emotiv diz³¹⁷:

Excitação Instantânea é experimentada como uma consciência ou sensação de excitação fisiológica com valia positiva. A excitação é caracterizada pela ativação do sistema nervoso simpático, que resulta numa série de respostas fisiológicas, incluindo dilatação da pupila, aumento dos olhos, estimulação da glândula sudorípara, aumento da frequência cardíaca e da tensão muscular, desvio de sangue e inibição digestiva.

Emoções relacionadas: excitação, nervosismo, agitação.

Em relação a Beta diz o seguinte:

Beta (12 - 25 Hz): A atividade Beta de frequências múltiplas e variadas é frequentemente associada a pensamento ativo orientado a tarefas, ocupado ou ansioso e concentração ativa.

Ora, estados de ansiedade, agitados, são indicadores de processos emocionais de acordo com uma vasta literatura de referência tanto derivada de observação empírica como de teorização. Portanto, pensamos que as ondas usadas são fundamentalmente Beta. Algumas sugerem possíveis relações entre emoções de valia

³¹⁷ Textos derivados e adaptados de *Understanding The Performance Metrics Detection Suite* (<https://emotiv.zendesk.com/hc/en-us/articles/201444095-Understanding-the-Performance-Metrics-Detection-Suite>) e do manual *Emotiv SDK User Manual* colocado à disposição na instalação do software da Emotiv.

positiva e Beta, numa relação entre frontal e parietal³¹⁸, e também nas áreas frontais quando computado numa relação de proporção Alfa/Beta³¹⁹.

O que inferimos é que a métrica Excitement não será usada na relação Beta frontal/foco. Isto porque quando nos concentramos com o propósito de replicar um padrão previamente treinado no Cognitiv Suite não é evidente que a variação do Excitement denote um paralelo relativo àquela lógica — na questão de poder de banda igual a “sucesso” de Excitement. Aliás, é bastante imprevisível o seu comportamento. Quando estamos a tentar replicar um padrão Cognitiv, no decorrer do tempo da tentativa, tanto podem ocorrer várias detecções Excitement como nenhuma. Isso leva-nos a propor que o Excitement está relacionado com a experiência emocional e, se Beta está envolvido nas fórmulas de cálculo do sistema Emotiv, será na lógica emocional.

³¹⁸ (Rau 2014).

³¹⁹ (Bos 2007).

15 CONCLUSÕES

15.1 Entre o impossível e as possibilidades

O querer de uma qualquer história consistente do Cérebro e Nervos, e a maneira desinteressante e sem sentido que está em uso na demonstração do cérebro, deve autorizar qualquer novidade na maneira de tratar o assunto.

(Bell 1811, 3)

Será, então, possível usar de forma consequente o fenómeno elétrico do cérebro, seja para denotar emoções, seja para controlar mecanismos ou eventos a si externos, por via de interfaces artificiais? Sim, mas com limitações que devem ser compreendidas e incorporadas no desenho de projetos e aplicações. Para isso acontecer tem de se repensar algumas teorias, mudar a abordagem, mudar alguns métodos e técnicas. Por exemplo, é crucial que seja centrado em cada sujeito, nas suas particularidades, nas suas especificidades, tendo em conta que cada cérebro é único, seja estruturalmente seja funcionalmente, mesmo que o possamos encaixar num atlas generalista e grosso-modo e seja comparável com os pares nesse paradigma. É como o ADN. Há base de princípio, mas não há dois iguais. E assim como na medicina as novas abordagens alinham pela personalização, pelo tratamento feito-à-medida, temos de rever e adaptar os procedimentos sobretudo no que concerne às interfaces EEG/BCI atuadoras.

Por exemplo, na questão da diversidade anatómica, e nos casos, estudos e/ou projetos em que o *locus* anatómico real é um espectro crítico ou, em particular, se há necessidade de relacionar objetivamente sítios cerebrais com funções cerebrais, a verificação por outros métodos e técnicas de imagiologia cerebral, como a Tomografia Computorizada ou a Imagem por Ressonância Magnética devem

ser incorporadas (Herwig, Satrapi, e Schönfeldt-Lecuona 2003). Claro que no meu caso, enquanto artista investigador que queria estudar, materializar e atuar nos vários e próprios palcos da manifestação artística isso estava fora de questão pois esses sistemas não são passíveis de ser levados para e usados nesses contextos ecológicos. Também, não sendo possível uma abordagem com aqueles meios a tentativa-erro sistemática com outros meios também é uma opção.

Na questão do fenómeno elétrico e o que podemos fazer com ele, devo observar duas grandes vertentes do potencial problema. Aquele que pode ser usado para denotar fenómenos estéticos, básicos ou elaborados, ou seja, sensações básicas como a visão, ou emoções, mesmo aquelas que já passaram para o escrutínio, avaliação e atribuição simbólica subjetiva dos córtices de associação e aquele que está subjacente ao controlo executivo deliberado consciente.

Como vimos no capítulo dedicado à organização do cérebro, há uma correspondência tópica entre zonas corticais sensoriais e sensores conectados por vias aferentes e zonas corticais motoras e membros por vias eferentes por onde transitam influxos e efluxos, entre sensores e as respetivas zonas do Córtex Sensorial no caso do sistema sensorial, e entre zonas do Córtex Motor e os músculos que controlam os membros-extensões corporais por inervação, no caso do controlo motor. Uma deteção de causa-efeito/entrada-saída de nível primário, pela via da captação da variação de amplitude no Córtex Sensorial na zona tópica relativa aos sensores corporais em estimulação mostra-se relativamente simples de implementar. A deteção de emoções de segundo-nível, aquelas que emanam já de um processamento de associação sensorial, e as que passam para o escrutínio, apreciação e associação frontal de alto-nível, serão mais complicadas. Contudo os métodos que têm vindo a ser implementados têm denotado alguma eficácia e objetividade. Mesmo assim, veremos mais à frente potenciais problemas.

O problema estará nas funções e processos deliberativos e executivos, conscientes, portanto, que requerem um recrutamento e manipulação de vários programas e redes e sítios, entre próximos, mas também distantes, em simultâneo, a tal velocidade que, o possivelmente serem em série e/ou paralelo não fará diferença. Fará sim diferença a ubiquidade dinâmica, a metamorfose plástica e a imprevisibilidade da relação com os contingentes ambientais.

No que diz respeito às emoções, no primeiro nível, estudos sobre as ondas Alfa relativos aos processos visuais, têm denotado sistematicamente génese elétrica

correlacionável, e evidente, no Córtex Occipital, mesmo que, por vezes, problemática na atribuição de significado cognitivo. O mesmo se poderá dizer da possível detecção de emoções. Como vimos também, há estudos que têm sido sistematicamente sustentados por replicações, incluindo por métodos e técnicas diferentes e/ou complementares (Zotév et al. 2016), que usam a Assimetria Alfa Frontal para denotar a valia e intensidade emocional relativa a estímulos, apesar de alguns sugerirem dificuldade numa apreensão objetiva dessas dimensões (Winkler et al. 2010). Ora, usando técnicas de segregação de frequência-de-interesse, baseados em, a exemplo, filtros passa-banda, é possível detetar aqueles fenómenos com alguma confiança, mesmo que nem sempre a causa da assimetria, denotando uma resposta a um estímulo, esteja diretamente relacionada com o estímulo que estava previsto na hipótese. Uma outra abordagem ao fenómeno emocional é por via do conceito-componente “excitação”, que tem tido abordagens relativamente consistentes no que concerne à sua detecção.

Um dos problemas maiores, relembro, residiu na detecção efetiva dos processos deliberativos, isto é, ativação de pré-ações ou ações-reais racionalizadas pela lógica do pensamento abstrato espontâneo — por exemplo, pensar “virar à esquerda”. E é por isso que, a nosso conhecimento, muitas iniciativas têm ficado pelo caminho, mesmo que tenham realizado experiências que sugeriam resultados positivos. A maioria, contudo, fica-se por experiências iniciais, mas inconsequentes realmente.

O que sugiro então para contornar este potencial problema? O método de Imaginação Motora tem algum interesse neste tema. Mesmo as nossas experiências laboratoriais mostraram-se relativamente robustas na sua detecção. O problema é a sua debilidade em usos contextuais de grande dinâmica onde o ruído de várias origens, nomeadamente da fricção mecânica na interface eletrodo-escalpe, se mostra disruptivo e à beira da impossibilidade de contornar — pelo menos com os métodos convencionais. Os métodos que usam os Potenciais Relacionados com Eventos e o treino dos sistemas baseados nesses paradigmas também são interessantes nomeadamente pela hipótese de utilização do Potencial Prontidão. Contudo, os problemas de ruído e debilidade do sinal — lembro que este potencial é gerado na Área Motora Suplementar, isto é, uma zona medial interna e não perpendicular ao epicrânio — e isso coloca problemas de robustez. Também o facto de se ter percebido que este potencial, e o que ele denota — a possibilidade efetiva de execução motora — é precedido em cerca de 10 segundos por

uma série de processos e potenciais que fazem parte da preparação do comportamento cuja eletrogênese complica uma segmentação objetiva e efetiva.

Estou convencido que só poderemos trabalhar com o cérebro de forma eficaz quando usarmos uma aproximação holística, que deverá integrar várias componentes e compreendê-lo simultaneamente, tanto qua entidade única, como enquanto parte de uma ecologia de contexto, no qual ele é simultaneamente agente e ator, emissor e recetor, e que deixa de existir assim que a sua relação contextual também deixa de existir.

Só é possível a caracterização total do estado de uma entidade se for possível o diagnóstico completo dessa entidade no momento em que é necessário caracterizar o respetivo estado. Se o propósito é entender a entidade na sua plenitude, só a podemos entender no contexto da sua relação e ação, na ecologia a que pertence. Se retirarmos a entidade do seu contexto estamos a alterar a sua exterocepção³²⁰, mas também a sua propriocepção. Os contextos têm sempre impacto nas entidades que lá residem. Os laboratórios descontextualizadores, são assépticos e limpos de ruídos por motivos de controlo de variáveis contingentes espontâneas. Mas podem ser como câmaras anecoicas. Imaginemos que levamos o indivíduo para uma câmara anecoica:

Sem os sinais sonoros usuais de contexto as pessoas que se encontram dentro duma câmara desta natureza normalmente acham a experiência desorientadora, perdendo por vezes o equilíbrio. No contexto interior destes sistemas podemos detetar sons que normalmente não percebemos, como o bater do próprio coração.
(Reiss e McPherson 2014, 258)

Ou o ranger das articulações internas, ou mesmo o comportamento das vísceras próprias, de uma forma exacerbada. E muitas vezes não conseguimos verbalizar essa experiência porque não faz parte dos nossos mapas da cognição e consciência. Ficamos simplesmente alterados! Ou seja, o nosso comportamento é permanentemente alterado pela ecologia dos contextos onde operamos.

Um dos paradigmas mais comumente e historicamente divulgados é o paradigma do cérebro modal, onde sítios específicos são propostos como especialistas em certas tarefas e, em geral, aceitando aspetos como a localização, e também

³²⁰ Perceção dos estímulos fora do corpo.

lateralização, das funções cerebrais (Kaufman 2013). No entanto, e em favor de uma abordagem mais distribuída e dinâmica, alguma investigação recente apoia a visão de que a cognição resulta das interações dinâmicas das áreas célebres distribuídas operando em redes de grande escala (Bressler e Menon 2010). O cérebro, sendo um sistema super-dinâmico, tem de ser aproximado por via desse entendimento. Uma coisa é detetar problemas e alterações estruturais e/ou funcionais localizados, onde um método reducionista de observação causa-efeito tem competência para descodificar um processo por via do estímulo específico focado. Outra coisa é perceber os processos volitivos e consequente controlo comportamental na sua dimensão total onde eles são necessários de ser aplicados. Uma simples deliberação é antecipada conjunto de processos que gerem o endo-comportamento cerebral a partir da inferência de estímulos, comparação de hipóteses, gestão de contingentes emocionais, articulação e aplicação de mapas previamente impregnados, decisão e deliberação executiva efetiva da ação.

Uma outra questão absolutamente crucial: temos de ter consciência, e levar em conta, que os algoritmos e a inteligência artificial são apenas uma parte da equação. A outra, imprescindível e incontornável, é o próprio sujeito. Por mais inteligente que um sistema artificial, seja não supervisionado, semi-supervisionado ou supervisionado, seja baseado em redes neuronais, iterações auto-evolutivas, sejam iterações de Markov, ou outras soluções, se o sujeito não instruir o seu cérebro para este instruir o sistema, o sucesso será reduzido ou inexistente. Isto é, o sujeito tem de entender minimamente os procedimentos a seguir e atuar o comportamento posterior adequadamente para que a mineração dos dados possa extrair características, inferir padrões correlacionando tendências históricas dos dados sistematicamente recolhidos.

Isto implica que também temos de alterar o "manual de instruções". E a começar pela instrução relativa ao treino do sistema que estabelece o que se denomina de "neutro", que, como o nome sugere, é o que define o padrão zero, o ponto-departida a partir do qual variações significativas podem ser reconhecíveis pela inteligência artificial.

Parece um não-problema, uma coisa trivial. Mas de facto não é. Começa pela definição de neutro, e o que os participantes entendem por neutro. Neutro não é tentar não pensar em nada. Não existe o modo não pensar em nada e uma tentativa baseada nesse conceito — tentar não pensar em nada — só complica as coisas, pois isso, implica pensamento focado, mesmo que seja num sentido que

se imagine como o inverso. Neutro é, a meu ver, neste domínio, justamente pensar em tudo, sem foco, sem barreiras, sem inibição. E porquê? Porque esta abordagem gera uma grande entropia, uma distribuição estocástica plena em toda a topografia e isso retira a hipótese de o sistema inferir um foco. A deliberação consciente e racional implica foco, mesmo que em mais do que um sítio. A emoção implica "foco", "automático" mesmo que em mais de um sítio. E isso ajuda a máquina a criar uma estatística mais eficaz e a classificar melhor, consequentemente, os estados e comportamentos cerebrais.

Mas mesmo que consigamos que as pessoas repliquem, com alguma precisão, algumas formulações e deliberações mentais, há ainda o problema de instrução da máquina.

Mas ainda antes de ensinar a máquina temos de ensinar o nosso cérebro a ensinar a máquina — porque a nossa complexidade só é reduzível em itens isolados para ações isoladas. Ora, antes de mais, isso coloca logo duas questões de base, auto-correlacionadas. É a questão do auto-entendimento e o entendimento que temos dos outros, entre pares. Os seres humanos, enquanto *sistemas* curiosos, têm-se estudado sistematicamente, a si mesmos e entre si, para além de coabitarem e interagirem realmente, ao longo da sua história milenária neste planeta-contexto. Mas o que temos verificado é que, mesmo com essa vivência concomitante, estamos longe de nos compreendermos — a nós mesmos e aos outros. Por mais racional, lógica e perfeita que seja a potencial máquina que estamos a construir, e sendo ela construída à nossa imagem e com a ambição de ela ser mais perfeita do que nós, o problema é que ao ainda não nos termos percebido na nossa real dimensão, estamos a produzir um *sistema* sob um entendimento eventualmente, mas potencialmente, defeituoso de como ele deve ser realmente implementado.

Outra questão é entendermos o que envolve a instrução plena do cérebro por forma que ao recrutarmos os seus procedimentos ele aja conforme. A instrução do cérebro para executar com competência e eficácia uma tarefa-ação desenhada, específica não reflexa nem espontânea, é um processo que pode demorar muito tempo a efetivar — anos, dependendo da complexidade da tarefa. E este poderá, de facto, executar com a necessária competência e eficácia a tarefa requerida. É um processo maturado e depurado longitudinalmente que faz com que a articulação das componentes corporais seja possível.

Mas é um processo verdadeiramente simbiótico, no qual o nosso *sistema* hospedeiro, isto é, o nosso corpo, entranha (não estranha) o nosso cérebro e o nosso cérebro entranha (não estranha) o nosso corpo — não é sempre assim, mas os casos em que o não são estão fora dos limites desta reflexão. Todas as componentes agem concertadamente porque o treino foi um acumular iterado, longitudinal e verdadeiramente interativo de entrada, processamento, mapeamento, correlação, exposição, teste, articulação coerente, verificação, confirmação de sinais-dados-informação entre os sistemas. Eles tornaram-se numa multiunidade funcional e só nessa condição, maximizada, pode operar com eficácia.

Ora, um *sistema* estranho, acabado de chegar à relação, não tem forçosamente a mesma relação e não terá, forçosamente também, o mesmo conhecimento do outro, do que aquele possibilitado por processos longos de interação-relação-treino. E isto pressupõe um problema bilateral. A possibilidade de o cérebro estranhar a máquina e a máquina não entranhar o cérebro. Mas talvez não seja difícil relacionarmos-nos com a máquina de forma verdadeiramente efetiva. Somos progenitores da máquina e já temos a máquina como concubina/o há muito tempo. É possível que também tenhamos, eventualmente, algum código genético herdado da máquina (seja lá o que ela for). Só falta, por isso, entender e descodificar melhor essa potencial herança e aplicá-la na próxima prole.

Independentemente dos potenciais problemas globais descritos, mas já ponderadas teorias e estratégias para os contornar, ainda tínhamos um problema fundamental. A competência operacional da interface que elegemos por motivos de portabilidade e características técnicas, como vimos anteriormente. Por isso, tínhamos de a validar. E foi nessa altura que a produção projetual prática mais intensa se iniciou.

15.2 Entidades, enação e realidade

Quando a ciência propõe que o cérebro tem a habilidade de criar o *self* a partir do sentir da própria fisiologia, talvez devamos olhar isto como uma espécie de computação de baixo-nível, que lida com as partes e detalhes do hardware, e a consciência como uma espécie de computação de alto-nível que lida com abstração e conceitos puros.

Aceito que o cérebro possa ter uma *endorealidade* consciente, uma que possa somente comunicar com a *exorealidade* (o meio-ambiente) através de uma interface abstrata não-óptica, desassociada de qualquer instância física, mas que, todavia, está consubstanciada no nosso hardware (isto é, o elemento constitutivo físico humano). Esta *encarnação* criou um organismo complexo com múltiplos sensores e subsistemas, que são interdependentes e fundamentais para os procedimentos que tem de operar por forma a viver. Uma espécie de simultaneidade *enativa* onde a entidade é dependente do sistema e é condicionado por ele, mas, ao mesmo tempo, tem uma perspectiva e entendimento personalizados deste, dos seus ícones e símbolos, e atua nele de acordo com esse entendimento.

Isto quer dizer que as complexidades de tanto o meio-ambiente como das entidades são bidirecionais e impactam-se entre si. Estamos também habilitados com a noção de que somos agentes que podem atuar em coerência com as opções disponíveis e potenciais, derivadas da dinâmica da relação entidade/ meio-ambiente, mas que também podem recusar atuar em respeito a deliberações incoerentes.

Um outro aspeto importante do cérebro é que, como falei, há cérebros — milhões destes — não *um* só. Isto quer dizer que há milhões de *endorealidades*, e conseqüentemente milhões de perspectivas sobre o meio-ambiente onde cada um opera, isto é., também há múltiplas *exorealidades*. Todos estes aspetos levantam grandes problemas no que concerne a derradeira objetividade de qualquer receita representacional.

Os fenómenos do cérebro são extraordinariamente complexos e podem ser abordados, estudados e representados a partir de várias perspectivas, envolvendo múltiplas metodologias e estratégias, mas esta complexidade levanta problemas incontornáveis de descodificação. Mesmo em contextos de abordagem empírica quantitativa, embora a ciência tenha divulgado determinados padrões, consensuais, que denotam processos específicos do cérebro, os resultados estão longe de serem seguros.

Não menos importante, já que o ato performativo artístico ao vivo é um evento participativo, multi-contributivo dependente do meio-ambiente, onde as partes partilham e constroem um *jogo* de eventos interligados — como proposto, um processo dinâmico de experiência estética, raciocínio e emoções — só podemos inferir e aceder a determinados fenómenos dentro nos contextos onde estes

acontecem, mesmo correndo o risco de que as complexidades herdadas destes contextos-processo — superestímulos — possam comprometer o entendimento dos dados.

A reflexão foi sobre, então, uma espécie de triângulo de lógica circular simultaneamente bidirecional, um espaço-evento ecológico, um contexto-estímulo, onde todos os elementos que o habitam, sejam eles autóctones sejam ou alóctones, invariáveis ou contingentes, são incontornavelmente interdependentes, fazem parte dele e nele têm impacto, e só nessa lógica podem ser diagnosticados. Se isolarmos uma entidade do seu contexto, poderemos determinar, com precisão até, um problema estrutural ou funcional específico e localizado, mas corremos o risco de nunca conseguir determinar a verdadeira origem e causa do problema. E sem esse entendimento o receituário será sempre débil ou mesmo contrário ao seu racional de implementação.

Foi tão importante a ideia da ecologia de contexto, que por altura do primeiro manuscrito teórico-projetual, quando andávamos à procura de um título, chegámos ao termo *EshoFuni*, tendo denominado a versão final do artigo *From the unseen to the s[cr]een: Eshofuni an approach towards real-time representation of brain data*³²¹.

Como sugerido, há instrumentos especializados e procedimentos programáticos — hardware e software, interfaces cérebro-computador, algoritmos etc., —, que podem transcodificar os fenómenos do cérebro em dados discretos, discerníveis. Mas, de facto, a maioria das soluções está longe de ser capaz de descodificar as complexidades extraordinárias e imensas daqueles, sendo isto, aliás, uma das mais importantes limitações do projeto.

Nesse sentido, este projeto foi, para além de qualquer critério quantificável, inspirado e ancorado de forma relevante em conceitos ecológicos holísticos, onde as partículas (isto é, humanos, entidades, agentes) e o meio-ambiente interagem e desenvolvem de maneira inclusiva e integrada, onde o todo é mais importante do que a mera soma das partículas — como um superorganismo, mas um constituído por partes heterogéneas, isto é, entidades que têm personalidade e agência que pode impactar o decurso dos eventos de maneira (des)controlada e

³²¹ *Do invisível à visualização: EshoFuni, uma abordagem à representação em tempo-real de dados do cérebro.*

(in)esperada. Usei estrategicamente metáfora, porque só através desta somos (levemente) capazes de sugerir o comportamento, características, intrincados, complexidades e sinergias da simultaneidade da endo-exo *realidade* e das entidades que operam dentro dela.

A meu conhecimento, este foi o primeiro sistema estatístico em tempo-real, multimodal e que usou esse aspeto como estratégia e metodologia para processar múltiplas operações com o objetivo de, simultaneamente, aceder e denotar ou conotar múltiplos fenómenos do cérebro, nomeadamente volição e emoções, assim como ocorrências do meio-ambiente *independentes*. Isto é, aquelas outras derivadas do comportamento e interação dos constituintes do sistema, para além daquelas que denotam fenómenos específicos do cérebro, e as consequências de todos os processos. Ou seja, a evolução da totalidade do sistema dentro de um bloco-tempo. Portanto, este projeto tornou-se, em parte, num sistema cronológico documental em tempo real.

15.3 Sucessos e insucessos

A investigação foi bem-sucedida, apesar dos imponderáveis, dos problemas e dos erros — alguns espontâneos e impossíveis de resolver no contexto da sua manifestação. Um dos grandes imponderáveis foi — e continua a ser — a própria tecnologia, e a vários níveis. Desde debilidade mecânica das interfaces EEG/BCI, passando por alguma incapacidade e erros dos sistemas de transmissão sem fios, a erros de software de processamento de dados e/ou de gestão dos conteúdos a manifestar, à incapacidade de alguns computadores em rececionar e processar em tempo real grandes quantidades de dados em bruto provenientes dos sensores eletrofisiológicos que necessitávamos usar — lembro que estamos a falar de sistemas comuns não dispendiosos e não de sistemas de supercomputação laboratoriais empresariais ou institucionais.

Mas também a curiosidade por usar outras aplicações para a materialização dos projetos sem os testar num número alargado de condições, mesmo sabendo que não é possível acautelar todas as variáveis contingentes, se mostrou, por vezes, problemática. Sendo que isso também foi parte fundamental do processo pois também contribuiu para revisão de pressupostos, métodos e técnicas.

Imaginar estratégias e formas de denotar a experiencição da emoção e a razão, enquanto processo volitivo, foi uma tarefa muito complexa, mas interessante. E

alguns resultados foram suficientemente claros tanto na produção científica, como também na produção artística. A experiência com o brinquedo em *willRacer*, em particular, é um exemplo muito relevante que teve um impacto público observável e mesmo mensurável. Claro que aqui o facto do sistema responder como que literalmente a uma instrução declarada proporcionou uma leitura por terceiros mais explícita.

No projeto *FindingSomething BondingSound* a estratégia e racional recaiu sobre a lógica de interação dos performers, um que atuava o corpo e o outro EEG/BCI, da coreografia e do contexto performativo. Se um deles tinha como propósito criar disrupção no outro, este outro tinha como missão mitigar, ou contrariar, ou melhor, controlar, de forma consciente aquela disrupção, por forma a que a narrativa se alterasse também sob esse controlo consciente, o que aconteceu com algum carácter literal o que permitiu testemunhar uma lógica sequencial baseada em processos cerebrais.

Em *Quartas Paredes* usei também uma estratégia similar, isto é, a capacidade versus incapacidade de contrariar, ou conter, os processos emocionais iniciados pela exposição aos estímulos, e os resultados manifestaram-se na caracterização do vídeo do performer que atuava a voz e o corpo. Os resultados são mais abstratos, e colocam dificuldade em inferir uma correlação com experiência emocional versus volição, mas não deixa de transparecer com algum poder a hipótese de que há partes caracterizadas pela emoção e outras por determinação racional.

Em *EshoFuni@TheAbyss* o EEG foi processado, classificado e usado para denotar emoções, em simultâneo com a volição, com base no recrutamento consciente de processos mentais específicos que replicavam métricas relacionadas com esta lógica cerebral, através da re-caracterização e controlo das entidades que partilhavam o meio da ação enquanto representantes daqueles fenómenos. Não sendo redutível a uma objetividade infalível, tanto o comportamento, como a caracterização formal dos constituintes, sejam eles gráficos, sejam eles sonoros, e o próprio desenrolar narrativo, potenciam uma leitura na qual aqueles fenómenos são inferidos.

I Will Play the Electric Brain, sem a caracterização das partes introduzidas pelos solos pode ser apercebida como expressão sem capacidade de referência direta a

qualquer coisa fora dela mesma, sem capacidade para invocar narrativas extra-musicais. Mas com secções com carácter bastante diferenciado, tem capacidade de transmitir estados diferenciados a cada secção. Ou seja, no contexto do meu projeto e observando objetivos deste, potencia, nessa forma, correlação de partes com determinados estados e processos cerebrais em determinados momentos da sua manifestação.

Claro que, como vimos, as formas que se escolhem para representar qualquer experiência ou processo cerebral, podem incorrer numa impossibilidade de apreensão. Não só por serem arbitrárias, mesmo quando pensadas e implementadas como base numa lógica que procure a objetividade, mas também porque audiências informadas diferentemente rececionarão as representações diferentemente. Mas sugiro que quanto mais informada é a testemunha, mais capacidade terá de discernir elementos implícitos para além das evidências explícitas³²².

Parece-me, assim, que algumas formas de representação, para abrangerem todos os públicos, carecem de alguma legenda — textual em folha de sala, ou como parte da representação em exposição. Se a necessidade da representação estiver sobretudo relacionada com a capacidade e necessidade das testemunhas inferirem sobre aquelas dimensões cerebrais ao serviço da representação, então uma legenda que configure uma correlação mais literal das dimensões que estão por detrás da representação poderá ser útil.

Contudo, mesmo que saiba — e possa defender — que os racionais de implementação tenham tido lógica e critérios pertinentes, é-me claro também que tudo isto está permeável e disponível para argumentação. Nomeadamente na incapacidade de explicar, de forma cabal, alguns resultados ou mesmo formas de chegar a estes. Por exemplo, como instruir corretamente o cérebro do ator com argumentos mentais específicos necessários, como “virar à esquerda”, de forma monomodal ou multimodal, para inicializar e denotar aqueles fenómenos/processos. Nós conseguimos, e foi para mim uma prova factual de resultados e um sucesso replicado e replicável, mas a forma como o fizemos ainda não é completamente isenta de interrogações até em nós próprios.

³²² Na prática clínica EEG, o traçado em bruto, mesmo aquele que representa a totalidade das frequências e não uma banda específica, é a primeira fonte onde os técnicos de eletroencefalografia se baseiam para inferir características e ocorrências específicas

Nem sempre as coisas correram como queria no que concerne, por exemplo, controlar com os potenciais do cérebro com precisão os sistemas implementados. É relevante referir que todos os parâmetros podem ser controlados e alterados manualmente e é importante, enquanto artista, ter sempre um plano b, um botão de pânico que possa contornar situações em que as coisas não funcionem. Mas aquilo que persigo é que isto possa, de facto, funcionar somente com processos do cérebro, entre os derivados da experiência emocional e os de decisões deliberadas conscientes. Na minha prática e objetivos de investigação claro que tentar e estar permeável a falhas era absolutamente incontornável, pois é isso que nos ajuda a inferir resultados e a informar passos seguintes.

Mas, assim como qua artista que atua instrumentos de geração sonora ou visual em tempo real no palco, onde só a experiência própria de uma manifestação mal ou bem-sucedida pode esclarecer a frustração ou prazer próprio, só a experiência própria de um sistema destes pode esclarecer o prazer — ou a frustração — que se sente quando se consegue controlar alguns dos mecanismos implementados para a manifestação artística.

Mas assim como quantos mais anos o nosso cérebro e o nosso corpo se treinam num instrumento como o piano a execução de um trecho musical neste instrumento será mais competente³²³, mesmo que permeável a falhas, sugiro que a tecnologia EEG/BCI, enquanto instrumento com possibilidade de atuação, de expressão artística, só poderá ser atuada de forma competente se o nosso cérebro a entender e se treinar até a conseguir atuar de acordo com aquilo que quer.

Foi, muito mais do que um projeto, um processo, aliás justificando-se na essência metodológica do conceito investigação baseada em prática. Um processo que permitiu que colocasse em prática algumas das ideias propostas originalmente, mas também outras que, por ter sido um processo extramente fértil, entretanto emergiram da análise à aplicação prática e de outros olhares sobre esta.

Foi um caminho longo, complexo, difícil, onde detetei algumas vezes erros metodológicos que me fizeram corar e também falhas colossais muitas vezes promotoras de um desânimo avassalador, da desistência — aliás esta complexidade, incertezas, incredulidade, desânimo, etc., esteve presente noutras equipas e

³²³ Não somente competência técnica física, mas também compreensão trabalhada relativa aos vários elementos relativos, explícitos e implícitos, são necessários para executar aquilo a que nos propomos de acordo com os pressupostos daquilo.

autores que vimos desistir ao longo do percurso — , mas que proporcionou uma experiência extraordinária, gratificante e permitiu a produção de novos conhecimentos, nomeadamente no domínio das neurociências, mesmo que, como será óbvio, residuais em relação ao vasto corpo científico neste domínio. Gerou também, colateralmente, competências que não estava propriamente a prever, nomeadamente em subáreas das neurociências e neurotecnologia.

Também sou resiliente. Sei do estado “primitivo” das tecnologias e da complexidade incomum que é o cérebro, o seu comportamento e a ecologia do qual faz parte, e isso traz-me perspetiva. Aliás, a observação das funções e estados do cérebro baseada no fenómeno elétrico, apesar de ter muitas de dezenas de anos de estudos empíricos aturados — na vertente humana desde as experiências de Hans Berger nos anos de 1920 —, podemos dizer que é uma área ainda emergente, e acredito, sem dúvidas, que é possível ir mais longe.

15.4 O futuro em aberto

No que concerne aspetos tecnocientíficos, um dos estudos que gostaria de vir a fazer recaí justamente sobre as métricas Emotiv. Como vimos o nosso estudo detetou emoções pela via da assimetria Alfa nos sítios frontais, numa altura em que a literatura e as experiências sobre a interface EEG/BCI Emotiv eram escasas, tendo isso ajudado a validar a ferramenta. Mas há muitos aspetos em aberto, nomeadamente nos paradigmas propostos pela Emotiv. Nesse sentido, a ideia será verificar quais os sítios incluídos e qual de facto é a banda de frequência, ou bandas correlacionadas. Aliás, gostaria de ter acesso a condições laboratoriais com tecnologia EEG e Ressonância Magnética Funcional simultânea que permitissem executar propostas experimentais para tentar aferir isso.

Em relação ao módulo Cognitiv Suite, sei que é baseado em aprendizagem computacional, mas desconheço as fórmulas, métodos e algoritmos. Gostaria, assim, de implementar outras soluções com base nos dados em bruto Emotiv. Durante o percurso, foram colocadas à disposição bibliotecas de objetos externos MAX com capacidades de computação em tempo real de dados em fluxo constante, nomeadamente de sensores de movimento. Chegámos a testar os objetos [ml.x], das bibliotecas [ml],³²⁴ mas o seu uso em tempo real para dados em bruto de 14

³²⁴ ML é usado para designar Machine Learning, isto é, aprendizagem computacional. Existem pelo menos duas variantes destas bibliotecas: uma por Jamie Bullock e Ali Momeni (Batchku), que foram colocadas à

canais EEG provenientes da interface Emotiv, mostrou-se problemático e pouco elucidativo. Isso pode ter sido por incompetência nossa de implementação. Mas penso que foi devido ao facto do sistema — rotinas operativas e hardware (memória e processadores) — não ter a capacidade de gestão e processamento suficientes para a quantidade e intensidade dos dados a serem computados.

Mas, assim como estudar as métricas Emotiv está como hipótese de investigação futura, o desafio de implementação de outras soluções para detetar processos cerebrais para atuar com base na volição em objetos e ou eventos também está. São desafios que deixo em aberto. Aliás, uma das maiores utilidades da investigação e percurso, para além dos projetos e respetivos resultados, para além do que aprendi sobre os processos do cérebro e sobre neurotecnologia, foi o emanar de uma curiosidade ainda maior daquela que estava presente à partida do percurso. Gostaria de capitalizar tudo isto em investigação subsequente.

No que concerne aspetos tecno artísticos, gostaria de continuar a trabalhar em dois projetos: *EshoFuni@TheAbyss* e *I Will Play The Electric Brain*, pelo entusiasmo que nos provocaram e pelas possibilidades em aberto. No primeiro, a exemplo, quero explorar vários planos e enquadramentos de forma mais consistente, com uma implementação dinâmica da(s) câmara(s), baseada em índices emocionais e/ou volitivos, para potenciar o sentido cinematográfico e também ampliar a possibilidade de leitura dos processos do cérebro. Já explorei alguma variedade que me pareceu interessante. Na versão II, que serviu de arranque, fizemos alguns testes que mostram esse potencial. Na versão Processing, criámos um sistema dinâmico posicional baseado em rotação e aproximação controlada fundamentalmente pela variação de amplitude e frequência das oscilações sonoras com fonte na exposição da sequência sonora. Apesar de ser bastante interessante, pareceu-me que esta escolha introduziu um potencial mais distrator do que atencional. Na versão *Chapter V* essa implementação está encapsulada, mas nas performances reais não foram usadas porque ainda carece

disposição em 2014 no forum da Cycling'74 (<https://cycling74.com/forums/machine-learning-in-max-hallelujah>). Outra, por Benjamin Smith e Guy Garnett, disponibilizada mais recentemente em pacote de instalação automatizada (pack). MnM tem métodos de regressão, como Análise de Componentes Principais (PCA) e Análise de Correlação Canónica (CCA), e de classificação como Modelos Escondidos de Markov (HMM), Modelos de Mistura Gaussiana (GMM), mas não é uma ferramenta dedicada exclusivamente a Machine Learning.

de mais experiências e ajustes até cumprir aquilo que penso ser suficientemente adequado para potenciar essa vertente.

No caso de *I Will Play the Electric Brain*, a implementação da componente de representação baseada em formas visuais é um dos objetivos, fundamentalmente porque a inspiração que a especulação sobre a imaginação me criou uma necessidade muito forte de experimentação artística. Também quero testar em público exposições narrativas baseadas em caracterizações com âncora em consensos culturais de tradição musicais que sugerem modos menores e maiores³²⁵, e que estes podem ser fonte de emoções negativas e/ou positivas percecionadas subjetivamente, mas questionando simultaneamente os próprios consensos. Usar objetos sonoros capturados e concretos também está nos meus objetivos.

A minha ambição e bitola são maiores do que o que conseguimos realizar até ao momento, por isso continuarei a trabalhar. Sei que propósitos e produção nas artes e nas ciências exatas não podem ser abordados e operados exatamente da mesma maneira e que o equilíbrio entre eventuais constituintes derivados dessas duas origens num só projeto pode levar a leituras menos credíveis em relação aos projetos que os contêm e em relação aos designers que os pensam e produzem.

De acordo com a minha experiência, também aquela que o percurso proporcionou em termos de interação com comunidades científicas, artísticas, técnicas e académicas, a urgência de propostas geradas por equipas heterogéneas, baseadas em competências conceptuais e técnicas transversais a várias áreas do conhecimento, é absolutamente crucial para a produção contemporânea de soluções para problemas da humanidade. Aliás, a produção de soluções e conhecimento baseado em equipas multidimensionais e multidisciplinares são necessidades inscritas até mesmo nas últimas recomendações da Comunidade Europeia, para os próximos anos, para uma aplicação mais consequente dos fundos comunitários para a Investigação e Desenvolvimento. Mas quero investigar e produzir sem abandonar esta dupla necessidade, nem sempre conciliável, do querer ver por dentro, decodificar e explicar, simultaneamente com codificar e deixar as explicações para o questionamento dos observadores.

³²⁵ Escala maior ou menor, na teoria da música de tradição clássica ocidental, caracteriza-se por, simplificada: numa exposição em direção a notas mais agudas, relativamente à nota chave base em que assenta a tonalidade, por exemplo dó, a terceira nota está à distância de três meios tons. No modo maior a mesma nota está à distância de quatro meios tons.

16 **BIBLIOGRAFIA**

- Abbott, Alison. 2016. «Scientists Bust Myth That Our Bodies Have More Bacteria than Human Cells». *Nature News*. <https://doi.org/10.1038/nature.2016.19136>.
- Abbott, Derek. 2013. «The Reasonable Ineffectiveness of Mathematics [Point of View]». *Proceedings of the IEEE* 101 (Outubro): 2147–53. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2013.2274907>.
- Abe, Shua, e Nam June Paik. 1992. «M June Paik & Shuya Abe Paik/Abe Video Synthesizer (Keyer & Colorizer) & Scan Modulator (a.k.a. “the Wobbulator”), 1970.» Em *Eigenwelt Der Apparate-Welt Pioneers of Electronic Art*, editado por David Dunn, 126–29. Santa Fe: The Vasulkas, Inc.
- admin. 2009. «Edmond Dewan Obituary - Bedford, Massachusetts». Text. Legacy.Com. 9 de Agosto de 2009. <https://www.legacy.com/obituaries/name/edmond-dewan-obituary?pid=131111062>.
- Adrian, Edgar D., e Bryan HC Matthews. 1934. «The interpretation of potential waves in the cortex». *The Journal of Physiology* 81 (4): 440–471.
- Ahmed, Omar J., e Sydney S. Cash. 2013. «Finding synchrony in the desynchronized EEG: the history and interpretation of gamma rhythms». *Frontiers in Integrative Neuroscience* 7 (Agosto). <https://doi.org/10.3389/fnint.2013.00058>.
- Aich, Tapas Kumar. 2014. «Absent posterior alpha rhythm: An indirect indicator of seizure disorder?» *Indian Journal of Psychiatry* 56 (1): 61–66. <https://doi.org/10.4103/0019-5545.124715>.
- Ajzen, Icek. 1985. «From Intentions to Actions: A Theory of Planned Behavior». Em *Action Control*, 11–39. SSSP Springer Series in Social Psychology. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-69746-3_2.
- Alber, Jan, Stefan Iversen, Henrik Skov Nielsen, e Brian Richardson. 2010. «Unnatural Narratives, Unnatural Narratology: Beyond Mimetic Models». *Narrative. The Ohio State University* 18 (2): 113–36.
- Aldridge, David. 1992. «Rythm Man». Em *Don't Think about Monkeys: Extraordinary Stories by People with Tourette Syndrome*, 173–82. Duarte: Hope Press.
- Alegria, José Augusto. 1976. «Música». Em *Enciclopédia Verbo Luso-Brasileira de Cultura*, 13:1596–1602. Lisboa: Editorial Verbo.
- Alexandrov, M.V. 2012. «Биомедицинский журнал | История электроэнцефалографии: русская увертюра мировой симфонии (к столетию работ В.В.Правдич-Неминского) / History of Electroencephalography: Russian Overture of World Symphony (on the

- centenary of works V.V. Prawditz-Neminsky)». *Medline RU 13* (Art. 30): 372–84.
- Araque, Alfonso, e Marta Navarrete. 2010. «Glial cells in neuronal network function». *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 365 (1551): 2375–81. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0313>.
- Ardila, Alfredo. 2010. «On the Evolution of Calculation Abilities». *Frontiers in Evolutionary Neuroscience* 2 (Junho). <https://doi.org/10.3389/fnevo.2010.00007>.
- Ardila, Alfredo, e Mónica Rosselli. 2002. «Acalculia and Dyscalculia». *Neuropsychology Review* 12 (4): 179–231. <https://doi.org/10.1023/A:1021343508573>.
- Austin, Larry, Douglas Kahn, e Nilendra Gurusinge. 2011. *Source: Music of the Avant-Garde, 1966–1973*. University of California Press.
- Azevedo, Frederico A.C., Ludmila R.B. Carvalho, Lea T. Grinberg, José Marcelo Farfel, Renata E.L. Ferretti, Renata E.P. Leite, Wilson Jacob Filho, Roberto Lent, e Suzana Herculano-Houzel. 2009. «Equal Numbers of Neuronal and Nonneuronal Cells Make the Human Brain an Isometrically Scaled-up Primate Brain». *The Journal of Comparative Neurology* 513 (5): 532–41. <https://doi.org/10.1002/cne.21974>.
- Baars, Bernard J., e Nicole M. Gage. 2007. *Cognition, Brain, and Consciousness: Introduction to Cognitive Neuroscience*. Academic Press.
- Bannister, Scott, e Tuomas Eerola. 2017. «Musically-Induced Chills : The Effects of “ Chills Sections ” in Music». Em .
- Barber, Anita D., Priti Srinivasan, Suresh E. Joel, Brian S. Caffo, James J. Pekar, e Stewart H. Mostofsky. 2012. «Motor “Dexterity”?: Evidence That Left Hemisphere Lateralization of Motor Circuit Connectivity Is Associated with Better Motor Performance in Children». *Cerebral Cortex* 22 (1): 51–59. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhr062>.
- Barthes, Roland. 1977. *Image, Music, Text*. Traduzido por Stephen Heath. London: Fontana Press.
- . 1978. *The Pleasure of the Text*. New York: Hill and Wang.
- Bataille, Benoit, Michel Wager, Françoise Lapierre, J. Michel Goujon, Kevin Buffenoir, e Philippe Rigoard. 2007. «The Significance of the Rete Mirabile in Vesalius’s Work: An Example of the Dangers of Inductive Inference in Medicine». *Neurosurgery* 60 (4): 761–68; discussion 768. <https://doi.org/10.1227/01.NEU.0000255391.92785.ED>.
- Battista, Christian. 2013. «Neural circuits involved in mental arithmetic: Evidence from Customized Arithmetic Training». *Electronic Thesis and Dissertation Repository*, Agosto. <https://ir.lib.uwo.ca/etd/1560>.
- Baumeister, Roy F., E. J. Masicampo, e Kathleen D. Vohs. 2011. «Do conscious thoughts cause behavior?» *Annual review of psychology* 62: 331–361.
- Baumgarten, Alexander Gottlieb. 1758. *Aestheticorum*. Joannis Christiani Kleyb. http://archive.org/details/bub_gb_IYpKAAAaCAAJ.
- . 1779. *Metaphysica*. VII. Impensis Carol Herman Hemmerde. <https://archive.org/details/metaphysicaalex00baumgoog>.
- Bay, Noel Si-Yang, e Boon-Huat Bay. 2010. «Greek anatomist herophilus: the father of anatomy». *Anatomy & Cell Biology* 43 (4): 280–83. <https://doi.org/10.5115/acb.2010.43.4.280>.
- Bedi, Joyce. 1998. «Drops & Splashes « Harold “Doc” Edgerton». 1998. <http://edgerton-digital-collections.org/stories/features/drop-of-water>.

- Bell, Charles. 1811. *Idea of a New Anatomy of the Brain; Submitted for the Observations of His Friends*; London: Strahan and Preston.
<http://archive.org/details/b28404634>.
- Bennett, Max R. 2014. *History of the Synapse*. CRC Press.
- Berger, Hans. 1929. «Über das elektroencephalogramm des menschen». *European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience* 87 (1): 527–570.
- Bergland, Christopher. 2014. «Imagination and Reality Flow Conversely Through Your Brain». Psychology, Sciences. Psychology Today. 2014.
<http://www.psychologytoday.com/blog/the-athletes-way/201411/imagination-and-reality-flow-conversely-through-your-brain>.
- Bergman, Ronald A., e Adel K. Afifi. 2016. *ANATOMY: An Encyclopedic Reference to the Language of Anatomy and Neuroanatomy. It Provides the Fascinating Origin of Terms and Biographies of Anatomists/Physicians Who Originated Them*. Outskirts Press.
- Berleant, Arnold. 2017. *Re-Thinking Aesthetics: Rogue Essays on Aesthetics and the Arts*. Routledge.
- Bevilacqua, Frédéric, Rémy Müller, e Norbert Schnell. 2005. «MnM: a Max/MSP mapping toolbox». Em *Proceedings of the 2005 conference on New interfaces for musical expression*, 85–88. National University of Singapore.
<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1085964>.
- Bhattacharya, Joydeep, Hellmuth Petsche, e Ernesto Pereda. 2001. «Long-Range Synchrony in the γ Band: Role in Music Perception». *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience* 21 (Setembro): 6329–37.
- Bidelman, Gavin M., Stefanie Hutka, e Sylvain Moreno. 2013. «Tone Language Speakers and Musicians Share Enhanced Perceptual and Cognitive Abilities for Musical Pitch: Evidence for Bidirectionality between the Domains of Language and Music». *PLoS ONE* 8 (4).
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0060676>.
- Bieńkiewicz, Marta M. N., e Cathy Craig, eds. 2017. *Sound, Music and Movement in Parkinson's Disease*. Frontiers Research Topics. Frontiers Media SA.
<https://doi.org/10.3389/978-2-88945-079-4>.
- Bitan, Tali, Tijana Simic, Cristina Saverino, Cheryl Jones, Joanna Glazer, Brenda Collela, Catherine Wiseman-Hakes, Robin Green, e Elizabeth Rochon. 2018. «Changes in Resting-State Connectivity following Melody-Based Therapy in a Patient with Aphasia». *Neural Plasticity* 2018 (Março).
<https://doi.org/10.1155/2018/6214095>.
- Bodeck, Sabine, Claudia Lappe, e Stefan Evers. 2015. «Tic-reducing effects of music in patients with Tourette's syndrome: Self-reported and objective analysis». *Journal of the Neurological Sciences* 352 (1): 41–47.
<https://doi.org/10.1016/j.jns.2015.03.016>.
- Bohlen und Halbach, Oliver von. 1999. «The Isolated Mammalian Brain: An in Vivo Preparation Suitable for Pathway Tracing». *The European Journal of Neuroscience* 11 (3): 1096–1100.
- Bolinska, Agnes. 2015. «Epistemic Representation in Science and Beyond». Philosophy of Science and Technology, PhD, Toronto: University of Toronto.
- Bonaci, Tamara, e Howard Jay Chizeck. 2013. «Privacy by Design in Brain-Computer Interfaces». Washington: University of Washington.

- Bonin, Vincent. 2006. «Alex Hay : Grass Field (performance)». Art, Science and Technology. La fondation Daniel Langlois. 2006. <http://www.fondation-langlois.org/html/e/page.php?NumPage=662#n1>.
- Borck, Cornelius. 2005. *Hirnströme: eine Kulturgeschichte der Elektroenzephalographie*. Wissenschaftsgeschichte. Göttingen: Wallstein Verlag.
- . 2008. «Recording the Brain at Work: The Visible, the Readable, and the Invisible in Electroencephalography». *Journal of the History of the Neurosciences* 17 (3): 367–79. <https://doi.org/10.1080/09647040701348332>.
- Bos, D. Plass Oude. 2007. «EEG-based Emotion Recognition The Influence of Visual and Auditory Stimuli». Em .
- BrainAble, Project ID: 247447. 2010. «BrainAble Project». European Commission, Graz University of Technology. https://cordis.europa.eu/project/rcn/93835_en.html.
- Braun, Marta. 1994. *Picturing Time: The Work of Etienne-Jules Marey (1830-1904)*. University of Chicago Press.
- Brazier, Mary A. B. 1963. «The History of the Electrical Activity of the Brain as a Method for Localizing Sensory Function». *Medical History* 7 (3): 199–211.
- Bressler, Steven L., e Vinod Menon. 2010. «Large-Scale Brain Networks in Cognition: Emerging Methods and Principles». *Trends in Cognitive Sciences* 14 (6): 277–90. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2010.04.004>.
- Briesemeister, Benny B., Sascha Tamm, Angela Heine, e Arthur M. Jacobs. 2013. «Approach the Good, Withdraw from the Bad—A Review on Frontal Alpha Asymmetry Measures in Applied Psychological Research». *Psychology* 04 (03): 261–67. <https://doi.org/10.4236/psych.2013.43A039>.
- Bronzino, Joseph D. 2006. *The Biomedical Engineering Handbook, Third Edition*. Taylor & Francis.
- Brownlee, Jason. 2011. *Clever Algorithms: Nature-Inspired Programming Recipes*. Jason Brownlee.
- Bruder, Carl E. G., Arkadiusz Piotrowski, Antoinet A. C. J. Gijssbers, Robin Andersson, Stephen Erickson, Teresita Diaz de Ståhl, Uwe Menzel, et al. 2008. «Phenotypically Concordant and Discordant Monozygotic Twins Display Different DNA Copy-Number-Variation Profiles». *The American Journal of Human Genetics* 82 (3): 763–71. <https://doi.org/10.1016/j.ajhg.2007.12.011>.
- Bujalkova, Maria. 2011. «Rufus of Ephesus and His Contribution to the Development of Anatomical Nomenclature». *Acta Medico-Historica Adriatica: AMHA* 9 (1): 89–100.
- Burrell, Brian. 2004. *Postcards from the Brain Museum: The Improbable Search for Meaning in the Matter of Famous Minds*. Broadway Books.
- Buzsáki, György. 2006. *Rhythms of the Brain*. New York: Oxford University Press.
- Byom, Lindsey J., e Bilge Mutlu. 2013. «Theory of mind: mechanisms, methods, and new directions». *Frontiers in Human Neuroscience* 7 (Agosto). <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00413>.
- Byrne, John H., Ruth Heidelbergger, e M. Neal Waxham. 2014. *From Molecules to Networks: An Introduction to Cellular and Molecular Neuroscience*. Academic Press.
- Casey, Karen. 2010. *GLOBAL MIND PROJECT: Spectacle of the Mind 2010*. <https://vimeo.com/13765408>.

- Castillo, Horace T., e Ira Sherwin. 1969. «Encephalophone: An Electronic Stethoscope for the Brain». Em . Audio Engineering Society. <http://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=1335>.
- Cela-Conde, Camilo J., Juan García-Prieto, José J. Ramasco, Claudio R. Mirasso, Ricardo Bajo, Enric Munar, Albert Flexas, Francisco del-Pozo, e Fernando Maestú. 2013. «Dynamics of Brain Networks in the Aesthetic Appreciation». *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110 (Supplement 2): 10454–61. <https://doi.org/10.1073/pnas.1302855110>.
- Chakravartty, Anjan. 2017. «Scientific Realism». Em *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, editado por Edward N. Zalta, Summer 2017. Metaphysics Research Lab, Stanford University. <https://plato.stanford.edu/archives/sum2017/entries/scientific-realism/>.
- Chayette, Sylvie. 2010. «L’art peut-il se passer de règles?», la dissertation d’Ollivier Pourriol». *Le Monde.fr*, 17 de Junho de 2010. https://www.lemonde.fr/societe/article/2010/06/17/l-art-peut-il-se-passer-de-regles-la-dissertation-d-ollivier-pourriol_1374573_3224.html.
- Chen, Fanglin, Longfei Su, Yadong Liu, e Dewen Hu. 2013. «Confirming the Diversity of the Brain after Normalization: An Approach Based on Identity Authentication». *PLOS ONE* 8 (1): e54328. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0054328>.
- Chiofalo, A, A Bordin, A Mazzeschi, e R Aglieri. 2012. «Active Music Therapy and Williams Syndrome: A Possible Method for the Visual-Motor and Praxis Rehabilitation?» Em *12th International Conference on Music Perception and Cognition (ICMPC): Proceedings*, 5. Thessaloniki: Aristotle University of Thessaloniki.
- Clark, Andy. 2008. *Supersizing the Mind: Embodiment, Action, and Cognitive Extension*. Oxford University Press.
- Clark, T., A. Williamon, e A. Aksentijevic. 2011. «Musical Imagery and Imagination: The Function, Measurement and Application of Imagery Skills for Performance». Em *Musical Imaginations: Multidisciplinary Perspectives on Creativity, Performance and Perception*, editado por D. Hargreaves, D. Miell, e R. MacDonald, 351–65. Oxford: Oxford University Press. <https://global.oup.com/academic/product/musical-imaginations-9780199568086?cc=gb&lang=en&#>.
- Clarke, Edwin, Kenneth Dewhurst, e Michael Jeffrey Aminoff. 1996. *An Illustrated History of Brain Function: Imaging the Brain from Antiquity to the Present*. Norman Publishing.
- Coan, James A, e John J.B Allen. 2004. «Frontal EEG Asymmetry as a Moderator and Mediator of Emotion». *Biological Psychology* 67 (1–2): 7–50. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2004.03.002>.
- Collins, Stephen M., e Premysl Bercik. 2009. «The Relationship Between Intestinal Microbiota and the Central Nervous System in Normal Gastrointestinal Function and Disease». *Gastroenterology* 136 (6): 2003–14. <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2009.01.075>.
- Collura, Thomas F. 1993. «History and evolution of electroencephalographic instruments and techniques.» *Journal of clinical neurophysiology* 10 (4): 476–504.
- Coppola, Antonella. 2005. «Wave UFO» a Venezia: Reazioni. <https://www.youtube.com/watch?v=Q8QbcyKwWNo>.

- Costa, Tommaso, Elena Rognoni, e Dario Galati. 2006. «EEG phase synchronization during emotional response to positive and negative film stimuli». *Neuroscience Letters* 406 (3): 159–64. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2006.06.039>.
- Cowan, Nelson. 2008a. «2.03 - Sensory Memory». Em *Learning and Memory: A Comprehensive Reference*, editado por John Byrne, 23–32. Oxford: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012370509-9.00172-8>.
- . 2008b. «What are the differences between long-term, short-term, and working memory?» *Progress in brain research* 169: 323–38. [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(07\)00020-9](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(07)00020-9).
- . 2010. «The Magical Mystery Four: How is Working Memory Capacity Limited, and Why?» *Current directions in psychological science* 19 (1): 51–57. <https://doi.org/10.1177/0963721409359277>.
- Dafny, Nachum. 2000. «Chapter 1: Overview of the Nervous System». Neuroscience Online: An Electronic Textbook for the Neurosciences. 2000. <http://neuroscience.uth.tmc.edu/s2/chapter01.html>.
- D'Agostino, Salvo. 2004. «The Bild Conception of Physical Theory: Helmholtz, Hertz, and Schrödinger». *Physics in Perspective* 6 (4): 372–89. <https://doi.org/10.1007/s00016-003-0205-8>.
- Damasio, Antonio. 2001a. «Reflections on the Neurobiology of Emotion and Feeling». Em *The Foundations of Cognitive Science*. Oxford: Oxford: Clarendon Press.
- . 2001b. «Reflections on the Neurobiology of Emotion and Feeling». Em *The Foundations of Cognitive Science*, editado por João Branquinho, 99–108. Oxford: Oxford: Clarendon Press.
- Damáso, António. 2008. *Descartes' Error: Emotion, Reason and the Human Brain*. Random House.
- . 2010. *O Livro da Consciência - A Construção do Cérebro Consciente*. 1.^a ed. Temas e Debates. Lisboa: Círculo de Leitores. [http://www.bulhosa.pt/livro/livro-da-consciencia-o-antonio-damasio/?UDSID=\\$\\$\\$\\$051611021741150077498307\\$\\$\\$\\$](http://www.bulhosa.pt/livro/livro-da-consciencia-o-antonio-damasio/?UDSID=$$$$051611021741150077498307$$$$).
- Damasio, Antonio. 2018. *The Strange Order of Things: Life, Feeling, and the Making of Cultures*. Knopf Doubleday Publishing Group.
- Darwin, Charles. 1872. *The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex*. Vol. II. New York: D. Appleton.
- David, Olivier, James M. Kilner, e Karl J. Friston. 2006. «Mechanisms of Evoked and Induced Responses in MEG/EEG». *NeuroImage* 31 (4): 1580–91. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.02.034>.
- Dentico, Daniela, Bing Leung Cheung, Jui-Yang Chang, Jeffrey Guokas, Melanie Boly, Giulio Tononi, e Barry Van Veen. 2014. «Reversal of Cortical Information Flow during Visual Imagery as Compared to Visual Perception». *NeuroImage* 100 (Outubro): 237–43. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2014.05.081>.
- Deutsch, Diana. 2013. «Absolute Pitch». Em *The Psychology of Music*, 141–82. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381460-9.00005-5>.
- Deutsch, Diana, Jinghong Le, Kevin Dooley, Trevor Henthorn, Jing Shen, e Brian Head. 2009. «Absolute Pitch and Tone Language: Two New Studies», 5.
- Dewan, Edmond M. 1967. «Occipital Alpha Rhythm Eye Position and Lens Accommodation». *Nature* 214 (5092): 975–77. <https://doi.org/10.1038/214975a0>.
- Diano, Matteo, Alessia Celeghin, Arianna Bagnis, e Marco Tamietto. 2017. «Amygdala Response to Emotional Stimuli without Awareness: Facts and

- Interpretations». *Frontiers in Psychology* 7 (Janeiro).
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.02029>.
- Dibner, Bern. 1998. «Luigi Galvani | Italian Physician and Physicist». Encyclopedia. Encyclopedia Britannica. 1998. <https://www.britannica.com/biography/Luigi-Galvani>.
- Du, R., e H. J. Lee. 2015. «Frontal alpha asymmetry during the audio emotional experiment revealed by event-related spectral perturbation». Em *2015 8th International Conference on Biomedical Engineering and Informatics (BMEI)*, 531–36. <https://doi.org/10.1109/BMEI.2015.7401562>.
- Dutta, Varsha. 2011. «Neurological Disorders in Famous Artists - Part 1, 2 & 3». Medicine, Oncology. *Journal of Cancer Research and Therapeutics*. 2011. <http://www.cancerjournal.net/article.asp?issn=0973-1482;year=2011;volume=7;issue=2;spage=240;epage=246;aulast=Dutta>.
- Dutton, Denis. 2009. *The Art Instinct: Beauty, Pleasure, & Human Evolution*. Oxford University Press.
- Eaton, Manford L. 1973. *Bio-Music*. Barton: Something Else Press, Inc. https://monoskop.org/File:Eaton_Manford_L_Bio-Music.pdf.
- Ehrenzweig, Anton. 2001. *The Psycho-Analysis of Artistic Vision and Hearing: An Introduction to a Theory of Unconscious Perception*. London: Routledge, Taylor & Francis Group.
- Ekman, Paul. 2003. *Emotions Revealed: Understanding Faces and Feelings*. 1.^a ed. Times Books.
- . 2016. «What Scientists Who Study Emotion Agree About». *Perspectives on Psychological Science* 11 (1): 31–34. <https://doi.org/10.1177/1745691615596992>.
- Elgin, Catherine Z. 1993. «Understanding: Art and Science». *Synthese* 95 (1): 13–28.
- . 2010. «Telling Instances». Em *Beyond Mimesis and Convention: Representation in Art and Science*, editado por Roman Frigg e Matthew C. Hunter, 1–17. Dordrecht: Springer. https://doi.org/10.1007/978-90-481-3851-7_1.
- Erling, Norrby. 2016. *Nobel Prizes And Notable Discoveries*. World Scientific.
- Erp, Jan B. F. van, Fabien Lotte, e Michael Tangermann. 2012. «Brain-Computer Interfaces: Beyond Medical Applications». *Computer* 45 (4): 26–34. <https://doi.org/10.1109/MC.2012.107>.
- Euclid, e Oliver Byrne. 1847. *The First Six Books of the Elements of Euclid*. London: William Pickering. <http://archive.org/details/firstsixbooksofe00eucl>.
- Euclid, of Alexandria. 1482. *Euclid, Elementa geometriae*. Editado por Erhard Ratdolt. Venice: Erhard Ratdolt. https://www.joh.cam.ac.uk/library/special_collections/early_books/pix/euclid.htm.
- Eyetaf. 2003a. «DECONism Gallery». 2003. <http://www.eyetaf.org/deconism/>.
- . 2003b. «DECONism Press». 2003. <http://www.eyetaf.org/deconism/press.htm>.
- Falk, Dean. 2009. «New Information about Albert Einstein's Brain». *Frontiers in Evolutionary Neuroscience* 1 (Maio). <https://doi.org/10.3389/neuro.18.003.2009>.
- Ferreira, Aníbal João de Sousa. 2010. «Introdução à electrofisiologia». Em *Processamento de Sinais Fisiológicos*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

- Fesenmaier, Kimm. 2011. «Caltech Chemist Jacqueline Barton Honored With National Medal of Science | Caltech». The California Institute of Technology. 2011. <http://www.caltech.edu/news/caltech-chemist-jacqueline-barton-honored-national-medal-science-1723>.
- Fine, Gail. 2014. *The Possibility of Inquiry: Meno's Paradox from Socrates to Sextus*. OUP Oxford.
- Finger, Stanley. 2001. *Origins of Neuroscience: A History of Explorations Into Brain Function*. Oxford University Press.
- Flechsig, Paul (Paul Emil). 1883. *Plan des menschlichen Gehirns; auf Grand eigener Untersuchungen entworfen von Paul Flechsig. Mit erläuterndem Texte*. Leipzig, Veit. <http://archive.org/details/plandesmenschlic00flec>.
- . 1896. *Die Localisation der geistigen Vorgänge insbesondere der Sinnesempfindungen des Menschen. Vortrag, gehalten auf der 68. Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte zu Frankfurt a. M.* Leipzig, Veit. <http://archive.org/details/dielocalisationd00flec>.
- Fludd, Robert. 1619. *Tomus Secundus De Supernaturali, Naturali, Praeternaturali Et Contranaturali Microcosmi historia, in Tractus tres distributa*. Oppenheimii: de Bry. https://reader.digitale-sammlungen.de/en/fs1/object/display/bsb11057772_00003.html.
- Foster, Michael. 1897. *A Text Book of Physiology: The central nervous system*. Vol. 3. Macmillan.
- Fraassen, Bas C. van. 2008. *Scientific Representation: Paradoxes of Perspective*. Oxford: Oxford University Press - Clarendon Press.
- Freitas-Magalhães, A. 2012. «Facial Expression of Emotion». Em *The Encyclopedia of Human Behaviour*, editado por V. S Ramachandran, 2.^a ed., 2:173–83. London: Academic Press, Elsevier.
- Friedman, Bruce H. 2010. «Feelings and the Body: The Jamesian Perspective on Autonomic Specificity of Emotion». *Biological Psychology* 84 (3): 383–93. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2009.10.006>.
- Frigg, Roman. 2010. «Fiction and Scientific Representation». Em *Beyond Mimesis and Convention*, editado por Roman Frigg e Matthew Hunter, 262:97–138. Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-90-481-3851-7_6.
- Frigg, Roman, e Matthew Hunter. 2010. *Beyond Mimesis and Convention: Representation in Art and Science*. Springer Science & Business Media.
- Frigg, Roman, e James Nguyen. 2016. «Scientific Representation». Em *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, editado por Edward N. Zalta, Winter 2016. Metaphysics Research Lab, Stanford University. <https://plato.stanford.edu/archives/win2016/entries/scientific-representation/>.
- . 2017. «3. Models and Representation». Em *Springer Handbook of Model-Based Science*, editado por Lorenzo Magnani e Tommaso Bertolotti, 1.^a ed., 49–102. Dordrecht: Springer.
- Fürth, R., e C. A. Beevers. 1943. «The Encephalophone: A New Method for Investigating Electro-Encephalographic Potentials». *Nature* 151 (3821): 110–11. <https://doi.org/10.1038/151110b0>.
- Fuster, Joaquin. 2008. *The Prefrontal Cortex*. Elsevier.
- g dome. 2013. *Brainwave control device by Edmond Dewan, 1964*. https://www.youtube.com/watch?v=FGXMLuDVz_Q.

- Gabriel, Ulrike. 1994. «Sensible Systeme, Terrain 01». Art, Science and Technology. 1994. <http://www.ohnesorg.org/art/foro/terrain01.htm>.
- Gall, Franz Josef (1758-1828) Auteur du texte, e Johann Gaspar (1776-1832) Auteur du texte Spurzheim. 1810. *Anatomie et Physiologie Du Système Nerveux En Général et Du Cerveau En Particulier. Tome 2 / , Avec Des Observations Sur La Possibilité de Reconnaître Plusieurs Dispositions Intellectuelles et Morales de l'homme et Des Animaux Par La Configuration de Leurs Têtes, Par J. F. Gall et G. Spurzheim,...* <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k76717h>.
- Gallagher, James. 2018. «How Bacteria Are Changing Your Mood». *BBC News*, 24 de Abril de 2018, sec. Health. <http://www.bbc.com/news/health-43815370>.
- Gandhi, Vaibhav. 2014. *Brain-Computer Interfacing for Assistive Robotics: Electroencephalograms, Recurrent Quantum Neural Networks and User-Centric Graphical User Interfaces*.
- Garas, John. 2000. *Adaptive 3D Sound Systems*. New York: Springer Science & Business Media.
- Gathercole, S. E. 2008. «2.04 - Working Memory». Em *Learning and Memory: A Comprehensive Reference*, editado por John H. Byrne, 33–51. Oxford: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012370509-9.00179-0>.
- Gazzaniga, M. S. 1995. «Principles of Human Brain Organization Derived from Split-Brain Studies». *Neuron* 14 (2): 217–28.
- Gazzaniga, Michael S. 2000. «Cerebral Specialization and Interhemispheric Communication. Does the Corpus Callosum Enable the Human Condition?». *Brain* 123 (7): 1293–1326. <https://doi.org/10.1093/brain/123.7.1293>.
- Gelfert, Axel. 2017. «1. The Ontology of Models». Em *Springer Handbook of Model-Based Science*, editado por Lorenzo Magnani e Tommaso Bertolotti, 1.^a ed., 5–23. Dordrecht: Springer. https://www.academia.edu/26570119/The_Ontology_of_Models.
- Gershon, Michael D. 1999. «The Enteric Nervous System: A Second Brain». *Hospital Practice* 34 (7): 31–52. <https://doi.org/10.3810/hp.1999.07.153>.
- Giaquinto, Marcus. 2016. «The Epistemology of Visual Thinking in Mathematics». Em *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, editado por Edward N. Zalta, Winter 2016. Metaphysics Research Lab, Stanford University. <https://plato.stanford.edu/archives/win2016/entries/epistemology-visual-thinking/>.
- Gibbs, F. A., e E. L. Gibbs. 1941. *Atlas of electroencephalography*. Atlas of electroencephalography. Oxford, England: F. A. Gibbs, Boston City Hospital.
- Gill, Kamraan Z., e Dale Purves. 2009. «A Biological Rationale for Musical Scales». *PLoS ONE* 4 (12). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0008144>.
- Ginsborg, Hannah. 2014. «Kant's Aesthetics and Teleology». Em *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, editado por Edward N. Zalta, Fall 2014. Metaphysics Research Lab, Stanford University. <https://plato.stanford.edu/archives/fall2014/entries/kant-aesthetics/>.
- Gizzi, Giulia, e Elisabetta Albi. 2017. «The Music in the Brain Hemispheres». *The EuroBiotech Journal* 1 (4): 259–63. <https://doi.org/10.24190/ISSN2564-615X/2017/04.01>.
- Gomes, Flávia Carvalho Alcantara, Vanessa Pereira Tortelli, e Luan Diniz. 2013. «Glia: dos velhos conceitos às novas funções de hoje e as que ainda virão». *estudos avançados* 27 (77): 61–84.

- Goodman, Nelson. 1976. *Languages of Art: An Approach to a Theory of Symbols*. Hackett Publishing.
- Grafman, Jordan, e Andres M. Salazar. 2015. «Chapter 49 - The ebb and flow of traumatic brain injury research». Em *Handbook of Clinical Neurology*, editado por Jordan Grafman e Andres M. Salazar, 128:795–802. Traumatic Brain Injury, Part II. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63521-1.00049-2>.
- Grass, Albert M. 1984. «The Electroencephalographic Heritage Until 1960». Grass Instrument Coampany.
- Greene, Judith. 2005. *Memory, Thinking and Language: Topics in Cognitive Psychology*. Psychology Press.
- Grierson, M. 2008. «Composing with brainwaves: Minimal trial p300 recognition as an indication of subjective preference for the control of a musical instrument». Em *International Computer Music Conference, ICMC 2008*.
- Guger, Christoph, Brendan Z. Allison, e Günter Edlinger. 2013. *Brain-Computer Interface Research: A State-of-the-Art Summary*. Springer Science & Business Media.
- Gweon, H., e R. Saxe. 2013. *Comprehensive Developmental Neuroscience: Neural Circuit Development and Function in the Heathy and Diseased Brain: Chapter 20. Developmental Cognitive Neuroscience of Theory of Mind*. Elsevier Inc. Chapters.
- Haas, L. 2003. «Hans Berger (1873–1941), Richard Caton (1842–1926), and electroencephalography». *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry* 74 (1): 9. <https://doi.org/10.1136/jnnp.74.1.9>.
- Haines, Duane E. 2004. *Neuroanatomy: An Atlas of Structures, Sections, and Systems*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Hall, Jeremy, Heather C. Whalley, Dominic E. Job, Ben J. Baig, Andrew M. McIntosh, Kathryn L. Evans, Pippa A. Thomson, et al. 2006. «A Neuregulin 1 Variant Associated with Abnormal Cortical Function and Psychotic Symptoms». *Nature Neuroscience* 9 (12): 1477–78. <https://doi.org/10.1038/nn1795>.
- Hassanien, Aboul Ella, e Ahmad Taher Azar. 2014. *Brain-Computer Interfaces: Current Trends and Applications*. Springer.
- Hatsopoulos, Nicholas. 2009. «Rhythms in Motor Processing: Functional Implications for Motor Behavior», Fevereiro.
- Haven, Kendall F. 2006. *100 Greatest Science Inventions of All Time*. Libraries Unlimited.
- Hayden, B. Y., e M. L. Platt. 2009. «Cingulate Cortex». Em *Encyclopedia of Neuroscience*, editado por Larry R. Squire, 887–92. Oxford: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-008045046-9.01110-4>.
- Hebb, Donald. 1949. *The Organization of Behavior. A Neuropsychological Theory*. New York: John Wiley & Sons, Inc. https://doi.org/10.1007/978-3-642-70911-1_15.
- Helmholtz, Hermann von. 1895. *On the Sensations of Tone as a Physiological Basis for the Theory of Music*. Traduzido por Alexander John Ellis. London, New York: Longmans, Green, and Co. <http://archive.org/details/onsensationsofto00helmrich>.
- Hennion, Antoine. 2012. «“As Fast as One Possibly Can ...” Virtuosity, a Truth of Musical Performance?» Em *Critical Musicological Reflections. Essays in Honour of Derek B. Scott*, editado por Stan Hawkins, 1.^a ed., 125–38. Farnham: Ashgate.

- <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/citations;jsessionid=BB0706CF3C834EB31846B73FF5C60245?doi=10.1.1.372.8258>.
- Herculano-Houzel, Suzana. 2009. «The Human Brain in Numbers: A Linearly Scaled-up Primate Brain». *Frontiers in Human Neuroscience* 3 (Novembro). <https://doi.org/10.3389/neuro.09.031.2009>.
- Herculano-Houzel, Suzana, e Roberto Lent. 2005. «Isotropic Fractionator: A Simple, Rapid Method for the Quantification of Total Cell and Neuron Numbers in the Brain». *Journal of Neuroscience* 25 (10): 2518–21. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4526-04.2005>.
- Herman, David, Manfred Jahn, e Marie-Laure Ryan. 2010. *Routledge Encyclopedia of Narrative Theory*. Routledge.
- Hermann, Thomas, e Helge Ritter. 1999. «Listen to your Data: Model-Based Sonification for Data Analysis». Em 189–194, *Int. Inst. for Advanced Studies in System research and cybernetics*, 189–194.
- Herwig, Uwe, Peyman Satrapi, e Carlos Schönfeldt-Lecuona. 2003. «Using the International 10-20 EEG System for Positioning of Transcranial Magnetic Stimulation». *Brain Topography* 16 (2): 95–99.
- Ho, Desiree. 2013. «The Reversed Musicians». Interlude.hk. 2013. <http://www.interlude.hk/front/the-reversed-musicians/>.
- Homan, R. W., J. Herman, e P. Purdy. 1987. «Cerebral Location of International 10-20 System Electrode Placement». *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 66 (4): 376–82.
- Huang, Yi, Xiaodi Xue, Elizabeth Spelke, Lijie Huang, Wenwen Zheng, e Kaiping Peng. 2018. «The Aesthetic Preference for Symmetry Dissociates from Early-Emerging Attention to Symmetry». *Scientific Reports* 8 (1): 6263. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24558-x>.
- Hubel, David H., e Torsten N. Wiesel. 1959. «Receptive fields of single neurones in the cat's striate cortex». *The Journal of physiology* 148 (3): 574–591.
- Huston, Joseph P., Marcos Nadal, Mora Teruel Mora, Luigi Francesco Agnati, e Camilo José Cela Conde. 2015. *Art, Aesthetics, and the Brain*. Oxford: Oxford University Press.
- Huth, Alexander G., Wendy A. de Heer, Thomas L. Griffiths, Frédéric E. Theunissen, e Jack L. Gallant. 2016. «Natural speech reveals the semantic maps that tile human cerebral cortex». *Nature* 532 (7600): 453–58. <https://doi.org/10.1038/nature17637>.
- Imhof, Christiane, e Heiner Fangerau. 2013. «Neuroscience and the Bereitschaftspotential: Current debates about free will and autonomy». *Neurology, Psychiatry and Brain Research*, Neuroinflammation in psychiatric disorders – evidence from research and clinic, 19 (4): 201–6. <https://doi.org/10.1016/j.npbr.2013.07.003>.
- Ircam, Centre Pompidou. 2010. «Pierre Schaeffer». Brahms IRCAM. 2010. <http://brahms.ircam.fr/pierre-schaeffer>.
- James, William. 1884. «What is an Emotion?» *Mind* 9 (34): 188–205.
- . 1890. *The Principles of Psychology*. Vol. I. 2 vols. New York: Henry Holt and Company. <https://ia800203.us.archive.org/12/items/theprinciplesofp01jameuoft/theprinciplesofp01jameuoft.pdf>.
- Jäncke, Lutz, Simon Baumann, Susan Koeneke, Martin Meyer, Bruno Laeng, Michael Peters, e Kai Lutz. 2006. «Neural Control of Playing a Reversed Piano:

- Empirical Evidence for an Unusual Cortical Organization of Musical Functions». *Neuroreport* 17 (4): 447–51.
<https://doi.org/10.1097/01.wnr.0000204978.91253.33>.
- Jasper, Herbert H. 1958. «The Ten Twenty Electrode System of the International Federation». *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, n. 10: 371–75.
- Jones, Mari Riess, Richard R. Fay, e Arthur N. Popper. 2010. *Music Perception*. Springer Science & Business Media.
- Jones, Steve. 2002. *Encyclopedia of New Media: An Essential Reference to Communication and Technology*. SAGE Publications.
- Jung, Richard, e Wiltrud Berger. 1979. «Hans Bergers Entdeckung des Elektrenkephalogramms und seine ersten Befunde 1924–1931». *Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten* 227 (4): 279–300.
<https://doi.org/10.1007/BF00344814>.
- Jurcak, Valer, Daisuke Tsuzuki, e Ippeita Dan. 2007. «10/20, 10/10, and 10/5 Systems Revisited: Their Validity as Relative Head-Surface-Based Positioning Systems». *NeuroImage* 34 (4): 1600–1611.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.09.024>.
- Juslin, Patrik N., e John Sloboda, eds. 2010. *Handbook of Music and Emotion: Theory, Research, Applications*. Oxford: Oxford University Press.
- Juslin, Patrik N., e Daniel Västfjäll. 2008. «Emotional Responses to Music: The Need to Consider Underlying Mechanisms». *Behavioral and Brain Sciences* 31 (05).
<https://doi.org/10.1017/S0140525X08005293>.
- Kahata, Masahiro. 2016. «About Psychic Lab». Science and Technology. Psychic Lab. 2016. <http://www.psychiclab.net/IBVA/Profile.html>.
- Kahn, Douglas. 2013. *Earth Sound Earth Signal: Energies and Earth Magnitude in the Arts*. Univ of California Press.
- Kandel, Eric R. 2013. *Principles of Neural Science, Fifth Edition*. New York: McGraw Hill Medical. <https://www.mhprofessional.com/9780071390118-usa-principles-of-neural-science-fifth-edition-group>.
- Kaufman, Scott Barry. 2013. «The Real Neuroscience of Creativity - Scientific American Blog Network». Science. Scientific American Blog. 2013.
<https://blogs.scientificamerican.com/beautiful-minds/the-real-neuroscience-of-creativity/>.
- Kawabata, Hideaki, e Semir Zeki. 2004. «Neural Correlates of Beauty». *Journal of Neurophysiology* 91 (4): 1699–1705. <https://doi.org/10.1152/jn.00696.2003>.
- Kemp, Bryan J. 1973. «Reaction time of young and elderly subjects in relation to perceptual deprivation and signal-on versus signal-off conditions». *Developmental Psychology* 8 (2): 268–72. <https://doi.org/10.1037/h0034147>.
- Kennedy, Paul J., Amy B. Murphy, John F. Cryan, Paul R. Ross, Timothy G. Dinan, e Catherine Stanton. 2016. «Microbiome in brain function and mental health». *Trends in Food Science & Technology*, Unravelling the role of the gut microbiome in energy balance and brain development and function: the European project MyNewGut, 57 (Novembro): 289–301.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.05.001>.
- Kéri, Szabolcs. 2009. «Genes for Psychosis and Creativity: A Promoter Polymorphism of the Neuregulin 1 Gene Is Related to Creativity in People With High Intellectual Achievement». *Psychological Science* 20 (9): 1070–73.
<https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2009.02398.x>.

- Kim, Jinah, Tony Wigram, e Christian Gold. 2009. «Emotional, Motivational and Interpersonal Responsiveness of Children with Autism in Improvisational Music Therapy». *Autism: The International Journal of Research and Practice* 13 (4): 389–409. <https://doi.org/10.1177/1362361309105660>.
- Klein, Eran, e C.S. Nam. 2016. «Neuroethics and Brain-Computer Interfaces (BCIs)». *Brain-Computer Interfaces* 3 (3): 123–25. <https://doi.org/10.1080/2326263X.2016.1210989>.
- Kornhuber, Hans Helmut, e Lüder Deecke. 1965. «Hirnpotentialänderungen bei Willkürbewegungen und passiven Bewegungen des Menschen: Bereitschaftspotential und reafferente Potentiale». *Pflüger's Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere* 284 (1): 1–17. <https://doi.org/10.1007/BF00412364>.
- . 2012. *The Will and Its Brain: An Appraisal of Reasoned Free Will*.
- Koziol, Leonard F. 2014. *The Myth of Executive Functioning: Missing Elements in Conceptualization, Evaluation, and Assessment*. Springer.
- Kriesche, Richard. 1980. «Weltmodell 2 Richard Kriesche», 8.
- Kropotov, Juri D. 2010. *Quantitative EEG, Event-Related Potentials and Neurotherapy*. Academic Press.
- Kubovy, Michael. 1999. «On the Pleasures of the Mind». Em *Well-Being: The Foundations of Hedonic Psychology*, 134–54. New York: Russel Sage Foundation.
- Kyaga, S. 2014. *Creativity and Mental Illness: The Mad Genius in Question*. Springer.
- LaFollette, Hugh, e Niall Shanks. 1994. «Animal Experimentation: The Legacy of Claude Bernard». *International Studies in the Philosophy of Science* 8 (3): 195–210.
- Langers, Dave R.M., e Pim van Dijk. 2012. «Mapping the Tonotopic Organization in Human Auditory Cortex with Minimally Salient Acoustic Stimulation». *Cerebral Cortex (New York, NY)* 22 (9): 2024–38. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhr282>.
- Lazarus, Richard S., e Bernice N. Lazarus. 1996. *Passion and Reason: Making Sense of Our Emotions*. Oxford University Press.
- Le Groux, Sylvain, Jónatas Manzolli, Marti Sanchez, Andre Luvizotto, Anna Mura, Aleksander Väljamäe, Christoph Guger, Robert Prueckl, Ulysses Bernardet, e Paul Verschure. 2010. «Disembodied and Collaborative Musical Interaction in the Multimodal Brain Orchestra». Em .
- Levitin, Daniel J. 2007. *This Is Your Brain on Music: The Science of a Human Obsession*. New York: Plume.
- Libet, Benjamin. 1993. «Unconscious Cerebral Initiative and the Role of Conscious Will in Voluntary Action». Em *Neurophysiology of Consciousness*, 269–306. Contemporary Neuroscientists. Birkhäuser, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-0355-1_16.
- Lieb, Julian, e Dorothy Hershman. 1983. «Isaac Newton: Mercury Poisoning or Manic Depression?» *The Lancet* 322 (8365): 1479–80. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(83\)90818-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(83)90818-8).
- Liebson, Philip R. 2013. «Willem Einthoven and the string galvanometer | Hektoen International». 2013. <http://hekint.org/2017/01/27/willem-einthoven-and-the-string-galvanometer/>.
- Likert, R. 1932. «A technique for the measurement of attitudes». *Archives of Psychology* 22 140: 55–55.

- Limb, Charles J., Stefan Kemeny, Eric B. Ortigoza, Sherin Rouhani, e Allen R. Braun. 2006. «Left Hemispheric Lateralization of Brain Activity during Passive Rhythm Perception in Musicians». *The Anatomical Record. Part A, Discoveries in Molecular, Cellular, and Evolutionary Biology* 288 (4): 382–89. <https://doi.org/10.1002/ar.a.20298>.
- Lindenberger, Ulman, Shu-Chen Li, Walter Gruber, e Viktor Müller. 2009. «Brains Swinging in Concert: Cortical Phase Synchronization While Playing Guitar». *BMC Neuroscience* 10 (1): 22. <https://doi.org/10.1186/1471-2202-10-22>.
- Linnebo, Øystein. 2018. «Platonism in the Philosophy of Mathematics». Em *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, editado por Edward N. Zalta, Spring 2018. Metaphysics Research Lab, Stanford University. <https://plato.stanford.edu/archives/spr2018/entries/platonism-mathematics/>.
- Llinás, R. R., e D. Paré. 1991. «Of Dreaming and Wakefulness». *Neuroscience* 44 (3): 521–35.
- Lövheim, Hugo. 2012. «A New Three-Dimensional Model for Emotions and Monoamine Neurotransmitters». *Medical Hypotheses* 78 (2): 341–48. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2011.11.016>.
- Lusted, Hugh S, e R Benjamin Knapp. 1996. «Controlling Computers with Neural Signals». *Scientific American*, Outubro, 6.
- Mackay, William A. 2011. *Neurofisiologia sem Lágrimas*. 5ª. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian. <http://www.montra.gulbenkian.pt/content.aspx?contentid=3AAF1B44-B6CD-4E8B-945E-824FF86C2EB8&channelid=7ECA950C-8E5D-4627-B800-E2ADFD932765&schemaid=F4925399-2C83-4518-84D3-9C84DDCF3706>.
- Makeig, S., C. Kothe, T. Mullen, N. Bigdely-Shamlo, Z. Zhang, e K. Kreutz-Delgado. 2012. «Evolving Signal Processing for Brain-Computer Interfaces». *Proceedings of the IEEE* 100 (Special Centennial Issue): 1567–84. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2012.2185009>.
- Malmivuo, Jaakko, e Robert Plonsey. 1995. *Bioelectromagnetism: Principles and Applications of Bioelectric and Biomagnetic Fields*. Oxford University Press. <http://www.oxfordscholarship.com/view/10.1093/acprof:oso/9780195058239.001.0001/acprof-9780195058239>.
- Mancini, Ron, e Bruce Carter, eds. 2009. *Op Amps for Everyone*. 3rd ed. Amsterdam ; Boston : Elsevier, Newnes.
- Mannell, Robert. 2008. «Waveforms: Adding waveforms and Phase». 2008. http://clas.mq.edu.au/speech/acoustics/waveforms/adding_waveforms.html.
- Manzano, Órjan de, e Fredrik Ullén. 2018. «Same Genes, Different Brains: Neuroanatomical Differences Between Monozygotic Twins Discordant for Musical Training». *Cerebral Cortex* 28 (1): 387–94. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhx299>.
- Marin, Manuela Maria. 2015. «Crossing Boundaries: Toward a General Model of Neuroaesthetics». *Frontiers in Human Neuroscience* 9. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00443>.
- Marques-Teixeira, João. 2000. *Comportamento criminal: perspectiva biopsicológica*. Linda-a-Velha: Vale & Vale Editores, Lda.
- Marshall, Louise H., e Horace W. Magoun. 2013. *Discoveries in the Human Brain: Neuroscience Prehistory, Brain Structure, and Function*. Springer Science & Business Media.

- Martensen, Robert L. 2004. *The Brain Takes Shape: An Early History*. Oxford University Press.
- Mason, M. F., M. I. Norton, J. D. Van Horn, D. M. Wegner, S. T. Grafton, e C. N. Macrae. 2007. «Wandering Minds: The Default Network and Stimulus-Independent Thought». *Science* 315 (5810): 393–95. <https://doi.org/10.1126/science.1131295>.
- Matsushashi, Masao, e Mark Hallett. 2008. «The timing of the conscious intention to move». *The European journal of neuroscience* 28 (11): 2344–51. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2008.06525.x>.
- Maurer, Konrad. 2012. *Topographic Brain Mapping of EEG and Evoked Potentials*. Springer Science & Business Media.
- Mayer, Emeran A., Rob Knight, Sarkis K. Mazmanian, John F. Cryan, e Kirsten Tillisch. 2014. «Gut Microbes and the Brain: Paradigm Shift in Neuroscience». *The Journal of Neuroscience* 34 (46): 15490–96. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3299-14.2014>.
- Mergenthaler, Philipp, Ute Lindauer, Gerald A. Dienel, e Andreas Meisel. 2013. «Sugar for the brain: the role of glucose in physiological and pathological brain function». *Trends in neurosciences* 36 (10): 587–97. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2013.07.001>.
- Miller, George A. 1956. «The Magical Number Seven, plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information.» *Psychological Review* 63 (2): 81–97. <https://doi.org/10.1037/h0043158>.
- Miranda, Eduardo, e Andrew Brouse. 2005a. «Toward direct brain-computer musical interfaces». Em *Proceedings of the 2005 conference on New interfaces for musical expression*, 216–219. Singapore: National University of Singapore. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1086000>.
- Miranda, Eduardo Reck, e Andrew Brouse. 2005b. «Interfacing the Brain Directly with Musical Systems: On Developing Systems for Making Music with Brain Signals». *Leonardo* 38 (4): 331–36. <https://doi.org/10.1162/0024094054762133>.
- Miranda, Eduardo Reck, e Marcelo M. Wanderley. 2006. *New Digital Musical Instruments: Control and Interaction Beyond the Keyboard*. Middleton, Wisconsin: A-R Editions, Inc.
- Morley, Iain. 2013. *The Prehistory of Music: Human Evolution, Archaeology, and the Origins of Musicality*. OUP Oxford.
- Mößner, Nicola. 2018. *Visual Representations in Science: Concept and Epistemology*. Routledge.
- Mühlethaler, M., M. de Curtis, K. Walton, e R. Llinás. 1993. «The Isolated and Perfused Brain of the Guinea-Pig in Vitro». *The European Journal of Neuroscience* 5 (7): 915–26.
- Müller, Meinard. 2015. *Fundamentals of Music Processing*. Cham: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-21945-5>.
- Mulligan, N. W. 2008. «2.02 - Attention and Memory». Em *Learning and Memory: A Comprehensive Reference*, editado por John H. Byrne, 7–22. Oxford: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012370509-9.00134-0>.
- Naidich, Thomas P., Mauricio Castillo, Soonmee Cha, e James G. Smirniotopoulos. 2013. *Imaging of the Brain*. Elsevier Health Sciences.
- Nebylitsyn, V. D., e J. A. Gray. 2013. *Biological Bases of Individual Behavior*. Academic Press.

- Newman, John D., e James C. Harris. 2009. «The Scientific Contributions of Paul D. MacLean (1913–2007)»: *The Journal of Nervous and Mental Disease* 197 (1): 3–5. <https://doi.org/10.1097/NMD.0b013e31818ec5d9>.
- Newton, Sir Isaac. 1729. *The Mathematical Principles of Natural Philosophy*. London: Benjamin Motte.
- Niedermeyer, Ernst, e F. H. Lopes da Silva. 2005a. *Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields*. Lippincott Williams & Wilkins.
- . 2005b. *Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields*. 5.^a ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Nunez, Paul., e Ramesh Srinivasan. 2006. *Electric Fields of the Brain: The Neurophysics of EEG*. Oxford University Press.
- Nunez, Paul, e Ramesh Srinivasan. 2007. «Electroencephalogram». *Scholarpedia* 2 (2): 1348. <https://doi.org/10.4249/scholarpedia.1348>.
- Nyhus, Erika, e Tim Curran. 2010. «Functional Role of Gamma and Theta Oscillations in Episodic Memory». *Neuroscience and biobehavioral reviews* 34 (7): 1023–35. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2009.12.014>.
- Oboro. 2001. «Neam Cathod, Cyber_Mondrian». 2001. http://archive.oboro.net/archive/exhib0001/neam/neam_fr.html.
- Oechslin, Mathias S., Martin Meyer, e Lutz Jäncke. 2010. «Absolute Pitch—Functional Evidence of Speech-Relevant Auditory Acuity». *Cerebral Cortex (New York, NY)* 20 (2): 447–55. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhp113>.
- Okasha, Samir. 2002. *Philosophy of Science: A Very Short Introduction*. OUP Oxford.
- Oleksii, Boldyriev. 2016. «Pravdych-Neminsky (1879-1952): first EEG and struggle for neuroscience research». *Моя наука* (blog). 2016. <http://my.science.ua/pravdych-neminsky/>.
- Osipova, Daria, Atsuko Takashima, Robert Oostenveld, Guillén Fernández, Eric Maris, e Ole Jensen. 2006. «Theta and Gamma Oscillations Predict Encoding and Retrieval of Declarative Memory». *Journal of Neuroscience* 26 (28): 7523–31. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1948-06.2006>.
- Pakhotin, Pavel I., e Irina D. Pakhotina. 1994. «Preparation of isolated perfused ground squirrel brain». *Brain Research Bulletin* 33 (6): 719–21. [https://doi.org/10.1016/0361-9230\(94\)90238-0](https://doi.org/10.1016/0361-9230(94)90238-0).
- Palmer, Jason. 2009. «World Premiere of Brain Orchestra». *BBC News*, 24 de Abril de 2009. <http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/8016869.stm>.
- Pappas, Nickolas. 2016. «Plato's Aesthetics». Em *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, editado por Edward N. Zalta, Fall 2016. Metaphysics Research Lab, Stanford University. <https://plato.stanford.edu/archives/fall2017/entries/plato-aesthetics/>.
- Parent, André. 2014. «Louis Pierre Gratiolet (1815-1865) and His Contribution to the Study of Cerebral Convulsions in Primates». *Neuroscience & Medicine* 05 (01): 1–8. <https://doi.org/10.4236/nm.2014.51001>.
- Patterson, Karalyn, Peter J. Nestor, e Timothy T. Rogers. 2007. «Where Do You Know What You Know? The Representation of Semantic Knowledge in the Human Brain». *Nature Reviews. Neuroscience* 8 (12): 976–87. <https://doi.org/10.1038/nrn2277>.
- Pejrolo, Andrea, e Richard DeRosa. 2009. *Acoustic and MIDI Orchestration for the Contemporary Composer*. CRC Press.

- Pelley, Scott, e CBS. 2008. «Harnessing The Power Of The Brain». News. CBS News. 2008. <https://www.cbsnews.com/news/harnessing-the-power-of-the-brain/>.
- Pelley, Scott, e Denise Schrier Cetta. 2008. *Cathy's Brain Power*. Video. 60 Minutes. CBS. <https://www.cbsnews.com/video/cathys-brain-power/>.
- Penfield, Wilder, e Edwin Boldrey. 1937. «Somatic Motor and Sensory Representation in the Cerebral Cortex of Man as Studied by Electrical Stimulation». *Brain* 60 (4): 389–443. <https://doi.org/10.1093/brain/60.4.389>.
- Perani, D., M. C. Saccuman, P. Scifo, D. Spada, G. Andreolli, R. Rovelli, C. Baldoli, e S. Koelsch. 2010. «Functional Specializations for Music Processing in the Human Newborn Brain». *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107 (10): 4758–63. <https://doi.org/10.1073/pnas.0909074107>.
- Pereda, Alberto E. 2014. «Electrical synapses and their functional interactions with chemical synapses». *Nature reviews. Neuroscience* 15 (4): 250–63. <https://doi.org/10.1038/nrn3708>.
- Pereira, Bruno, Dimitris Andrikopoulos, e Horácio Tomé-Marques. 2015. «Quartas Paredes: Performance para presença, voz, mixed media e manipulação de som e imagem em tempo-real». Editado por Vítor Quelhas e José Quinta-Ferreira. *Cadernos IRI: Imagens do Real Imaginado* 1 (1): 14–25.
- Peretz, Isabelle, Elvira Brattico, Miika Järvenpää, e Mari Tervaniemi. 2009. «The Amusic Brain: In Tune, out of Key, and Unaware». *Brain* 132 (5): 1277–86. <https://doi.org/10.1093/brain/awp055>.
- Peretz, Isabelle, e Robert J. Zatorre, eds. 2003. *The Cognitive Neuroscience of Music*. New York: Oxford University Press.
- Pérez, Pedro A. Carrión, Juan Ródenas García, e José Joaquín Rieta Ibáñez. 2007. *Procesado de señales biomédicas*. Univ de Castilla La Mancha.
- Perlovsky, Leonid. 2014. «Aesthetic emotions, what are their cognitive functions?» *Frontiers in Psychology* 5 (Fevereiro). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00098>.
- Peterburs, Jutta, Markus Thürling, Martina Rustemeier, Sophia Göricke, Boris Suchan, Dagmar Timmann, e Christian Bellebaum. 2015. «A Cerebellar Role in Performance Monitoring - Evidence from EEG and Voxel-Based Morphometry in Patients with Cerebellar Degenerative Disease». *Neuropsychologia* 68 (Fevereiro): 139–47. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2015.01.017>.
- Pham, Michel Tuan. 2007. «Emotion and Rationality: A Critical Review and Interpretation of Empirical Evidence.» *Review of General Psychology* 11 (2): 155–78. <https://doi.org/10.1037/1089-2680.11.2.155>.
- Pinguim, Astronauta. 2014. «Astronauta Pinguim: Interview with Richard Teitelbaum». *Astronauta Pinguim* (blog). 20 de Março de 2014. <http://astronautapinguim.blogspot.com/2014/03/interview-with-richard-teitelbaum.html>.
- Ploner, Markus, Joachim Gross, Lars Timmermann, e Alfons Schnitzler. 2006. «Pain Processing Is Faster than Tactile Processing in the Human Brain». *Journal of Neuroscience* 26 (42): 10879–82. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2386-06.2006>.
- Plutchik, Robert. 2001. «The Nature of Emotions». *American Scientist* 89 (4): 344–50. <https://doi.org/10.1511/2001.4.344>.

- Plutchik, Robert, e Hope R. Conte, eds. 1997. *Circumplex Models of Personality and Emotions*. Washington: American Psychological Association.
<http://www.apa.org/pubs/books/4317770.aspx>.
- Posner, Jonathan, James A. Russell, e Bradley S. Peterson. 2005. «The circumplex model of affect: An integrative approach to affective neuroscience, cognitive development, and psychopathology». *Development and psychopathology* 17 (3): 715–34. <https://doi.org/10.1017/S0954579405050340>.
- Postle, B. R., e T. Pasternak. 2009. «Short Term and Working Memory». Em *Encyclopedia of Neuroscience*, editado por Larry R. Squire, 783–89. Oxford: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-008045046-9.00787-7>.
- Prehn, Horst, e Werner Cee. 1994. «Sensible Systeme, Braindrops». Art, Science and Technology. 1994. <http://www.ohnesorg.org/art/foro/braindro.htm>.
- Preziosi, Donald. 2009. *The Art of Art History: A Critical Anthology*. 2.^a ed. Oxford: Oxford University Press.
- Priberam S.A., Informática. 2008. «Música: significado / definição de música no Dicionário Priberam da Língua Portuguesa». 2013 de 2008.
<https://www.priberam.pt/dlpo/m%C3%BAstica>.
- Public Art Fund. 2003. «Mariko Mori: Wave UFO». 2003.
https://www.publicartfund.org/view/exhibitions/5825_wave_ufo.
- Purves, Dale, George J. Augustine, David Fitzpatrick, William C. Hall, Anthony-Samuel LaMantia, James O. McNamara, e S. Mark Williams. 2004. *Neuroscience, 3rd ed.* Neuroscience, 3rd ed. Sunderland, MA, US: Sinauer Associates.
- Purves, Dale, George J. Augustine, David Fitzpatrick, Lawrence C. Katz, Anthony-Samuel LaMantia, James O. McNamara, e S. Mark Williams. 2001. «The Enteric Nervous System». *Neuroscience. 2nd Edition*.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK11097/>.
- Putkinen, Vesa, Tommi Makkonen, e Tuomas Eerola. 2017. «Music-Induced Positive Mood Broadens the Scope of Auditory Attention». *Social Cognitive and Affective Neuroscience* 12 (7): 1159–68. <https://doi.org/10.1093/scan/nsx038>.
- Raichle, Marcus E. 2010. «Two Views of Brain Function». *Trends in Cognitive Sciences* 14 (4): 180–90. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2010.01.008>.
- . 2011. «The Restless Brain». *Brain Connectivity* 1 (1): 3–12.
<https://doi.org/10.1089/brain.2011.0019>.
- Ramachandran, V. S. 2011. *The Tell-Tale Brain: A Neuroscientist's Quest for What Makes Us Human*. New York: W. W. Norton & Company.
<https://www.overdrive.com/search?q=25EDC18A-170F-456D-9BB5-76A117D69267>.
- Rameau, Jean-Philippe. 1722. *Traité de l'harmonie, reduite à ses principes naturels. Divisé en quatre livres: Livre I. Du rapport des raisons & proportions harmoniques. Livre II. De la nature & de la propriété des accords; et de tout ce qui peut servir à rendre une musique parfaite. Livre III. Principes de composition. Livre IV. Principes d'accompagnement*. Paris: De l'Imprimerie de Jean Baptiste Christophe Ballard, Seul Imprimeur du Roy pour la Musique.
<http://archive.org/details/traidelharmon00rame>.
- Rau, P. L. Patrick. 2014. *Cross-Cultural Design: 6th International Conference, CCD 2014, Held as Part of HCI International 2014, Heraklion, Crete, Greece, June 22-27, 2014, Proceedings*. Springer.

- Regt, Henk W. de. 1999. «Ludwig Boltzmann's Bildtheorie and Scientific Understanding». *Synthese* 119 (1–2): 113–34.
<https://doi.org/10.1023/A:1005295304955>.
- Reiss, Joshua D., e Andrew McPherson. 2014. *Audio Effects: Theory, Implementation and Application*. CRC Press.
- Retroclips, _ . 2014. «1971 Pierre Henry - Experimento Música Cerebral - Corticalart - Ondes eléctricas du cerveau France». Youtube. 2014.
<https://www.youtube.com/watch?v=VzRvM64gv-4>.
- Ribas, Guilherme Carvalhal. 2010. «The cerebral sulci and gyri». *Neurosurgical focus* 28 (2): E2.
- Richardson, Ruth. 2009. *The Making of Mr Gray's Anatomy: Bodies, Books, Fortune, Fame*. OUP Oxford.
- Robles, Claudia. 2011. «Creating Interactive Multimedia Works with Biodata». Em *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression - 30 May - 1 June 2011*, 421–24. Oslo, Norway: NIME.
https://www.researchgate.net/publication/254200087_Creating_Interactive_Multimedia_Works_with_Biodata.
- Roederer, Juan G. 2008. *The Physics and Psychophysics of Music: An Introduction*. Springer Science & Business Media.
- Rolls, Edmund. 2015. «Neurobiological foundations of art and aesthetics». Em *Art, Aesthetics, and the Brain*, editado por Joseph P. Huston, Marcos Nadal, Francisco Mora, Luigi Agnati, e Camilo Conde, 453–77. Oxford: Oxford University Press.
- Rose, David, e Colin Blakemore. 1974. «An Analysis of Orientation Selectivity in the Cat's Visual Cortex». *Experimental Brain Research* 20 (1): 1–17.
<https://doi.org/10.1007/BF00239014>.
- Roseboom, W., S. Nishida, e D. H. Arnold. 2009. «The Sliding Window of Audio-Visual Simultaneity». *Journal of Vision* 9 (12): 4–4.
<https://doi.org/10.1167/9.12.4>.
- Rosenboom, David. 1997. *Extended Musical Interface with the Human Nervous System: Assessment and Prospectus*. International Society for the Arts, Sciences and Technology (ISAST). Leonardo Monograph Series 1. Berkeley, Calif.: International Society for the Arts, Sciences and Technology (ISAST).
- Rubin, Michell. 2011. *Netter Neuroanatomia Essencial*. Elsevier Brasil.
- Rubinov, Mikail, e Olaf Sporns. 2010. «Complex Network Measures of Brain Connectivity: Uses and Interpretations». *NeuroImage* 52 (3): 1059–69.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.10.003>.
- Ruffini, G., S. Dunne, E. Farres, I. Cester, P. C. P. Watts, S. Ravi, P. Silva, et al. 2007. «ENOBIO dry electrophysiology electrode; first human trial plus wireless electrode system». Em *2007 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 6689–93.
<https://doi.org/10.1109/IEMBS.2007.4353895>.
- Russ, Martin. 2012. *Sound Synthesis and Sampling*. Taylor & Francis.
- Russell, James. 1980. «A Circumplex Model of Affect». *Journal of Personality and Social Psychology* 39 (6): 1161–78. <https://doi.org/10.1037/h0077714>.
- Sacks, Oliver. 2006. «The Power of Music». *Brain* 129 (10): 2528–32.
<https://doi.org/10.1093/brain/awl234>.
- . 2008. *Musicophilia: Tales of Music and the Brain*. New York: Vintage Books.

- Saint-Dizier, Patrick. 2014. *Musical Rhetoric: Foundations and Annotation Schemes*. John Wiley & Sons.
- Sandin, Dan. 2003. «Dan Sandin BIO». Electronic Visualization Research. Electronic Visualization Laboratory. 2003. <https://www.evl.uic.edu/dan/bio.html>.
- Sanei, Saeid, e J. A. Chambers. 2007. *EEG Signal Processing*. John Wiley & Sons.
- Scalf, Paige E., Ana Torralbo, Evelina Tapia, e Diane M. Beck. 2013. «Competition explains limited attention and perceptual resources: implications for perceptual load and dilution theories». *Frontiers in Psychology* 4 (Maio). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00243>.
- Scataglini, Sofia. 2017. «Effect of Rhythmic Music Auditory Stimulation On Tics Modulation in Tourette Syndrome: A Case Study». *Open Access Journal of Neurology & Neurosurgery* 5 (5). <https://doi.org/10.19080/OAJNN.2017.05.555673>.
- Scherer, K. R. 2005. «What Are Emotions? And How Can They Be Measured?» *Social Science Information* 44 (4): 695–729. <https://doi.org/10.1177/0539018405058216>.
- Schilling, Alfons. 1967. «Alfons Schilling, 9 Evenings: Theatre and Engineering, 1967». Art, Science and Technology. 9 Evenings: Theatre and Engineering. 1967. <http://www.fondation-langlois.org/html/e/media.php?NumObjet=44080>.
- Schlaug, Gottfried, Andrea Norton, Sarah Marchina, Lauryn Zipse, e Catherine Y Wan. 2010. «From singing to speaking: facilitating recovery from nonfluent aphasia». *Future neurology* 5 (5): 657–65.
- Schmahmann, J. D., e J. C. Sherman. 1998. «The Cerebellar Cognitive Affective Syndrome». *Brain: A Journal of Neurology* 121 (Pt 4) (Abril): 561–79.
- Schmahmann, Jeremy D. 1998. «Dysmetria of thought: clinical consequences of cerebellar dysfunction on cognition and affect». *Trends in Cognitive Sciences* 2 (9): 362–71. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(98\)01218-2](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(98)01218-2).
- Schneider, Mary-Jane, Joseph J. Fins, e Jonathan R. Wolpaw. 2012. «Ethical Issues in BCI Research». Em *Brain-Computer Interfaces: Principles and Practice*, editado por Jonathan R. Wolpaw e Elizabeth Winter Wolpaw, 373–83. New York: Oxford University Press.
- Schopenhauer, Arthur. 1819. *Die Welt als Wille und Vorstellung*. Leipzig: F. A. Brockhaus. https://archive.org/details/bub_gb_0HsPAAAAQAAJ/page/n743.
- Schubert, Emery. 2010. «Continuous Self-Report Methods». Em *Handbook of Music and Emotion: Theory, Research, Applications*, 976. Oxford: Oxford University Press. <http://oxfordindex.oup.com/view/10.1093/acprof:oso/9780199230143.003.0009>, <http://oxfordindex.oup.com/view/10.1093/acprof:oso/9780199230143.003.0009>.
- Seligman, Adam Ward, e John S. Hilkevich. 1992. *Don't Think about Monkeys: Extraordinary Stories by People with Tourette Syndrome*. Hope Press.
- Seneca, Lucius Annaeus. 1869. *Oeuvres Complètes de Sénèque Le Philosophe*. Traduzido por M. Nisard. Paris: Chez Firmin Didot Frères, Fils et Cie, Libraire. <http://archive.org/details/LesOeuvresPhilosophiquesDeSenequePhilosophicalWorksOfSenecaInLatin>.
- Shelley, James. 2017. «The Concept of the Aesthetic». Em *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, editado por Edward N. Zalta, Winter 2017. Metaphysics Research Lab, Stanford University. <https://plato.stanford.edu/archives/win2017/entries/aesthetic-concept/>.

- Shelton, Jose, e Gideon Praveen Kumar. 2010. «Comparison between Auditory and Visual Simple Reaction Times». *Neuroscience & Medicine* 01 (01): 30–32. <https://doi.org/10.4236/nm.2010.11004>.
- SIGGRAPH. 2009. «Claudia Robles: INsideOUT». ACM SIGGRAPH ART SHOW ARCHIVES. 2009. <https://digitalartarchive.siggraph.org/artwork/claudia-robles-insideout/>.
- Silva Jr, J. A. Caetano da. 1945. «Aplicações do curare em neuro-psiquiatria». *Arquivos de Neuro-Psiquiatria* 3 (4): 467–71. <https://doi.org/10.1590/S0004-282X1945000400010>.
- Simonov, P. V. 1986. *The Emotional Brain: Physiology, Neuroanatomy, Psychology, and Emotion*. New York: Springer Science + Business Media, LLC.
- Sinclair, Nathalie. 2004. «The Roles of the Aesthetic in Mathematical Inquiry». *Mathematical Thinking and Learning* 6 (3): 261–84. https://doi.org/10.1207/s15327833mtl0603_1.
- Sklar, A. Y., N. Levy, A. Goldstein, R. Mandel, A. Maril, e R. R. Hassin. 2012. «Reading and Doing Arithmetic Nonconsciously». *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109 (48): 19614–19. <https://doi.org/10.1073/pnas.1211645109>.
- Smith, Peter Andrey. 2015. «The Tantalizing Links between Gut Microbes and the Brain». *Nature News* 526 (7573): 312. <https://doi.org/10.1038/526312a>.
- Snider, Hart. 2010. «Oboro.Tv - Neam Cathod». Video. Vimeo. 2010. <https://vimeo.com/10219914>.
- Spence, Charles, e Sarah Squire. 2003. «Multisensory Integration: Maintaining the Perception of Synchrony». *Current Biology* 13 (13): R519–21. [https://doi.org/10.1016/S0960-9822\(03\)00445-7](https://doi.org/10.1016/S0960-9822(03)00445-7).
- Sporns, Olaf. 2010. *Networks of the Brain*. MIT Press.
- Spring, Glenn, e Jere Hutcheson. 2013. *Musical Form and Analysis: Time, Pattern, Proportion*. Waveland Press.
- Squire, Larry R. 2009. «Memory and Brain Systems: 1969–2009». *Journal of Neuroscience* 29 (41): 12711–16. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3575-09.2009>.
- Squire, Larry R., e Adam J. O. Dede. 2015. «Conscious and Unconscious Memory Systems». *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology* 7 (3): a021667. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a021667>.
- Srinivasan, Ramesh. 2012. «Acquiring Brain Signals from Outside the Brain». Em *Brain-Computer Interfaces: Principles and Practice*, editado por Jonathan R. Wolpaw e Elizabeth Winter Wolpaw, 105–22. New York: Oxford University Press.
- Stakhov, Alexey. 2009. *The Mathematics of Harmony: From Euclid to Contemporary Mathematics and Computer Science*. World Scientific.
- Standring, Susan. 2010. *Gray's Anatomia 40a Edição*. Elsevier Brasil.
- . 2015. *Gray's Anatomy E-Book: The Anatomical Basis of Clinical Practice*. Elsevier Health Sciences.
- Sternin, Avital. 2016. «Classifying music perception and imagination using EEG». <http://ir.lib.uwo.ca/etd/3769/>.
- Sullivan, Edith V. 2010. «Cognitive Functions of the Cerebellum». *Neuropsychology review* 20 (3): 227–28. <https://doi.org/10.1007/s11065-010-9144-8>.
- Suppes, Patrick. 2002. *Representation and Invariance of Scientific Structures*. Stanford: CSLI Publications.

- Synth Media, _ . 2017. «Ohm +: The Early Gurus of Electronic Music». Encyclotronic, Electronic Music Archive (Beta). 2017. <https://encyclotronic.com/movies/documentary/ohm-the-early-gurus-of-electronic-music-r63/>.
- Taliano des Garets, Françoise. 2014. «Festival Sigma : de la création à l'archive». Culture, Science, Phylosophy. *Rue89 Bordeaux* (blog). 2014. <https://rue89bordeaux.com/2014/02/sigma-creation-archive/>.
- Tan, Desney S., e Anton Nijholt, eds. 2010. *Brain-Computer Interfaces: Applying our Minds to Human-Computer Interaction*. Human-Computer Interaction Series. London: Springer. <http://link.springer.com/10.1007/978-1-84996-272-8>.
- Teitelbaum, Richard. 1975. «In Tune: Some Early Experiments in Biofeedback Music (1966-74)». Em *Biofeedback and the Arts, Results of Early Experiments*, editado por David Roseboom, 35–56. Vancouver: Aesthetic Research Center of Canada. <http://inside.bard.edu/teitelbaum/writings/biofeedback.pdf>.
- . 2006. «Improvisation, computers and the unconscious mind». *Contemporary Music Review* 25 (5–6): 497–508. <https://doi.org/10.1080/07494460600990026>.
- Thaut, Michael H., Pietro Davide Trimarchi, e Lawrence M. Parsons. 2014. «Human Brain Basis of Musical Rhythm Perception: Common and Distinct Neural Substrates for Meter, Tempo, and Pattern». *Brain Sciences* 4 (2): 428–52. <https://doi.org/10.3390/brainsci4020428>.
- The Editors of Encyclopaedia Britannica. 1998. «Alexander Gottlieb Baumgarten | German Philosopher». Em *Encyclopedia Britannica*, Online. Chicago: Encyclopædia Britannica, Inc. <https://www.britannica.com/biography/Alexander-Gottlieb-Baumgarten>.
- «The Nobel Prize in Physics 1936». sem data. Acedido 26 de Janeiro de 2016. http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1936/index.html.
- Thompson, P. D., J. G. Colebatch, P. Brown, J. C. Rothwell, B. L. Day, J. A. Obeso, e C. D. Marsden. 1992. «Voluntary Stimulus-Sensitive Jerks and Jumps Mimicking Myoclonus or Pathological Startle Syndromes». *Movement Disorders: Official Journal of the Movement Disorder Society* 7 (3): 257–62. <https://doi.org/10.1002/mds.870070312>.
- Thompson, Richard F., e Michael M. Patterson. 1974. *Bioelectric Recording Techniques: Electroencephalography and Human Brain Potentials*. Academic Press.
- Tipper, Christine M., Giulia Signorini, e Scott T. Grafton. 2015. «Body language in the brain: constructing meaning from expressive movement». *Frontiers in Human Neuroscience* 9 (Agosto). <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00450>.
- Tomé-Marques, Horácio, e Miguel Carvalhais. 2017. «I Will Play The Electric Brain: The Manipulation of the Brain's Electric Capacity, and Clusters, Through Sensing and Imagination, to Synthesize Sound Entities.» Em *16º Encontro Internacional de Arte e Tecnologia: #16ART: Artis intelligentia: Imaginar o Real: Livro de Atas*, 100–111. Porto: i2ADS - Instituto de Investigação em Arte, Design e Sociedade.
- Tomé-Marques, Horácio, João Meneses, Bruce Pennycook, e Miguel Carvalhais. 2014. «From the unseen to the s[cr]een: EshoFuni, an approach towards real-time representation of brain data». Em *xCoAx 2014: Proceedings of the Second Conference on Computation, Communication, Aesthetics and X*, 333–42. Porto: Universidade do Porto. <http://2014.xcoax.org/pdf/xcoax2014-Tome-Marques.pdf>.

- Tomé-Marques, Horácio, João Menezes, Bruce Pennycook, e Miguel Carvalhais. 2014. «From the unseen to the s[cr]een: EshoFuni, an approach towards real-time representation of brain data». <http://2014.xcoax.org/pdf/xcoax2014-Tome-Marques.pdf>.
- Tomé-Marques, Horácio, Bruce Pennycook, e Miguel Carvalhais. 2014. «Brain: the ultimate enactive interface?» Em *ICLI 2014, INTER-FACE: International Conference on Live Interfaces*, editado por Adriana Sá, Miguel Carvalhais, e Alex McLean, 231–40. Lisboa: Universidade do Porto, Universidade Nova, Universidade de Sussex.
- Tomlinson, Zachary. 2018. «Mind-Hunting: Could Your Brain Be a Target For Hackers». *Engineering and Science News*. Interesting Engineering. 20 de Novembro de 2018. <https://interestingengineering.com/mind-hunting-could-your-brain-be-a-target-for-hackers>.
- Tsakiris, Manos, Simone Schütz-Bosbach, e Shaun Gallagher. 2007. «On Agency and Body-Ownership: Phenomenological and Neurocognitive Reflections». *Consciousness and Cognition* 16 (3): 645–60. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2007.05.012>.
- Tufte, Edward R. 1986. *The Visual Display of Quantitative Information*. Cheshire, CT, USA: Graphics Press.
- Tulving, Endel, e Fergus I. M. Craik. 2005. *The Oxford Handbook of Memory*. Oxford University Press.
- Vail, Mark. 2014. *The Synthesizer: A Comprehensive Guide to Understanding, Programming, Playing, and Recording the Ultimate Electronic Music Instrument*. Oxford University Press.
- Van Essen, David C., James W. Lewis, Heather A. Drury, Nouchine Hadjikhani, Roger BH Tootell, Muge Bakircioglu, e Michael I. Miller. 2001. «Mapping visual cortex in monkeys and humans using surface-based atlases». *Vision research* 41 (10): 1359–1378.
- Vandenabeele, Bart. 2012. *A Companion to Schopenhauer*. John Wiley & Sons.
- Vesalii, Andreae. 1543. *Andreae Vesalii, ... de Humani corporis fabrica libri septem...* Bâle : J. Oporinum. http://archive.org/details/BIUSante_00302_1543.
- Vidal, Jacques J. 1973. «Toward Direct Brain-Computer Communication». *Annual Review of Biophysics and Bioengineering* 2: 157–80. <https://doi.org/10.1146/annurev.bb.02.060173.001105>.
- Walker, Jonathan E., Gerald P. Kozlowski, e Robert Lawson. 2007. «A Modular Activation/Coherence Approach to Evaluating Clinical/QEEG Correlations and for Guiding Neurofeedback Training: Modular Insufficiencies, Modular Excesses, Disconnections, and Hyperconnections». *Journal of Neurotherapy* 11 (1): 25–44. https://doi.org/10.1300/J184v11n01_03.
- Wallace, R. Jay. 2014. «Practical Reason». Em *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, editado por Edward N. Zalta, Spring 2014. Metaphysics Research Lab, Stanford University. <https://plato.stanford.edu/archives/spr2018/entries/practical-reason/>.
- Wallin, Nils Lennart, e Björn Merker. 2001. *The Origins of Music*. Massachusetts: MIT Press.
- Walter, W. Grey. 1953. *The Living Brain*. Norton.
- . 1957. «The Brain as a Machine». *Proceedings of the Royal Society of Medicine* 50 (10): 799.

- Walter, W. Grey, e H. W. Shipton. 1951. «A new toposcopic display system». *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 3 (3): 281–92.
- Ward, Lawrence M. 2003. «Synchronous Neural Oscillations and Cognitive Processes». *Trends in Cognitive Sciences* 7 (12): 553–59.
- Ware, Colin. 2013. *Information Visualization: Perception for Design*. Waltham: Morgan Kaufmann Publishers, Elsevier.
- Warnier, Isabelle. 2013. «Pierre Henry». IRCAM, Brahms. IRCAM, Brahms. 2013. <http://brahms.ircam.fr/composers/composer/1611/>.
- Watson, David, Lee A. Clark, e Auke Tellegen. 1988. «Development and validation of brief measures of positive and negative affect: the PANAS scales.» *Journal of personality and social psychology* 54 (6): 1063.
- Weinstein, Galina. 2015. *Einstein's Pathway to the Special Theory of Relativity*.
- Will, Udo, e Eric Berg. 2007. «Brain Wave Synchronization and Entrainment to Periodic Acoustic Stimuli». *Neuroscience Letters* 424 (1): 55–60. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2007.07.036>.
- Willyard, Cassandra. 2018. «Could Baby's First Bacteria Take Root before Birth?» *Nature* 553 (Janeiro): 264. <https://doi.org/10.1038/d41586-018-00664-8>.
- Wilson, Nigel. 2013. *Encyclopedia of Ancient Greece*. Routledge.
- Wilson, Robert, e Lucia Foglia. 2015. «Embodied Cognition». Em *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, editado por Edward N. Zalta, Spring 2015. Metaphysics Research Lab, Stanford University. <https://plato.stanford.edu/archives/spr2017/entries/embodied-cognition/>.
- Winkielman, Piotr, e Kent C Berridge. 2004. «Unconscious Emotion». *Current Directions in Psychological Science* 13 (3): 120–23.
- Winkielman, Piotr, Kent C. Berridge, e Shlomi Sher. 2011. *Emotion, Consciousness, and Social Behavior*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780195342161.013.0012>.
- Winkler, Irene, Mark Jäger, Vojkan Mihajlovic, e Tsvetomira Tsoneva. 2010. «Frontal EEG asymmetry based classification of emotional valence using common spatial patterns». *World Academy of Science, Engineering and Technology* 45: 373–378.
- Witelson, Sandra F., Debra L. Kigar, e Thomas Harvey. 1999. «The Exceptional Brain of Albert Einstein». *The Lancet* 353 (9170): 2149–53. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(98\)10327-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(98)10327-6).
- Wolman, David. 2012. «The split brain: A tale of two halves». *Nature News* 483 (7389): 260. <https://doi.org/10.1038/483260a>.
- Wolpaw, Jonathan R., Niels Birbaumer, Dennis J. McFarland, Gert Pfurtscheller, e Theresa M. Vaughan. 2002. «Brain-Computer Interfaces for Communication and Control». *Clinical Neurophysiology: Official Journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology* 113 (6): 767–91.
- Wolpaw, Jonathan R., e Elizabeth Winter Wolpaw. 2012. *Brain-Computer Interfaces: Principles and Practice*. New York: Oxford University Press.
- Wolpe, Paul R. 2007. «Ethical and Social Challenges of Brain-Computer Interfaces». *AMA Journal of Ethics* 9 (2): 128–31. <https://doi.org/10.1001/virtualmentor.2007.9.2.msoc1-0702>.
- Woodruff, Jeremy. 2011. «Music for Solo Performer by Alvin Lucier in an Investigation of Current Trends in Brainwave Sonification». http://www.academia.edu/2591068/Music_for_Solo_Performer_by_Alvin_Lucier_in_an_Investigation_of_Current_Trends_in_Brainwave_Sonification.

- Worthington, Arthur Mason. 1908. *A Study of Splashes*. London: Longmans, Green, and CO. <http://www.gutenberg.org/ebooks/39831>.
- Wright, Matthew, e Adrian Freed. 1997. «Open Sound Control: A New Protocol for Communicating with Sound Synthesizers». 1997.
- Wurtz, Robert H., e Eric R. Kandel. 2000. «27 Central visual pathways». Em *Principles of neural science*, 4:523–545. http://www.weizmann.ac.il/neurobiology/labs/ulanovsky/sites/neurobiology.labs.ulanovsky/files/uploads/kandel_ch27_ch28_visioncentralmotiondepthform.pdf.
- Wyczesany, Mirosław, Szczepan J. Grzybowski, Robert J. Barry, Jan Kaiser, Anton M. L. Coenen, e Anna Potoczek. 2011. «Covariation of EEG Synchronization and Emotional State as Modified by Anxiolytics». *Journal of Clinical Neurophysiology: Official Publication of the American Electroencephalographic Society* 28 (3): 289–96. <https://doi.org/10.1097/WNP.0b013e31821c34f7>.
- Zander, Thorsten O., Christian Kothe, Sabine Jatzew, e Matti Gaertner. 2010. «Enhancing Human-Computer Interaction with Input from Active and Passive Brain-Computer Interfaces». Em *Brain-Computer Interfaces*, 181–99. Human-Computer Interaction Series. Springer, London. https://doi.org/10.1007/978-1-84996-272-8_11.
- Zotev, Vadim, Han Yuan, Masaya Misaki, Raquel Phillips, Kymberly D. Young, Matthew T. Feldner, e Jerzy Bodurka. 2016. «Correlation between amygdala BOLD activity and frontal EEG asymmetry during real-time fMRI neurofeedback training in patients with depression». *NeuroImage: Clinical* 11 (Janeiro): 224–38. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2016.02.003>.
- Zottoli, Steven J. 2001. «The origins of the Grass Foundation». *The Biological Bulletin* 201 (2): 218–226.
- Zuidervaart, Lambert. 2003. «Theodor W. Adorno», Maio. <https://plato.stanford.edu/entries/adorno/?PHPSESSID=4afdf42d571d902de7a85694703fc77d#4>.

17 ANEXOS

17.1.1 HoMy_EmoRAW

No decorrer de um percurso de investigação deparamo-nos, várias vezes, com a falta de ferramentas, nomeadamente ao nível do software, que deveriam responder a problemas específicos da investigação e das implementações projetuais. Para contornar estas barreiras, a única solução foi, por vezes, criar e produzir novas ferramentas.

HoMy_EmoRAW é uma aplicação criada exatamente para contornar uma lacuna de software, ou mais propriamente, um problema específico de acesso e transporte inter-software aos dados em bruto da interface da Emotiv, que eram uma abstração numérica representativa do microvolt, enquanto unidade elétrica base do sinal eletrofisiológico cerebral. A implementação foi realizada em Java derivada e baseada em ficheiros exemplo que eram instalados com o Emotiv Epc Research SDK, aos quais adicionámos a implementação OSC e uma interface original, nossa, que perseguiu simplicidade de utilização.

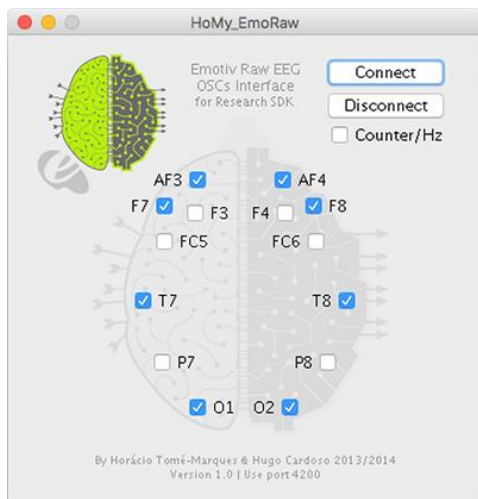


Fig. 87: HoMy_EmoRAW.

Interface da aplicação na versão para sistema Mac OS X da Apple.

Permite o acesso aos dados brutos/crus das interfaces cérebro-computador da Emotiv, na sua versão Research, e a sua transferência em tempo real, via protocolo Open Sound Control, para outras aplicações habilitadas a comunicar com este protocolo.

Os primeiros passos da criação e uso dos mecanismos incluídos na aplicação, no contexto da investigação, deram-se ainda em 2013. Mas até à sua publicação efetiva passou por uma série de etapas e também procedimentos protocolados pela Emotiv: proposta inicial, discussão de capacidades, sugestões de implementação, testes alfa, testes beta, testes públicos, revisões, validação dos departamentos de testes e do sistema de qualidade, autorizações finais e publicação definitiva no portal em linha da Emotiv³²⁶.

A aplicação foi realizada em colaboração com Hugo Cardoso, à altura estudante do Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

³²⁶ HoMy_EmoRAW esteve disponível no portal/loja em linha da Emotiv, mas, entretanto, deixou de estar acessível à generalidade das pessoas e clientes — só a quem a desenvolveu e mantinha o registo atualizado. A companhia alterou, várias vezes, os seus pressupostos de desenvolvimento e relação com os investigadores e desenvolvedores. Depreendemos que foi esse o motivo pelo qual a esta passou a não disponibilizar HoMy_EmoRAW ao público geral.

17.1.2 Outros resultados

Outros conteúdos, projetos e objetos relevantes gerados na prática da investigação, anotados e comentados para contextualização.

Tomé-Marques, Horácio. 2013. «Music, Reason and/or Emotion?» [Resumo] Em *3rd International Conference on Music & Emotion (ICME3), Jyväskylä, Finland, 11th - 15th June 2013*, editado por Geoff Luck e Olivier Brabant, 32. Jyväskylä: University of Jyväskylä, Department of Music.

Tomé-Marques, Horácio. 2013. «Sound oscillations or brain self dynamics on music ornaments?» [Resumo Poster] Em *3rd International Conference on Music & Emotion (ICME3), Jyväskylä, Finland, 11th - 15th June 2013*, editado por Geoff Luck e Olivier Brabant, 94. Jyväskylä: University of Jyväskylä, Department of Music.

Após a primeira fase de estudos de estado-da-arte e das primeiras experiências laboratoriais, o tema da investigação não só se mostrou mais claro e definido, incluindo em termos de hipótese de percurso de investigação, como potenciou e proporcionou também os primeiros textos/posters derivados dos respetivos estudos e análises das experiências, acabando este candidato a conferências, como foi o caso dos dois títulos acima publicados nas atas do 3rd International Conference on Music & Emotion (ICME3), University of Jyväskylä, Finland, 2013.

Tomé-Marques, Horácio e Miguel Carvalhais. 2013. «A portable brain interface that visually communicates autonomously.» Poster submetido a xCoAx 2013: First Conference on Computation, Communication, Aesthetics and X. 27-28 junho 2013. Bergamo, Itália.

A conceção deste dispositivo tinha como objetivo principal implementar uma interface EEG/BCI com características tais como visualização de processos do cérebro via representação por iluminação — variação de cor e luminância — usando LEDs incrustados na própria interface.

Tomé-Marques, Horácio. 2013. MAC@rt. Um MBT, Monitor de Batimentos Cardíacos que permite a monitorização visual, em tempo-real, à distância. Porto, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, INESC TEC, UT Austin Portugal.

Para além dos potenciais elétricos do cérebro, também nos interessamos pelos potenciais eletrofisiológicos na sua generalidade. Por esse motivo e seguindo também conselhos dos responsáveis pela orientação da nossa investigação, que nos levaram a equacionar a hipótese de não usar exclusivamente aparelhos EEG, realizámos um protótipo de um monitor de batimentos cardíacos por via de sinais luminosos — variação de cor e luminância —, baseado em LEDs. Foi desenvolvido com o apoio e colaboração INESC TEC, Unidade de Telecomunicações e Multimédia (UTM), através de José Machado da Silva, Professor Associado, e Ruben Dias, Bolseiro. Foram produzidos dois protótipos para

testes, análise e revisão e dois protótipos, com revisões que observavam as conclusões dos testes, para demonstração. O dispositivo foi apresentado no contexto da mostra *UTM Open Day 2013*, evento promovido pela UTM.

17.1.3 Outros projetos

A experiência da investigação e prática envolvendo os processos do cérebro e tecnologias de EEG foi capitalizada noutras iniciativas e projetos.

Tomé-Marques, Horácio, Francisco Marques-Teixeira, João Dias Andrade e João Marques-Teixeira. 2017. Dispositivo modular para registo e processamento da atividade eletrofisiológica. Processo de invenção nacional nº 110079.

Interface EEG/BCI modular. Projeto de investigação e desenvolvimento com apoio IAPMEI Portugal 2020. Coinventores/coautores. Responsabilidade: design e arquitetura de sistema.

Marques-Teixeira, Francisco, Horácio Tomé-Marques, João Andrade e João Marques-Teixeira. 2017. «Multi-Modal Integrated Mini-QEEG Solution with Results, Training Protocols and Neurofeedback in Real-time». Em *NEUROTECHNIX 2017 - Extended Abstracts NEUROTECHNIX 2017*, páginas 5-9.

Associação Portuguesa de Neurofeedback e Neurotecnologia, APNF, pessoa coletiva 513407600, associação sem fins lucrativos. 2015.

Cofundador e membro. A APNF tem como objetivos promover, implementar, executar e divulgar teorias, investigação científica e práticas no campo da aplicação do neurofeedback e da inovação em neurotecnologia.

Tomé-Marques, Horácio e Francisco Marques-Teixeira. 2017. «Neurofeedback and Glimpses of the Future». Experiência neurofeedback e neuroecnologia ao vivo. Conferência Research & Innovation – Shaping our Future, 3 de Julho 2017, Auditório Carlos Magno, Comissão Europeia, Bruxelas, Bélgica.

Entre as várias participações em vários eventos em vários locais europeus, é relevante destacar este projeto pelo facto de ter sido apresentado numa das conferências mais significativas sobre investigação e inovação na Europa, organizada pela Comissão Europeia. Integrado na atividade *Glimpses of the Future*, com curadoria de Michela Magas, consistiu num jogo participativo baseado em EEG e gráficos 3D, programado em Max. Foi “jogado” por dois participantes que usavam interfaces EEG/BCI Muse, da Interaxon Inc. — Carlos Moedas, Comissário Europeu para a Investigação, Ciência e Inovação, e Pascal Lamy, presidente do High Level Group e ex-presidente da Organização Mundial do Comércio —, e um terceiro, — Katrina Sichel —, moderadora, enquanto elemento disruptivo. Fatores como atenção / desatenção dos participantes, provocados pelas perguntas da moderadora e pelo contexto, alteravam os gráficos 3D em tempo real.



EXTENDED ABSTRACT OF THE DOCTORAL DISSERTATION

MUSIC, REASON AND/OR EMOTION

*Contributions in the field of Digital Media,
specialisation in Creation of Interactive Audiovisual Contents,
for interactive real-time representation of brain behaviour during artistic practice
by means of EEG/BCI devices.*

Horácio Tomé Marques

Digital Media Doctoral Program

Advisor: Miguel Carvalhais
Coadvisor: Bruce Pennycook

August 2019



1 INTRODUCTION

This document is a brief description of *Music, Reason and/or Emotion*, a doctoral research project contributing to real-time interactive representation of brain behaviour during artistic practice, by analysing the brain's electrical impulses through non-invasive electroencephalography/ brain-computer interface (EEG/ BCI), a technology allowing for direct communication between the brain and an external device.

A multidisciplinary and collaborative project, it is based on two pillars — a supporting one drawing from the neurosciences, and a fundamental one founded on art. It takes music, reason and emotion — in the sense of stimulus, performance and reaction — as starting points to study, reflect on and critically think about the brain as a dynamic rational and sensory system within the ecologic context of artistic manifestation. The key consideration, however, extends from art to human beings, problematising them as organisms capable of creating technology and fitted with a number of complex mechanisms, particularly an acting brain that allows them to modify habitats.

The artist's stage is therefore taken as a laboratory, where those behaviours, concerns and manifestations are shown. By analogy, the research refers to other, scientific, technological and artistic, stages of human performance, while pointing out the, not always compatible, need to objectively express brain behaviour, as well as to impregnate implicit arguments inviting thought and showing human behaviour and the human impact on surrounding ecologies.

Specific original contributions in the ambit of this work comprise five art projects, briefly analysed according to their conceptual and technical dimensions and to their results. Two other projects, of technoscientific nature, are mentioned, as they supported the validation of the EEG/ BCI technology employed.

2 RELEVANT DEFINITIONS

Within the ambit of this research, *Music*, or sounds, as an ubiquitous ingredient in performing contexts and as a potential activator of almost all known areas of the brain, must not be understood literally, but rather as a *superstimulus*. The notion of superstimulus derives from the idea that, when there is a high number of competing *stimuli*, an exceptional number of processes may take place, with a significant additional impact on sensory, perception and decision-making mechanisms (Scalf *et al.* 2013; Baars & Gage 2007). *Reason* must be understood as volition, or, in other words, as an intentional and deliberate process independent

from any stimulus and capable of cancelling the execution of a previously intended action (Wallace 2014). Finally, *Emotion(s)* must be understood as reactions of the brain to certain stimuli and contextual changes. As argued by Damásio (2001), these reactions are manifested through the body, even though they may or may not be observable by the naked eye, and the subject may or may not be aware of them.

3 CONTEXTS AND ACTS

Any live art performing act is based on a dynamic, organised, rational and sensory behaviour, in which several mechanisms interact through multiple and complex real-time realisations and decisions. It triggers emotional phenomena, often undetected at a conscious level, and calls for volitional, conscious, deliberate and arbitrary processes, the combination of which may affect the act itself. But the performing act, taking place with the performer(s) and the audience as brain-entities inhabiting that particular act, is also a participatory event in which all share and synergically feed a number of interconnected space-time events, that is, within the context of its consubstantiation, the ecology of the stage where the act takes place.

It is here argued that this context, where participants and events may be autonomous as pre-arranged ingredients, or contingent, mutually interfering in permanent and ubiquitous stimulation, is the stimulus itself. Or, better, it is a *superstimulus* of dynamic configuration, generating spontaneous and/ or induced narratives, controlled and/ or manipulated through the space-time chronology of the event, and impossible to break down in their simultaneity.

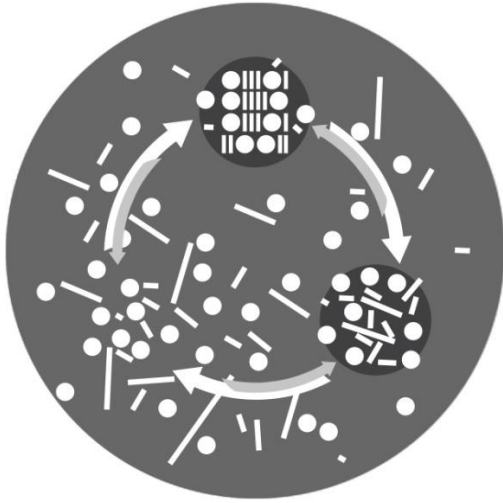


Fig. 1: Context, constituents and events.

Conceptual abstraction of participatory context and constituents, 2015. The dynamics of a performing context creates a synergy capable of exerting an influence on the act itself and on the performing characterisation. The main circle containing disperse elements represent the global context; the upper circle with more organised elements represents the performer; the right circle represents the performing manifestation.

The fundamental choice of art as the anchor for this work is related to the presence of the stage, a constant feature in our relationship with the arts, which have always led to introspection as well as to speculation about brain processes, human behaviour, the relationship with technology and contexts, and responsibility for one's actions.

4 PRELIMINARY QUESTIONS

Several questions converged on a single multidimensional problem of simultaneous representation, which had to take into account: a) rational acts and emotional experiences communicated directly from the brain to their representations, that is, which do not use the body as a means of representation; b) the contextual ecology where these acts and experiences take place; c) scientific clarity; d) artistic and philosophical substance bearing implicit arguments, which might encourage reflection on the human being, human ecology and the impact of human actions.

Literature review showed previous research dealing with some scientific and artistic initiatives to study emotions and volitional processes through external representation. Those works, however, did not explore the possibility of simultaneously using the ubiquity and multimodality of those phenomena within the

contexts where they take place, while considering the contexts and their ecologies, in order to create interactive audiovisual contents.

5 STATE OF THE ART

The same literature review revealed a vast documental corpus, both historical and contemporary, dealing with different aspects of the brain, including its architecture, functioning and electrical activity, as well as with electroencephalography.

Scientific research related to the electrophysiology of the brain, starting with the pioneering experiments conducted by Hans Berger in the 1920s, has shown that this activity may be recorded, transduced, broken down and individually identified as frequency bands and correlative amplitudes, in order to signal and classify certain mental states and behaviours, such as emotions and motor execution, as well as used for EEG-based prosthetic control (Wolpaw & Wolpaw 2012).

From a functional perspective, the brain is divided into areas, (apparently) dedicated to certain actions or reactions. There are areas, for instance, involved in processing sensory signals from the fingers, or, conversely, controlling their movements, all of which is translated into electrical oscillations (Mackay 2011; Penfield & Boldrey 1937). By mapping these areas, it was then possible to create brain atlases for EEG, demarcating areas involved in certain active or reactive behaviours (Niedermeyer & Silva 2005; Jasper 1958). The fact that many behaviours do not depend on a single neuronal ensemble but on the correlation of several led to the crucial choice of a multi-channel EEG interface.

The documental body also showed a variety of paradoxes, idiosyncratic positions and misconceptions, concerning both the physiology and functioning of the brain, and technological aspects, particularly the limitations of the EEG for the precise location of the electrical genesis (Nunez & Srinivasan 2006). In addition, forms of representation and/or models were found, either of scientific or artistic nature, together with the reasons for being proposed as either objective or subjective models, or as decoders or encoders of reality and of phenomena (Frigg & Nguyen 2017; Elgin 2010).

The analysis of art projects led to figures like Alvin Lucier, who composed the first musical piece using EEG, or Edmond Dewan, a scientist and engineer who used EEG systems as actuators (Kahn 2013; Woodruff 2011). Some more recent projects include those by Mariko Mori, Multimodal Brain Orchestra and

Claudia Robles Angel (Public Art Fund 2003; Palmer 2009; Robles 2011). Many of them, however, used interfaces of limited multimodal possibilities.

By the end of the 2000s, the Emotiv multi-channel interface opened new doors for project design and materialisation, such as the Global Mind Project: Spectacle of the Mind (Casey 2010), one of the first initiatives using the new interface. After going through all that material, however, it was concluded that the development of projects using these systems was either rudimentary or residual, and did not comply with the premises put forward in this thesis.

6 TECHNO-SCIENTIFIC PROJECTS¹

The literature was also insufficient to validate the interface. Consequently, proper conditions for its validation had to be created. One of the experiences designed for that purpose was based on the system's presupposed capacity to detect emotional reactions based on the Alpha Asymmetry canonical paradigm. According to this, emotional activity produced by exposure to stimuli may be detected by analysing the asymmetry of the interhemispheric electrical amplitude of the prefrontal cortex in the Alpha band (8 Hz - 12 Hz) — right minus left Alpha power may suggest emotional processing (Coan & Allen 2004; Du & Lee 2015).

The other experiments had to do with volition. In some of them, a dimension was used effectively to, for example, make a device work or stop according to a higher or lower degree of concentration. But it was necessary to go a step forward and obtain multi-actuation as provided by volition. Several studies and systematic training were carried out to test AI algorithms, exploring some ideas and strategies in order to deliberately "manipulate" changes in the brain's electrical activity. The relevance of some results was reassuring and paved the way for their use in the development of this research work.

7 ART PROJECTS, TECHNICAL SUMMARY

The art projects were produced mainly using Max², a visual programming software used by a large community of multimedia developers. It is based on a data-flow system using interconnected objects that make up a whole. The interface

¹ The following account of the techno-scientific and art projects are only a summary of their key aspects. The dissertation contains more detailed descriptions of each.

² Max is a visual programming platform to create apps and projects related to interactive multimedia arts (<https://cycling74.com>).

used was Emotiv EPOC, academic research license, as its 14-channel portable EEG had the potential to cover all the necessary dimensions for the detection of emotional reactions and for the instrumental use of volitional processes³.

In order to calculate frontal Alpha Asymmetry, an app was devised based on the Alpha Asymmetry paradigm. IRCAM⁴'s MnM libraries, "*Mapping is not Music*", provided objects which were used as band-stop or band-pass filters in order to identify relevant frequency-bands.

8 ART PROJECTS

8.1 EshoFuni

EshoFuni was the first material product of the project to be discussed in a conference communication, namely at the 2014 xCoAx (Tomé-Marques et al. 2014). It approaches brain data representation by means of a virtual physics system and raw EEG data. *EshoFuni* invites reflection on representation methodologies and techniques based on a variety of strategies, conventions and purposes, as well as on the constraints imposed to representation approaches by class self-regulation paradigms, often due to restrictive and somewhat biased positions. It also delves into the brain as an entity with autonomous possibilities, capable of developing its activity without any external stimuli, although those stimuli and other contextual relations are crucial, not only for the brain, but for its host and its host's constituents, to get a balanced, ecological whole.

8.2 EshoFuni@TheAbyss

With several iterations, *EshoFuni@TheAbyss* is a further development of *EshoFuni* and may be found in *The Abyss* context. *EshoFuni* considered the brain as an isolated system, even though it highlighted that its processes and its use only make sense when viewed from a relational perspective. Thus, as contexts and their ecologies were crucial from the start, *EshoFuni@TheAbyss* came to fill this gap.

³ This interface has an academic research version including a software development package and a data-computing app based on proprietary algorithms, called Expressiv, Affectiv e Cognitiv. The research version also provides access to raw data. In order to export/import data between Emotiv and other apps like Max, several other apps were used, such as HoMy_EmoRAW (Horácio Tomé-Marques & Hugo Cardoso 2013, 2014), available at the Emotiv website.

⁴ IRCAM - Institut de Recherche et de Coordination Acoustique Musique, France.

TheAbyss is an ecology system inhabited by graphic and sound entities and constituents resembling plankton organisms. These entities interact among themselves, and with *EshoFuni* as performer. The inhabitants of *TheAbyss* have independent, interactive lives, but are connected to different *EshoFuni* neural groups, thus signalling the performer's brain activity, as generated and modified within and by the ecosystem. The project makes us think particularly about us - intelligent organisms seeing themselves as superior to other beings that play a fundamental role in the ecology and are essential for the survival of those contexts inhabited and informed by us. It also alludes to the, often irreversible, changes that we ourselves introduce and, paradoxically, also see as potentially harmful at the same time.

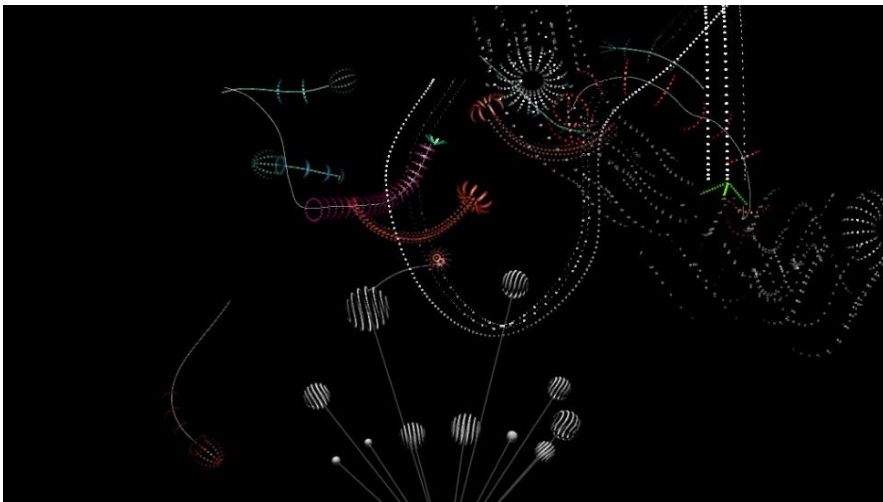


Fig. 2: *EshoFuni@TheAbyss* .
Screenshot of the second iteration, or Chapter II.

In *EshoFuni@TheAbyss* the EEC was processed, classified and used to denote emotions - particularly through computation of the frontal Alpha Asymmetry - at the same time as volition, the latter based on the mental replication of patterns previously trained by means of the Cognitiv Emotiv software. These processes were represented through the (re)characterisation and control of the entities sharing the same context as representatives of those phenomena.

This project was presented at the ICLI INTER-FACE (Tomé-Marques, Pennycook, & Carvalhais 2014).

8.3 Quartas Paredes

Quartas Paredes is an interdisciplinary performing project calling for a reflection about anxiety, the perception of linear/ nonlinear time, physical space and interaction. It is also a glance at the performing act as an ecologic participatory context, in which entities build up and share a series of interconnected, simultaneous, complex circumstances — a supercontent. It provides an opportunity for constituents and events to trigger interactive processes of analysis, perception, assessment, feedback and co-processing among the entities involved, thus creating dynamic and complex emotional, as well as rational, experiences and processes.

The project was carried out by using the Emotiv software — Excitement metrics for emotions and Cognitiv ones for volition —, combined with the possibility of having capacity versus incapacity to contradict, or contain, the emotional processes initiated through exposure to stimuli. The results were visible in the video projected on the performer using his voice and body.

This project was published in *Cadernos IRI* (Pereira, Andrikopoulos & Tomé-Marques 2015).

8.4 FindingSomething BondingSound

FindingSomething BondingSound is a two-actor play dealing with a relational moment, as well as a reflection on the relationship between mind and body. It is based on body expressions and their reception, perception and potential reactions. Its implementation bears some similarities with *Quartas Paredes*, as it features actors interacting, though in this case their relationship was face to face.

It mainly used alpha and beta frequencies, computed by means of pass-band filters, and the possibility that these frequencies may be associated with mental processes such as relaxation and concentration, low- and high-degree excitement. The performer connected to the EEG interface was supposed to start the performance at his most relaxed state possible, and end it at his most anxious and/ or focused state, after going through several mental states in between, from posterior to anterior areas of the brain. These intermediate states were used to initiate a series of short sound and visual narratives, each of them related to a specific state (seven in all). At the same time, the gestures made by the performer holding the cinematic sensors modulated effects, on both the sound and visual components.

The project was created, presented and discussed in the Music Tech Fest, #MTF Hacks, where it was distinguished with a Blue Vinyl MusicBricks Award⁵.

8.5 I Will Play the Electric Brain

I Will Play the Electric Brain is essentially a sound solo project, and the one that took the longest to be carried out. It is a return to basics, the music, as sound expression is the project's core, though it is open to visual expression as well. The first interventions, experiences and initiatives for research projects had focused primarily on music, due to its potential to stimulate emotional responses. In addition, music as a means of artistic production, when produced by a human being, requires the use of volition mechanisms in order to be executed and manifested in real time. The project is also a manifesto — and a protest —, seeking to problematise consensuses about the sources of certain brain electrical phenomena, such as imagination sites, and postulates about what those phenomena seem to denote in terms of demarcation and phenotypic signalling. Some experimental methods and approaches used in brain research are also considered, some of which have paradoxically provided information about sensory mechanisms too.

Raw EEG data was used not only to generate sounds, but also to eventually characterise their role in bringing about subjective perception in connection with emotional aspects. Cognitiv patterns were used to turn the system on and off, start, produce and stop solos, while observing volition. This project was presented in #16ART (Tomé-Marques & Carvalhais 2017).

9 RESULTS, DISCUSSION AND CONCLUSIONS

As far as the denotation of specific brain processes is concerned, *EshoFuni* may seem to record random variations from a variety of sources. In truth, however, as it uses real, though raw, data, the processes may in fact be observed, even though they may not be decoded by the naked eye.

⁵ MusicBricks: Musical Building Blocks for Digital Makers and Content Creators was an initiative funded by the European Commission. It was made up of the following institutions: 1) Sigma Orionis, France; 2) Stromatolite Ltd, United Kingdom; 3) IRCAM - Institut de Recherche et de Coordination Acoustique Musique, France; 4) Universitat Pompeu Fabra, Spain; 5) Fraunhofer-Gesellschaft zur Foerderung der Angewandten Forschung E.V, Germany, and 6) Technische Universität Wien, Austria.

Although *EshoFuni@TheAbyss* does not have infallible objectivity, its behaviour, the formal (re)characterisation of (whether graphic or sound) constituents, and the narrative flow encourage a reading through which those phenomena may be inferred in combination with the contextual ecology.

Quartas Paredes showed rather abstract results, which make it difficult to infer a correlation between emotional experience and volition. Even so, there is clear evidence that some sections are characterised by emotion and others by rational will, as well as of an impact on the narrative ecology.

The performance in *FindingSomething BondingSound* allowed for a reasonably precise sequential record of the sound and visual short films, which showed the estimated sequential logic based on brain processes, although that correlation still posed a number of reading problems.

I Will Play the Electric Brain may be taken as expression with no direct reference to any mental experiences or processes. Nevertheless, solo parts and/ or their differentiated pitch and tonal characteristics provide further opportunity to infer differentiated mental states and processes, as well as to assess the potential impact of stimulation on the ecology of the narrative flow.

It is then possible to use brain electrical activity to create real-time contents, or introspections, showing emotion and conscious decisions, as well as the contexts where those actions and reactions take place, i.e., the ecologic narrative.

There are limitations, however, which must be understood and incorporated into the design of any projects and applications. On the one hand, systematic procedures must be aimed at dealing with the EEG inherent problems, such as technological or biological contingent noise, occurring in the dynamic contexts themselves, so that the electrically generated data from the brain may be useful. On the other hand, it is crucial for the EEG to consider the subject's specific characteristics, as every brain is unique.

It is clear that any analysis of an entity must take into account its context, even if this option has the added risk of compromising the data due to the complexities of contextual ecologies. Isolation, on the other hand, may help determine a specific and localised structural or functional problem with more precision, but, paradoxically, it may also jeopardise identification of the true origin of brain behaviour.

The design of the instruction set must be reviewed, starting with the instruction to train the system establishing brain patterns, particularly neutral instruction. Before teaching the machine, we must teach our brains to train and interact with the machine, perhaps drawing inspiration from the truly symbiotic

processes between our host *system*, i.e., our bodies, which take in our brains, and our brains, which take in our bodies. In this symbiosis, all components act in harmony, as training is an iterated, longitudinal and truly interactive buildup of input, processing, mapping, correlation, display, testing, coherent articulation, verification, signal-data-information confirmation among the systems, resulting in a functional multiunit that may operate with efficacy only in that maximized condition.

The shapes used to represent experiences, brain processes or contextual ecologies might be impossible to grasp, not only because they were chosen arbitrarily, even though designed and implemented on a logical basis seeking objectivity, but also because audiences with different backgrounds may have different responses to those representations. In order to target all kinds of audiences, a practical solution would be to add captions to some representational forms, showing a more literal relationship between them and the dimensions that they stand for.

These aspects, however, do not compromise the projects in any significant way, as their main goal has been achieved, namely the objective denotation of brain behaviour through argument impregnation (whether implicit or even explicit), which could manipulate aesthetic, sensory and intellectual mechanisms, in order to encourage reflection on the holistic view of the human being as an organism, capable of creating technology and of deliberately choosing how to act in surrounding habitats. Even though at first sight results are not decodable, their potential remains intact, as decoding is not the purpose of art.

The research has been successful, but it has been a long, complex, difficult path. Mistakes were made along the road, obstacles rose. Some were unexpected and impossible to solve right away. All in all, however, it has been a gratifying experience, providing new knowledge as well as unforeseen skills, especially in the subfields of neuroscience and neurotechnology.

There is undeniably room for discussion, particularly whether implementation rationales were logical and based on pertinent criteria. The inability to fully account for some results, or even for the way of getting to them is another debatable aspect, together with the correct instructions given to the brain in order to create replicable volitional patterns. But these weaknesses must be seen as an opportunity for further study and research on the subject.

10 FURTHER RESEARCH

There is naturally room for improvement and for widening the scope of this research. On the one hand, exploring other sound experiences may put the very definition of music to the test, and, on the other, making an interactive dynamic use of planes by positioning several cameras may allow for more detailed readings of processes and events, and may strengthen and enrich the cinematography essence. Access to laboratories fitted with both EEG and functional MRI for simultaneous data collection would provide the opportunity to design and carry out experiments to assess and clarify some points, particularly those related to instructions to the brain of replicable volitional patterns.

This area of research is far from being closed. It is in fact an emerging field, full of possibilities and opportunities. Indeed, a new nerve cell, called Rosehip Neuron, was discovered in 2018. All my further research and scientific production, however, must remain true to this two-fold need — though sometimes irreconcilable, the need to look at things from the inside, decoding and explaining them must be counterbalanced by the need to encode, leaving the explanations to eventually come up from the observer's questioning process.

11 ACKNOWLEDGEMENTS

Miguel Carvalhais, Bruce Pennycook and Fundação para a Ciência e a Tecnologia (Scholarship SFRH/BD/51826/2012).

12 REFERENCES

- Baars, Bernard J., and Nicole M. Gage. 2007. *Cognition, Brain, and Consciousness: Introduction to Cognitive Neuroscience*. Academic Press.
- Casey, Karen. 2010. *GLOBAL MIND PROJECT: Spectacle of the Mind 2010*. <https://vimeo.com/13765408>.
- Coan, James A, and John J.B Allen. 2004. 'Frontal EEG Asymmetry as a Moderator and Mediator of Emotion'. *Biological Psychology* 67 (1-2): 7-50. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2004.03.002>.
- Damasio, Antonio. 2001. 'Reflections on the Neurobiology of Emotion and Feeling'. In *The Foundations of Cognitive Science*, edited by João Branquinho, 99-108. Oxford: Oxford: Clarendon Press.
- Du, R., and H. J. Lee. 2015. 'Frontal Alpha Asymmetry during the Audio Emotional Experiment Revealed by Event-Related Spectral Perturbation'. In *2015 8th International Conference on Biomedical Engineering and Informatics (BMEI)*, 531-36. <https://doi.org/10.1109/BMEI.2015.7401562>.

- Elgin, Catherine Z. 2010. 'Telling Instances'. In *Beyond Mimesis and Convention: Representation in Art and Science*, edited by Roman Frigg and Matthew C. Hunter, 1–17. Dordrecht: Springer. https://doi.org/10.1007/978-90-481-3851-7_1.
- Frigg, Roman, and James Nguyen. 2017. '3. Models and Representation'. In *Springer Handbook of Model-Based Science*, edited by Lorenzo Magnani and Tommaso Bertolotti, 1st ed., 49–102. Dordrecht: Springer.
- Jasper, Herbert H. 1958. 'The Ten Twenty Electrode System of the International Federation'. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, no. 10: 371–75.
- Kahn, Douglas. 2013. *Earth Sound Earth Signal: Energies and Earth Magnitude in the Arts*. Univ of California Press.
- Mackay, William A. 2011. *Neurofisiologia Sem Lágrimas*. 5ª. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Niedermeyer, Ernst, and F. H. Lopes da Silva. 2005. *Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Nunez, Paul., and Ramesh Srinivasan. 2006. *Electric Fields of the Brain: The Neurophysics of EEG*. Oxford University Press.
- Palmer, Jason. 2009. 'World Premiere of Brain Orchestra'. *BBC News*, 24 April 2009. <http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/8016869.stm>.
- Penfield, Wilder, and Edwin Boldrey. 1937. 'Somatic Motor and Sensory Representation in the Cerebral Cortex of Man as Studied by Electrical Stimulation'. *Brain* 60 (4): 389–443. <https://doi.org/10.1093/brain/60.4.389>.
- Pereira, Bruno, Dimitris Andrikopoulos, and Horácio Tomé-Marques. 2015. 'Quartas Paredes: Performance Para Presença, Voz, Mixed Media e Manipulação de Som e Imagem Em Tempo-Real'. Edited by Vítor Quelhas and José Quinta-Ferreira. *Cadernos IRI: Imagens Do Real Imaginado* 1 (1): 14–25.
- Public Art Fund. 2003. 'Mariko Mori: Wave UFO'. 2003. https://www.publicartfund.org/view/exhibitions/5825_wave_ufo.
- Robles, Claudia. 2011. 'Creating Interactive Multimedia Works with Biodata'. In *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression - 30 May - 1 June 2011*, 421–24. Oslo, Norway: NIME. https://www.researchgate.net/publication/254200087_Creating_Interactive_Multimedia_Works_with_Biodata.
- Scalf, Paige E., Ana Torralbo, Evelina Tapia, and Diane M. Beck. 2013. 'Competition Explains Limited Attention and Perceptual Resources: Implications for Perceptual Load and Dilution Theories'. *Frontiers in Psychology* 4 (May). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00243>.
- Tomé-Marques, Horácio, and Miguel Carvalhais. 2017. 'I Will Play The Electric Brain: The Manipulation of the Brain's Electric Capacity, and Clusters, Through Sensing and Imagination, to Synthesize Sound Entities.' In *16º Encontro Internacional de Arte e Tecnologia: #16ART: Artis Intelligentia: Imaginar o Real: Livro de Atas*, 100–111. Porto: i2ADS - Instituto de Investigação em Arte, Design e Sociedade.
- Tomé-Marques, Horácio, João Meneses, Bruce Pennycook, and Miguel Carvalhais. 2014. 'From the Unseen to the s[cr]een: EshoFuni, an Approach towards Real-Time Representation of Brain Data'. In *XCoAx 2014: Proceedings of the Second Conference on Computation, Communication, Aesthetics and X*, 333–42. Porto: Universidade do Porto. <http://2014.xcoax.org/pdf/xcoax2014-Tome-Marques.pdf>.

- Tomé-Marques, Horácio, Bruce Pennycook, and Miguel Carvalhais. 2014. 'Brain: The Ultimate Enactive Interface?' In *ICLI 2014, INTER-FACE: International Conference on Live Interfaces*, edited by Adriana Sá, Miguel Carvalhais, and Alex McLean, 231–40. Lisboa: Universidade do Porto, Universidade Nova, Universidade de Sussex.
- Wallace, R. Jay. 2014. 'Practical Reason'. In *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, edited by Edward N. Zalta, Spring 2014. Metaphysics Research Lab, Stanford University. <https://plato.stanford.edu/archives/spr2018/entries/practical-reason/>.
- Wolpaw, Jonathan R., and Elizabeth Winter Wolpaw. 2012. *Brain-Computer Interfaces: Principles and Practice*. New York: Oxford University Press.
- Woodruff, Jeremy. 2011. 'Music for Solo Performer by Alvin Lucier in an Investigation of Current Trends in Brainwave Sonification'. http://www.academia.edu/2591068/Music_for_Solo_Performer_by_Alvin_Lucier_in_an_Investigation_of_Current_Trends_in_Brainwave_Sonification.

17.1.5 Publicações, cópias

As páginas seguintes são cópias extraídas dos artigos das atas de conferências e revistas nas quais estão publicados — agregam os próprios artigos e as capas das publicações para referência visual.

xCoAx 2014
Proceedings of the
Second Conference
on **Computation**
Communication
Aesthetics and **X**
Porto, Portugal

FROM THE UNSEEN TO THE S[CR]EEN ESHOFUNI , AN APPROACH TOWARDS REAL-TIME REPRESENTATION OF BRAIN DATA

HORÁCIO TOMÉ-MARQUES

Faculty of Engineering
University of Porto and School of Music and Performing
Arts, IPP
Portugal

horacio.marques@fe.up.pt

JOÃO MENEZES

ID+ Instituto de Investigação em Design, Media e Cultura
University of Porto
Portugal

joaommenezes@gmail.com

BRUCE PENNYCOOK

College of Fine Arts, University of Texas at Austin
United States of America

bpennycook@austin.utexas.edu

MIGUEL CARVALHAIS

ID+ / Faculty of Fine Arts, University of Porto
Portugal

mcarvalhais@fba.up.pt

Keywords: Brain Signal Representation,
Data Visualization, MAX MSP/Jitter, Virtual Physics, Art

In this paper we propose an approach towards real-time representation of brain data using a virtual physics engine built in the Max MSP/Jitter graphical programming environment, and with the real-time raw Emotiv EEG BCI signal. Firstly we summarize about the brain as an electric phenomenon and as a perpetually active system dependent of an environment. Secondly we describe methods of representation of these phenomena in historical contexts such as science and art. We then establish a conceptual relationship between brain's phenomena and Newton's laws of motion and equilibrium. Finally we discuss potential gaps to be fulfilled and propose and describe *EshoFuni*.



1. INTRODUCTION

The human brain is a complex system that generates electric signals. It is “perpetually active, even in the absence of environmental and body-derived stimuli” (Buzsáki 2006, 10) but needs environmental inputs to create useful activity. The electric phenomena of the brain have been being recorded in the form of waves, i.e., sinusoids with frequency and amplitude, to which Hans Berger, the pioneer of brain potentials recording called “continuous curves with continuous oscillations”¹ (Hirnströme 2005). The first report of scalp recording based on a representational methodology – photographic – of the human brain’s electric potential was made by Berger at the start of the twentieth century (Desney and Anton 2010) a process that he called *Elektrenkephalogramm*.

During that century, other methods of Electroencephalogram (EEG) representation were invented and implemented e.g., the Toposcope, devised by William Grey Walter, that allowed topographic visualization (Walter, 1951). Artistic approaches also have been being devised. In 1965 Alvin Lucier used EEG signals to acoustically or mechanically active musical instruments (Miranda and Brouse 2005), i.e., he proposed a representation of those potentials through sound. The development of computation occurred after the second world war catalyzed a continuous development of systems, both hardware and software, to acquire, treat, translate and represent both nature constituents (physical objects and events) and human abstractions phenomena (conceptual objects and events), to generate data that could allow us to understand these phenomenons or to create new ones, e.g., metaphors, virtualizations, of this same constituents.

Both sciences and arts have been using representational methodologies based upon different strategies, conventions and purposes, e.g, topographic visualization, i.e., the possibility to denote specific occurrences within specific regions of the brain’s geography – event(s) and place(s) of a phenomenon – , uses (pseudo)color coding schemas to denote and characterize both constituents (Shankar and Ramakrishnan 1951; Teplan 2002).

The representation of the brain’s electric phenomena needs a process – acquisition, transduction, processing, post-processing – that translates the analogic signals into digital data, via discretization, and from that into repre-

¹ Free translation from the German original: “ (...) eine fortlaufende Kurve mit ständigen Schwankungen (...)” (Hirnströme, 2005).

sentational forms (Teplan 2002). The representations can be substantiated via offline or online processes, i.e., can be devised *a posteriori* or in real-time.

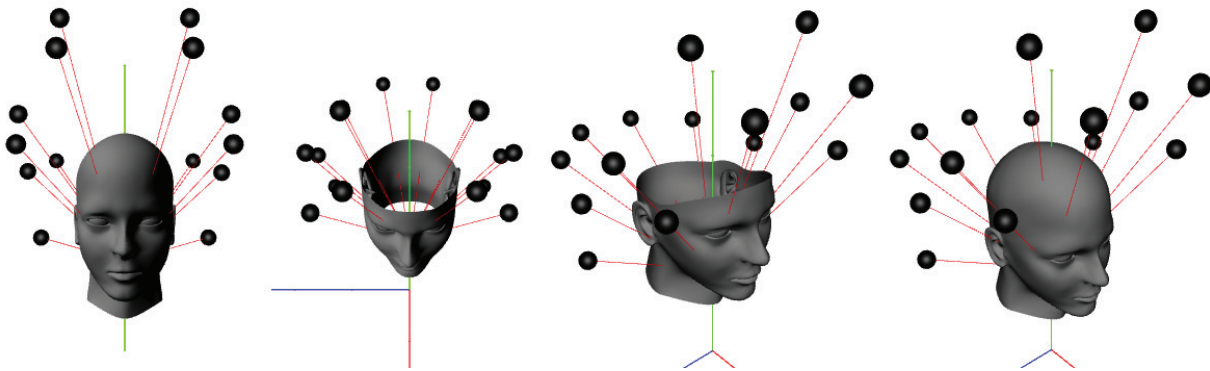
There are now many EEG representational approaches but many are restricted by autoregulation paradigms (e.g., within science) and although they may allow reconceptualization and evolution, they replicate the conventions and theoretical frameworks from which they depend upon, i.e., restrictive and closed positions. Within arts, approaches have been proposed during the last years, mostly related to performative arts such as music (Miranda and Wanderlay 2005). However EEG representation within the arts is still in its infancy. As such it is an emergent opportunity to research, propose and repurpose representational approaches. Our motivation is anchored on a double aspect, since we are dealing with two constituents of a correlated phenomena, i.e., methods of representation of the brain electric phenomena, as well as the phenomena itself. As such, besides the representational aspect, our approach is also framed on a conceptual parallelism inspired on Newton's laws of motion and equilibrium and a theory that proposes that the brain has a default state. Newton postulated that a body continues in its state of rest – or of uniform motion – , unless external forces compel it to change that state (Newton 1728). The same happens with our brain, it has a default mode. In this mode “it develops as a self-organized or spontaneous state without an external input”, however, external perturbations are crucial to brain to perform useful computations (Buzsáki 2006).

This project is part of a broader research where we pursue the creation of innovative content. During this process we are often confronted with the lack of ways to “materialize” our ideas. As an answer, and besides creating content, we also have been developing strategies and devices focused on solving these problems where and when they may arise.

In order to fulfill the gaps identified above, we developed *EshoFuni*, a tool that develops a physical simulation to visualize EEG data in real time. With *EshoFuni*, we aim to offer a robust and reliable tool that promotes a non-linear real-time representation of EEG data. *EshoFuni* is intended as a flexible tool that adapts to new needs and paradigms in the representation of EEG data.

Taking this into account, we chose the graphical programming environment Max MSP / Jitter as the development platform. This choice lies in several factors: on one hand, the flexibility offered in the development and maintenance of the system; on the other, the fact of being a cross-platform environment that is well established in the field of digital media and performing arts, enhancing the likelihood of its acceptance and maintenance by the community, that may easily contribute to the improvement of existing functions, and the development of extensions to address emerging paradigms in the field.

Fig.1 Different views of the representation provided by *EshoFuni*



2. PROJECT

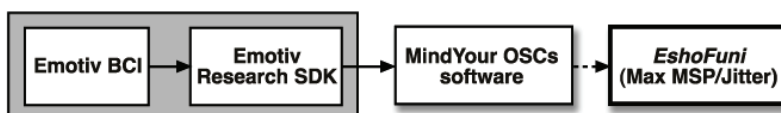
2.1. TECHNICAL SPECIFICATIONS

The system comprises the following hardware and software:

- 1) Brain Computer Interface by Emotiv (BCIEEEG);
- 2) Computer(s);
- 3) Emotiv Research SDK (ERSDK);
- 4) Mind Your OSC² (MYOSCs) ;
- 5) Max MSP/Jitter (MM/J).

2 Mind Your OSCs uses the Open Sound Control (OSC) protocol to bridge data between ERSDK and MM/J. This software has two versions: one that connects to the Emotiv Control Panel, which allows access to Emotiv proprietary algorithms that fulfill personalized Emotiv paradigms, and another that connects directly to the ERSDK which allows access to the raw data. At the time of the redaction of this document this latter version only exists in Windows platform.

Fig.2 Scheme of the general architecture of the system implementation

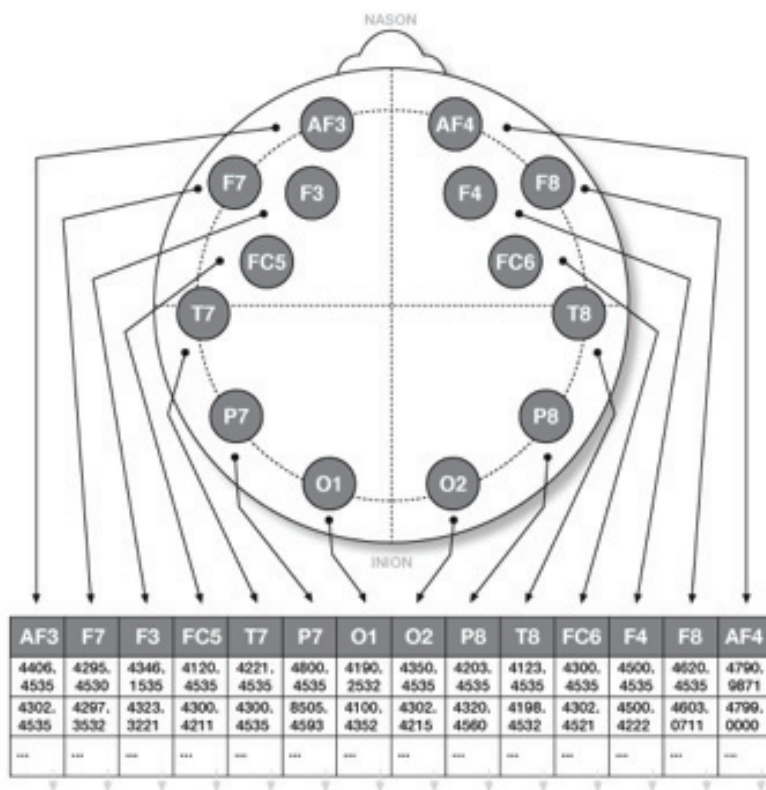


2.2. SYSTEM OVERVIEW

As illustrated in Fig. 2, brain data gathered by the BCIEEEG is wirelessly sent to the ERSDK; MYOSCs is used to establish a wireless bridge between ERSDK and MM/J, using the OSC³ protocol; the data coming from MYOSC is received in MM/J through a UDP⁴ connection, and treated as described in 2.3.1.

BCIEEEG records brain electric signals with 14 channels based on the International 10-20 system⁵ on the locations AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4. Emotiv device sends via wireless and USB/Bluetooth interface to the host, i.e., e.g., the computer that hosts the ERSDK, a stream of encrypted data – encrypted by the device’s proprietary system. The data is decrypted by the ERSDK. All data exported by the API is raw EEG values in microvolts (μV). EEG data is stored as floating point values directly converted from the unsigned 14-bit ADC output from the headset. DC level of the signal occurs at approximately $4200 \mu\text{V}$ (Emotiv, 2008).

Fig.3 Relationship between Emotiv channels and incoming data vectors (derived from EDK Channels Enumerator – Emotiv Research SDK)



A physics engine programmed in MM/J applies internal algorithms based on real-world physics, allowing us to simulate a given virtual scenario. It provides internal algorithms that allow us to setup virtual worlds with

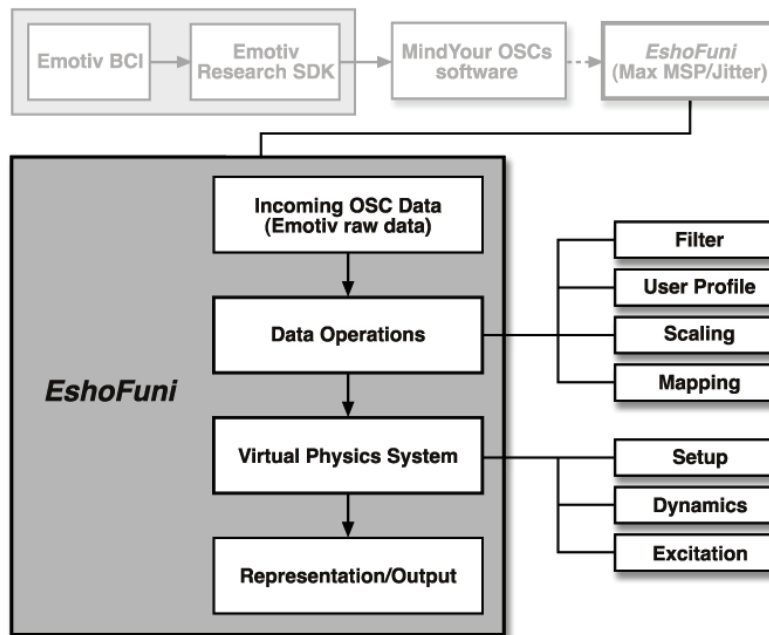
³ Open Sound Control (OSC) is an open, transport-independent, message-based protocol developed for communication among computers, sound synthesizers, and other multimedia devices. An OSC packet can be naturally represented by a datagram by a network protocol such as UDP (opensoundcontrol.org).

⁴ The User Datagram Protocol (UDP) is one of the fundamental members of the Internet protocol suite, designed in 1980 by David P. Reed, formally defined in RFC 768. “This protocol provides a procedure for application programs to send messages to other programs with a minimum of protocol mechanism (<http://tools.ietf.org/html/rfc768>).

⁵ A standardized physical placement and designations of electrodes on the scalp, adopted in 1955 by the International Federation in Electroencephalography and Clinical Neurophysiology (Teplan 2002).

complex dynamics. Entities such as rigid bodies – which can have distinct shapes, masses and sizes – are subjected to force vectors (e.g. gravity) and can interact with each other (e.g. collide, constraints). The result of these interactions is based on the dynamics of the system.

2.3. ARCHITECTURE



2.3.1. DATA OPERATIONS

Filter: raw data is subjected to filtering operations, more precisely, a low-pass and a band-pass filter. These can be applied or not, with frequencies adjustable by the user. Additionally, the moving average for each data vector is calculated, for purposes of monitoring as well as to trace a user profile, described below.

Profile: Each individual has a default mode, i.e., a mode that works permanently within a self interdependent dynamics, where the constitutive parts of the individual are permanently exposed and interact within the environment where it inhabits, i.e. itself. Consequently each individual has an offset signal dependent of its default mode.

An excitation, i.e., a(ny) stimuli that does not belong to default mode is what provokes a chain of reactions that modulates the default mode, i.e., generates a signal scale dependent of the interaction of the individual with its environment. Taking this into account, the system collects data and proceeds with a statistical averaging to estab-

Fig. 4 EshoFuni's architecture. OSC Raw data incomes as a stream of floating point values with an average level of 4200, (which represents the DC offset level of the signal that occurs at approximately 4200 μ V). This data is firstly subjected to different data operations (2.3.1), and then sent into the virtual physics system (2.3.2) provided by the MM/J, as a means to create and simulate a conceptual metaphor of the 10-20 system representation.

lish a default mode for each user. This default mode is then the starting point from which the system behaves, more precisely, the default mode values are inserted as the base for the scaling process, described in the next paragraph. Different profiles settings can be stored and accessed at any time. Thus, allowing the system to easily adapt to different subjects.

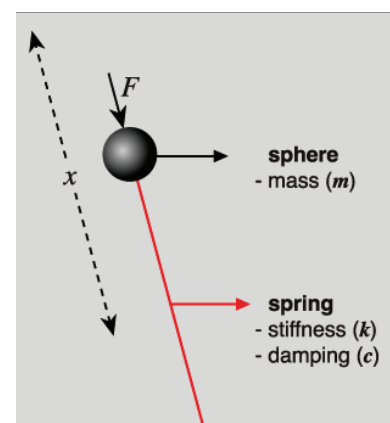
Scaling: Once the data is filtered and a profile of the subject is plotted, we proceed to the scaling process. Originally comprised between 4200 and 5000 (based on the original DC offset of the raw signal), the data is scaled to values between -5 and 5. These will be translated into vectors with a given magnitude and direction, which will act in the form of forces when applied to the physical system (see 2.3.2). The default scaling translates higher EEG values into high magnitude force vectors, and lower EEG values into low magnitude force vectors. By default, the transfer function used in the scaling process is an exponential function of base 2.5. However, cosine, linear, logarithmic, and gaussian functions can be applied, among others. Scaling has a significant impact on the relationship between the input data and the physical forces applied to the system (described in 2.2). For this reason, the possibility of the user to change the scope of scaling as well as its underlying transfer function, translate into important features in the search for a balanced representation of EEG data with different characteristics.

Mapping: At the end of these processes, with properly filtered and scaled data, we proceed to the mapping process. Here, data vectors are translated into forces that will be later introduced in the virtual physics system, described in 2.4. Additionally, there is also a relationship between the activity level of a given EEG channel, and the virtual sphere that represents it.⁶

2.3.2. PHYSICS SYSTEM

The physics system was developed by Hermann (1999) having into account the methodology for the development of an interactive sonification model. Despite its connection to the discipline of Auditory Display and Data Sonification, we did not find any objection for its application in this context. As such, we divided this visual representation system according to its (i) Setup, (ii) Dynamics, and (iii) Excitation.

Fig. 5 Mass-spring system



⁶ EshoFuni allows, at this moment, to map EEG activity to pseudo color code as well as to size.

i) Setup: The proposed visualisation model, is composed by one mass-spring system per data vector (EEG channel), each virtual spring being attached at 3D spheres whose positions are defined by the 10-20 system described in the section 2.2.

ii) Dynamics: As illustrated in Fig. 5 each sphere (with a mass m) is fixed with a virtual spring to its position in the three-dimensional (3D) space, thus, each sphere can perform an harmonic oscillation around its own position, as described by x . This harmonic oscillation is modeled by classical mechanics of mass-spring systems, which is determined by an external force (F), the mass of the sphere (m), the spring stiffness (k), and the damping coefficient – or dissipation rate – (c). At the moment, all spheres share a mass of 2 ($m = 2 \text{ kg}$). The same happens with the springs, sharing a stiffness of 15 ($k = 15 \text{ kg s}^{-2}$), and damping coefficient of 5 ($c = 5 \text{ kg s}^{-1}$). It is important to note, that these values were set after some tests with different EEG data streamings. However, the user is able to change these values according to his purposes, thus adapting the physical simulation to different EEG data streamings and its features.

iii) Excitation: Initially in its rest state, the model is excited by being introduced a given force (F) in its dynamics. These forces act as vectors with a given magnitude and direction, which will then be applied in the equations of motion of each sphere. Therefore, the change of motion of each sphere, is proportional to the force impressed and is made in the direction of the straight line in which the force is impressed. Vector's magnitude and direction are directly related to the mapping and scaling sections (see 2.3.1), thus, changes in the scaling process (scale values and transfer function) will be reflected on the applied force, and therefore, on the harmonic oscillation performed by each sphere.

3. CONCLUSIONS AND FUTURE WORK

We presented *EshoFuni*, which according to our research is the first system making use of a physics simulation to visually represent real-time EEG data. Being one of the most important purposes of *EshoFuni* to solve personal problems and needs on creating artistic representations of brain electric phenomena (e.g. by means of sound or graphic form) we consider that the way it fulfills that requirement is rather consistent and satisfactory – maybe groundbreaking by itself.

We finally hope that it may contribute to successfully represent this kind of data, particularly in the domain of digital arts. Additionally, the flexibility provided by *EshoFuni* should promote a systematic and versatile approach for data representation within different artistic contexts.

As described in section 2.2, the actual data transmission is based on OSC protocol, provided by MYOSCs. This increases the risk of packet loss along the transmission, thereby representing the major limitation of *EshoFuni*. Having this into account, future work should be centered around the development of a MM/J external, that provides data acquisition to be done directly from the EMRSDK, instead of using third-party software (e.g. MYOSC) to bridge between EMRSDK and MM/J. In this way, we would be able to remove the actual intermediary protocol (i.e. in this case, OSC), thus increasing *EshoFuni*'s robustness and speed, as well as the decreased risk of packet loss. Finally, it is in our interest to implement methods of real-time analysis and artifact removing, thus enhancing rigorous data interpretation and system behaviour.

ACKNOWLEDGEMENTS

This project was partially funded by FEDER through the Operational Competitiveness Program – COMPETE – and by national funds through the Foundation for Science and Technology – FCT – in the scope of project PEst-C/EAT/UI4057/2011 (FCOMP-01-0124-FEDER-D22700).

REFERENCES

- Buzsáki, György.** *Rhythms of the Brain*. Oxford: Oxford University Press, 2006.
- Cornelius Borck Hirnströme.** *Eine Kulturgeschichte der Elektroenzephalographie*. Göttingen: Wallstein Verlag, 2005.
- Hermann, T, and H Ritter.** "Listen to Your Data: Model-Based Sonification for Data Analysis." *Int. Inst. for Advanced Studies in System Research and Cybernetics*: pp.189–194., 1999.
- Newton, Isaac.** *Mathematical Principles of Natural Philosophy*. In Two Volumes. London: Benjamin Motte. Published 5 July, 1728.
- R. Miranda, Eduardo, Brouse, Andrew.** *Toward Direct Brain-Computer Musical Interfaces*. in NIME '05 Proceedings of the 2005 conference on New interfaces for musical expression. Pages 216 - 219. Singapore: National University of Singapore, 2005.
- R. Miranda, Eduardo and M. Wanderley, Marcelo.** *New Digital Musical Instruments: Control And Interaction Beyond The Keyboard*. Middleton: A-R Editions, Inc., 2006.
- R. Murali Shankar and A. G. Ramakrishnan.** *Topographic Mapping Of The Brain Electrical Activity*. Proc. Nat. Conf. Biomed. Eng., Manipal, April 9-11, 1998, pp. III-7 to III-9.
- S. Tan, Desney (Ed), Nijholt, Anton (Ed.).** *Brain-Computer Interfaces: Applying our Minds to Human-Computer Interaction*. London: Springer, 2010.
- Teplan, Michal.** *Fundamentals of EEG measurement*. Measurement Science Review, Volume 2, Section 2, 2002. Bratislava: Institute of Measurement Science, Slovak Academy of Sciences, 2002.
- Walter , W. G., Shipton H. W..** *A New Toposcopic Display System*. Bristol: Burden Neurological Institute, 1951.

BRAIN: THE ULTIMATE ENACTIVE INTERFACE?¹

HORÁCIO TOMÉ-MARQUES²

Faculty of Engineering
University of Porto and School of Music
and Performing Arts, IPP, Portugal
horacio.marques@fe.up.pt

MIGUEL CARVALHAIS

ID+ / Faculty of Fine Arts
University of Porto
Portugal
mcarvalhais@fba.up.pt

BRUCE PENNYCOOK

College of Fine Arts
University of Texas at Austin
United States of America
bpennycook@austin.utexas.edu

ABSTRACT

Eshofuni@TheAbyss is a multidisciplinary project and performance, proposing real-time representations of brain phenomena using a brain-computer interface. It implements novel representational approaches to action/perception/reaction processes, specifically, to the contextual balance ratio between reason and emotion. It is an *ecological* approach based on a theoretical framework that implies that behavior and evolution depend on environmental synergies and are a consequence of enactive dynamics, be they physically or symbolically based. This paper discusses the project within the context of live interfaces while also introducing a transdisciplinary approach to brain phenomena, addressing a multiplicity of aspects that are fundamental to its understanding and, consequently, to the project. We discuss the definition of interface, then introduce the brain complex neuro-physical electrical system with pre- and experience-independent, built-in *possibilities*, but which is also *moldable* by interaction, and propose that it is a candidate for the ultimate dynamic interface; we then *correlate* this system with the performative art event(s) and respective environmental synergies; next we explain the representational, conceptual approach and strategy of *Eshofuni@TheAbyss* and finally, we discuss the implications of this approach and propose some insights on the matter.

1. The use of certain expressions within specific contexts tends to be interpreted as signs belonging to those contexts. In this case, the *enactive interface* has a potential relationship with the theory of interfaces. But the choice of those two words in this paper has a (simultaneous) purpose that goes beyond the former framework. The aim is to explore embedded implicit meanings in the text related to the two words – enaction + interface – qua indexical and/or symbolic signs, *per se* and/or as a full expression.

2. FCT: Fundação para a Ciência e Tecnologia UTAustin|Portugal Program Doctoral Scholarship.

KEYWORDS

Brain, Interface, Environment, Enaction, Brain-Computer Interface, Art.

1. INTRODUCTION

On writing about the seminal book *Endophysics: The World As An Interface* by Otto Rössler, Ichiro Tsuda (2002, 213-214) proposes in his conclusions that “Endophysics tells us that reality only exists at interfaces. By perturbing the interface slightly, we can have different senses of reality”. Interestingly, Peter Weibel (1996, 343) raises questions about the same theme saying “The world changes as our interfaces do. The boundaries of the world are the boundaries of our interface. We do not interact with the world – only with the interface to the world.” Finally, Manovich (n/a) in his essay *The Interface as a New Aesthetic Category* postulates that “Content and interface merge into one entity, and no longer can be taken apart”.

2. THE INTERFACE DILEMMA

Is there a proper definition for interface? Definitions may reference functionalities and/or characteristics, they may be considered iconic, symbolic or ecological. In *Computers as Theatre*, Laurel writes (1991, p.4) “interface is not simply the means whereby a person and a computer represent themselves to one another; rather it is a shared context for action in which both are agents”. An interface based on the perception-action loop paradigm – integrating multiple modalities (e.g., vision, sense of touch, sound) – can be considered as enactive (Fukuda, 2011, p.77).

Reference dictionaries define interface with variations of a common denominator which can be taken as the definition itself – (Interface is): “the place or area at which different things meet and communicate with or affect each other” (www.merriam-webster.com); “A point where two systems, subjects, organizations, etc. meet and interact.” (www.oxforddictionaries.com).

We propose that: *Interface is whatever, whenever or wherever entities of different systems establish contact that opens and promotes the possibility of data transduction and transfer between them.*³

3. BRAIN BASICS

The human brain is a complex multi-system whose architecture is based on multiple layers and systems (e.g., groups of neurons devoted to certain routines or functions, such the auditory system) that are networked and permanently communicating with each other (e.g., through electrical phenomena) (Sporns, 2011).

3. Data here should be understood in a broad sense, i.e., from physical to conceptual, e.g., electric energy, a virus, words in the mind, a graphic form.

It is a system of sets of circuits that is able to detect and evaluate the relevance of myriads of physical energies in the environment and, plans and executes appropriate reactions to them. It provides us with numerous functional schemas such as basic senses⁴ and basic integrated postural and locomotor movement sequences (Buzsáki, 2006). Through sensing, perception and cognition, it allows us to be aware of the environment and of ourselves (Buzsáki, 2006; Wilson and Foglia, 2011).

3.1. A PRIORI VERSUS A POSTERIORI

As a system, the brain is by itself a universe with a priori characteristics, i.e., congenital *possibilities* (not only structural, but also functional) with ongoing intrinsic spontaneous activity (Raichle, 2010) capable of wandering in the absence of external demands (Malia et al, 2008).

According to scientific evidence, a brain can live in isolation (Llinás and Paré, 1991) – and be kept alive as an isolated system as long as proper energy (e.g., glucose) feeds its basic functions (Bohlen and Halbach, 1999). However, many of the same empirical findings also postulate that although a brain may “live” in isolation, it does not produce useful constituents (e.g., data) for itself without environmental interactivity (Buzsáki, 2006). Most interestingly, it does not produce them for itself nor for the entity(ies) that could have a relationship with it (e.g., the human-body that hosts it or other entities that interact with it, e.g., other humans). Or, more accurately, it may not fully develop if isolated from a dynamic context (Buzsáki, 2006; Wilson and Foglia, 2011). Tsakiris et al. postulate that: “coherent experience (...) depends on the integration of efferent information with afferent information in action contexts.”(2006).

3.2. REMARKS ON QUANTITATIVE BRAIN PHENOMENA

Brains generate electromagnetic oscillations – i.e., rhythmic activity –, which have been being recorded in the form of waves (Electroencephalography). A scientific consensus divided this rhythmic activity into bands by frequency (delta, 0.5–4 Hz; theta, 4–8 Hz; alpha, 8–13 Hz; beta, 13–30 Hz; gamma, >30 Hz⁵). Beyond mere taxonomy, this nomenclature arose because specific bands could denote specific biological significance. Certain characteristics of the brain’s electric phenomena⁶ may denote emotional processes (Trochidis and Bigand, 2012), while others⁷ may denote a voluntary self-initiation of movement, or a kind of preparatory processing that precedes the actual action (Jo et al., 2014).

4. I.e., sensing, detecting features of the external and internal environments – olfaction, sight, touch, hearing, taste, etc. – supported by and interacting with the multiple body sensors.

5. The precision of the segmentation of the EEG frequency bands is not absolutely consensual among science communities.

6. E.g., inter-hemispheric asymmetry of certain bands such as alpha – 8-13 Hz – within the frontal lobes.

7. E.g., progression of spectral power before onset of a movement.

Brain electric phenomena could, as such, be seen as a kind of global mirror of its functions, namely in temporal frameworks, that could denote aspects such as environmental interaction.

3.3. AM I SPEAKING TO MYSELF?

Damásio (2010) proposes that the brain has the ability to create the self, which emerges from sensing our own physiology, but also the consciousness, which is based on a self-referential layer – where autobiographical phenomena are one of the most important aspects – that allows us to build a complex sense of ourselves in relation to ourselves, in relation to others and in relation to the environment. It could have arisen as a consequence of a layered evolution according to its necessities and strategies, and has a very peculiar characteristic: conceptualizing the future, besides reasoning about the present and retrieving the past.

Consciousness is, however, a puzzling concept and is not consensual among either philosophers or scientists, or indeed among themselves. There are approaches that reduce it to mechanistic ontological models (Zeman, 2001) but others (one of which is Cartesian *dualism*) “regard at least some aspects of consciousness as falling outside the realm of the physical”. (Gulick, 2014)

4. INTERFACING

From this framework of theories, we can propose that the brain is, in a broad sense, a point of contact – an interface – between the I as a matter-less entity that is aware of its bodiless existence (at least conceptually), and the Am as a physical object empowered with mechanisms that can impact reality (by means of efferent data sent to the host mechanic system). Or between *I* and *Do*,⁸ whereby I, through my will, will behave based on afferent information conveyed by body sensors – e.g., the skin, – and the central nervous system (CNS) to the brain, where it is processed.

5. SYNERGY OF INTERACTION DYNAMICS

An artistic performative live act, with performer(s) and audience (as the entities that share the act), is a participatory event, where both parts share and construct a simultaneous set of interlinked circumstances. It is an event where modal constituents – e.g., visual, sonic, olfactive – trigger interactive processes of analysis, perception, appreciation, feedback and co-processing between the entities involved, creating a dynamic and complex process of aesthetic experience, reasoning and emotion. Interestingly, art forms such as music are so powerful that they can activate nearly every known area of the brain and the deepest systems

8. To avoid going into a deep Aristotelian or Kantian discussion, we can formulate the *I* and *Am* qua being – i.e., as a consciousness conundrum – and the *I* and *Do* qua agent – i.e., as a physical behaviorism conundrum.

generators of emotions (Levitin, 2007), as well as elicit involuntary behaviors perhaps even by coercion (Sacks, 2006). However most of us can only guess what is going on inside the performer's mind, i.e., in the dynamics of this complex relationship, we are not able to *see* possible inner constituents of a *reality* not *visible* by immediate mechanisms.

6. TRANSCODING AND TRANSLATING THE BRAIN PHENOMENA

Both sciences and arts have been using technological apparatus and procedures which can record the brain's continuous electric activity and transcode it into discrete objects (Vidal, 1973) and representational models to denote and characterize the constituents of brain phenomena. For example, EEG topographic visualization uses (pseudo)colors coding schemas to represent specific occurrences within specific regions of the brain's geography⁹ (Shankar and Ramakrishnan, 1998; Teplan, 2002).

There are many electroencephalography approaches – both representational and technological – but many are restricted by auto-regulation paradigms, i.e., although they may allow reconceptualization and evolution, they replicate the conventions and theoretical frameworks on which they depend. They also embrace laboratory presettings and aseptic paradigms in detriment of ecological contexts.

7. ESHOFUNI

*Eshofuni*¹⁰ (Tomé-Marques et al., 2014) is a multidisciplinary project embracing art, communication design and programming, that proposes an approach to the real-time representation of brain data using a virtual physics engine – built fundamentally in the Max programming environment – and real-time Emotiv EEG BCI signal on performative contexts. *Eshofuni* invokes a conceptual parallelism inspired by Newton's laws of motion and equilibrium – a body continues in its state of rest, or in uniform motion, unless external forces compel it to change that state – and the theory that the brain has a default mode where it develops as a self-organized or spontaneous state without an external input, but for which external perturbations are crucial nevertheless to perform useful computations (Buzsáki 2006). Started in 2013 as a research project to propose and repurpose representational approaches, in real-time and in creative ways, but with objective empirical criteria and support, it evolved to *EshoFuni@TheAbyss*, a step forward in brain data representation relying on a new approach placing it in ecological contexts – now both literally and metaphorically.

9. It is therefore a method that serves to simultaneously denote and characterize event(s) and place(s)/location(s) of a phenomenon.

10. Eshō-funi is a Japanese Buddhist term: esho is a compound of shoho, meaning life or a living being, and eho, its environment. Funi, meaning “not two,” indicates oneness or non-duality. It is short for nini-funi, which means “two (in phenomena) but not two (in essence).” Ho of shoho and eho means reward or effect. At the most fundamental level of life itself, there is no separation between ourselves and the environment.

7.1. ESHOFUNI@THEABYSS

The Abyss is an ecological system inhabited by entities with graphic and sonic forms – inspired by the creatures that constitute plankton, such as, for e.g., zoids¹¹ – that interact among themselves and with the *Eshofuni* qua performer’s avatar, thus allowing the set to denote the performer’s brain processes that are hence generated and conditioned within this environment.¹² It uses real-time and longitudinal statistics (e.g., real-time retrieval iterated with analysis, segregation and cumulation), applying filtering (band and multiple order) and Fast Fourier Transforms (FFT). It is based on two models: 1) alpha asymmetry to denote emotional processes;¹³ 2) Emotiv COG¹⁴ as procedures to support executive functions, i.e., conscious control.

It is an evolutionary system that co-implements behavioural algorithms to allow autogenesis and independent evolution. Entities that inhabit the *Abyss* have their own *independent* and interactive life. Some of them are connected with different clusters of the brain metaphor (i.e., *Eshofuni* – which is also an entity inhabiting the *Abyss*). Those clusters are brain sites correlated with the EEG 10/20 system.¹⁵ Evolution happens when specific clusters of the brain – e.g., F3 – are triggered by events that happen in this ecosystem. That is, when spectral and oscillation patterns related to complex brain specific processes – e.g., volition, emotions – are detected, the system denotes these phenomena as changes in the representations (the *all* metaphor). This evolution can be characterized by the recodification of color, changes (complexification) in forms, sounds, or whatever inventive representation we think of insofar as it fulfills our purpose and criteria. This means that a time-frame of longitudinal cumulative changes in a site could be denoted by the consequentially changed character of the constituents related (*connected*) to the respective site.

11. Zoids are the beings that constitute the Siphonophores – the longest animals on the planet.

12. The *Eshofuni@TheAbyss* approach is highly inspired in the “Plankton Chronicles” project (www.planktonchronicles.org), a documentary series based on very short videos about the life and characteristics of planktonic organisms – errant, from Greek planktos.

13. Alpha asymmetry is a theory that proposes that the frontal inter-hemispheric brain EEG differential on this specific band could be correlated with emotional processes. The purpose of this paper is not, however, to discuss the theory.

14. Emotiv COG (Cognitive suite) is a *machine learning* proprietary algorithm by Emotiv Inc that enables volitional control of software functions after training.

15. A standardized physical method to describe and apply the location of electrodes on the scalp, adopted in 1955 by the International Federation in Electroencephalography and Clinical Neurophysiology (Teplan 2002) where brain sites and hemispheres are designated by letters and numbers – e.g., F3, denotes a site on left frontal lobe.



Figure 1 *Eshofuni@theabyss*, four frames of the system.

8. DISCUSSION, PURPOSE AND STRATEGIES OF AN NOVEL APPROACH

When science proposes that the brain has the ability to create the self from sensing one's physiology, maybe we should see this as a kind of low-level computation that deals with hardware parts and details, and the consciousness as a kind of high-level computation that deals with abstractions and pure concepts.

We accept that the brain can have a conscious endo-reality, one that may only communicate with the exo-reality (the environment) via non-haptic abstract interfacing, disassociated from any specific corporeal instance, but which is however embodied in our hardware (i.e., human physical constitutive element). This embodiment has created a complex organism with multiple sensors and sub-systems that are interdependent and fundamental to the procedures it has to operate in order to live. A kind of enactive simultaneity where the entity is dependent on the system and is conditioned by it, but at the same time, has a personal perspective and understanding of the system, its icons and symbols, and acts on it according to this understanding. This means that the complexities of both the environment and the entities are bi-directional and impact each other. We are also empowered with the notion of ourselves as agents that can act in coherence with the available options (*affordances*) derived from the dynamics of the entity-environment relationship, but which can also refuse to act with respect to incoherent deliberations.

Another important aspect related to the brain is that there are brains – millions of them – not only one brain. This means that there are millions of endo-realities, and consequently millions of perspectives about the environment in which each one operates, i.e., there are also multiple exo-realities. All these aspects raise huge problems concerning the ultimate objectiveness of any representational recipe.

Brain phenomena are extraordinarily complex and can be approached, studied and represented from many perspectives, involving multiple methodologies and strategies, but this complexity raises indisputable problems to their decoding. Even within contexts of quantitative empirical approaches, although science has uncovered certain consensual patterns that denote brain specific processes, the findings are far from being secure.

No less important, given that the artistic performative live act is an environmentally-dependent, participatory and multi-contributive event, where the parts share and build a set of interlinked events – as proposed, a dynamic process of aesthetic experience, reasoning and emotions – one can only infer and assess certain phenomena within the context in which they arise, while still running the risk that the complexities inherited from their related environment could compromise the understanding of the data.

As suggested, there are specialized apparatuses and software procedures (e.g., brain-computer interfaces, algorithms) that could transcode brain phenomena into discrete, discernible data, but the fact is that most of the solutions are far from being capable of decoding the immense complexities of the brain's phenomena, comprising thus one of their most important limitations.

As such, this project is, beyond the quantifiable criterion, relevantly inspired by and anchored in holistic ecological concepts where particles (e.g., humans, entities, agents) and the environment interact and develop in an inclusive and integrated manner, where the all is more than the mere sum of the particles – like a super-organism, but one constituted by heterogeneous parts, i.e., entities that have agency and personality that can impact the course of events in unexpected and uncontrollable ways. We strategically use metaphor, because only through metaphor are we (slightly) capable of suggesting the behavior, characteristics, intricacies, complexities and synergies of the endo-exo *reality* simultaneity and the entities that operate it and within it.

According to our research, this is the first real-time statistical system that is multimodal and which is used as a strategy and methodology to process multiple operations in order to simultaneously access, use and denote (or connote) multiple brain phenomena, namely volition and emotions (in this particular case), as well as *independent* environmental occurrences (i.e., those derived from the interactive behavior of the system constituents other than those that could denote any brain specific phenomenon) and the consequences of all processes (i.e., evolution of the entire system along a timeframe). Therefore, this project becomes a real-time, chronological documentary system.

Finally, among the most important aspects in this context – and for us as artists –, is the urgent need to break rules and abolish assumptions postulated and committed by reductionist and restrictive theories, assuming that breaking rules (and assuming risks) is crucial to opening other novel hypotheses for the same problems addressed in the respective theories and, consequently, find new answers. Even in science nothing should be taken for granted.

9. FUTURE RESEARCH

This does not mean that we do not subscribe to scientific quantitative criteria to process data based on proven and consensual methods. On the contrary, this project is grounded on scientific EEG methodologies

and this alignment also makes us highly aware that our approach is far from being perfect. For example, the use of independent component analysis is very *primitive*. Future work will focus on reviewing, updating and/or applying new methods of real-time analysis and artifact removal in order to achieve a more rigorous data interpretation. We are also working on alternative algorithms such as Hidden Markov Models¹⁶ to help to devise new ways of implementing iterative evolutionary learning (machine learning), as an alternative to the Emotiv COG paradigm (proprietary algorithms).

ACKNOWLEDGEMENTS

This project was partially funded by ERDF (FEDER) through the Operational Competitiveness Program – COMPETE – and by national funds through the Foundation for Science and Technology – FCT – in the scope of project PEst-C/EAT/UI4057/2011 (FCOMP-OI-0124-FEDER-D22700).

REFERENCES

- Beer, Randall.** *Autopoiesis and Cognition in the Game of Life*. in *Artificial Life* 10, 309–326. Massachusetts: MIT, 2004.
- Buzsáki, György.** *Rhythms of the Brain*. Oxford: Oxford University Press, 2006.
- Damásio, António.** *Self comes to mind*. New York: Pantheon, 2010.
- Drucker, Johanna.** *Humanities approaches to interface theory*. in *Culture Machine Journal*, vol 12, 2011. <http://www.culturemachine.net>. 2011.
- Fukuda, Shuichi (Ed.)**. *Emotional Engineering: Service Development*. London. Springer-Verlag, 2011.
- Hoffman, Donald.** *The Interface Theory of Perception: Natural Selection Drives True Perception To Swift Extinction*. in “Object Categorization: Computer and Human Vision Perspectives,” edited by Sven Dickinson, Michael Tarr, Ales Leonardis and Bernt Schiele:148-265. Cambridge University Press, 2009.
- Jo, Han-Gue, et al.** *The readiness potential reflects intentional binding*. *Frontiers in Human Neuroscience*, Vol.8. Bethesda: NCBI,2014.
- Laurel, Brenda.** *Computer as Theatre*. Reading: Addison-Wesley Publishing Company, 1991.
- Levitin, Daniel.** *This Is Your Brain on Music: The Science of a Human Obsession*. New York: Plume, 2007.
- Llinás, Rodolfo and Paré, Denis.** *Of dreaming and wakefulness*. *Neuroscience* Vol.44, No. 3, 521-535. Oxford: Pergamon Press, 1991
- Malia F. Mason et al.** *Wandering Minds: The Default Network and Stimulus-Independent Thought*. New York: Science, 2007.
- Manovich, Lev.** *The Interface as a New Aesthetic Category*. Online: <http://www.voyd.com/ttlg/textual/manovichtext.htm>, n/a.
- Raichle, Marcus E.** *Two views of brain function*. *Trends in Cognitive Sciences*, Volume 14, Issue 4, 180-190. Philadelphia: CellPress, Elsevier, 2010.
- Rössler, Otto.** *Endophysics – The World as an Interface*. Singapore: World Scientific, 1998.
- Sacks, Oliver.** *The power of music*. in *Brain*, 129, 2528-2532. Oxford: Oxford University Press, 2006.
- Shankar, R Murali, Ramakrishnan A.G..** *Topographic mapping of the brain electrical activity*. in *Nat. Conf. Biomed. Eng., Manipal*, April 9-11, 1998, pp. III-7 to III-9 proceedings, 1998.

16. Hidden Markov Models are statistical models that have been used for the classification of sequential pattern problems.

- Sporns, Olaf.** *Networks of the Brain*. London: The MIT Press, 2011.
- Teplan, Michal.** *Fundamentals of EEG measurement*. in Measurement in Biomedicine: Measurement Science Review, Volume 2, Section 2. Berlin: Walter de Gruyter GmbH, 2002.
- Tomé-Marques, Horácio; Meneses, João; Pennycook, Bruce and Carvalhais, Miguel.** *From the unseen to the s[cr]een. EshoFuni, an approach towards real-time representation of brain data*. Paper presented at xCoAx 2014: Computation, Communication, Aesthetics and X, Porto, Portugal, 2014.
- Tsakiris, Manus; Schütz-Bosbach, Simone and Gallagher, Shaun.** *On agency and body-ownership: Phenomenological and neurocognitive reflections*. Consciousness and Cognition 16, 645–660. Amsterdam: ScienceDirect, Elsevier, 2007.
- Tsuda, Ichiro and Takashi Ikegami.** *Endophysics: The world as an interface*. Discrete Dynamics. in Nature and Society, vol. 7, n4, 213-214. London: Taylor & Francis, 2002.
- Van Gulick, Robert.** *Consciousness*. <http://plato.stanford.edu/entries/consciousness/>, 2014.
- Vidal, Jacques.** *Toward Direct Brain-Computer Communication*. in Annual Review of Biophysics and Bioengineering, L.J. Mullins, Ed., Vol. 2, 157-180. Palo Alto: Annual Reviews, Inc., 1973.
- Von Bohlen, Reuss and Halbach, Albrecht.** *The isolated mammalian brain: an in vivo preparation suitable for pathway tracing*. European Journal of Neuroscience, Vol. 11, 1096–1100. Oxford: Blackwell Science Ltd., 1999.
- Weibel, Peter.** *The world as interface – Toward the construction of context-controlled event-worlds*. in Electronic Culture: Technology and Visual Representation by Timothy Druckrey (Ed), New York: Aperture Foundation, 1996.
- Wilson, Robert. and Foglia, Lucia.** *Embodied Cognition*. <http://plato.stanford.edu/entries/embodied-cognition/>, 2011.
- Zeman, Adam.** *Consciousness*. in Brain, 124, 1263-1289. Oxford: Oxford University Press, 2001.



1 • 2015

Bruno Pereira¹ brunopereira@esmae.ipp.pt

Dimitris Andrikopoulos² dimitrisandrikopoulos@esmae.ipp.pt

Horácio Tomé-Marques³ horaciomarques@esmae.ipp.pt

1/2/3 ESCOLA SUPERIOR DE MÚSICA, ARTES E ESPETÁCULO DO INSTITUTO POLITÉCNICO DO PORTO

1 FACULDADE DE BELAS ARTES DA UNIVERSIDADE DO PORTO

2 NÚCLEO DE INVESTIGAÇÃO EM MÚSICA, ARTES E ESPETÁCULO / IZADS

3 FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO / BOLSEIRO FCT.

PROGRAMA UT AUSTIN | PORTUGAL / ID+

Quartas Paredes

Performance para presença, voz, *fixed media* e manipulação de som e imagem em tempo-real

palavras-chave

artes performativas
estética
tempo-real/ressonância performativa
percepção/cognição/emoções
improvisação vocal/improvisação livre

keywords

performative arts
aesthetics
real-time/performance resonance
perception/cognition/emotions
vocal improvisation/free improvisation

RESUMO

Quartas Paredes é uma peça de arte performativa interdisciplinar que propõe uma reflexão, simultaneamente introspecção e extrospecção, à volta da ansiedade, das percepção de tempo linear/não linear e do espaço físico. A sua abordagem concetual desdobra o evento em ato (tempo-real) e instalação (ressonância do ato), sugerindo – e potenciando – a experiência síncrona e assíncrona da peça. É uma peça substanciada por constituintes sonoros, verbais/não verbais e visuais, criados, emitidos e manipulados de forma estratégica, com o objectivo de colocar questões de ordem filosófica e estética, através de atitude e materialização artísticas. Tem âncora concetual e filosófica no poema “Perfeito é não quebrar” da Sophia de Mello Breyner Andresen. Quartas Paredes é uma criação colectiva de Bruno Pereira, Dimitris Andrikopoulos e Horácio Tomé-Marques. Este manuscrito propõe-se a apresentar o projeto em questões de ordem concetual, cognitiva, performativa, pragmática e, sumariamente, de ordem técnica.

ABSTRACT

Fourth Walls is a performative multidisciplinary art work that suggests an introspective and extrospective reflexion on the subject of anxiety, the linear and nonlinear perception of time and the perception of the physical space. Its conceptual approach is creating a two moment event, the performance event itself (real time performance) and the installation (resonance of the performance) suggesting a synchronous and asynchronous experience of an art work. The Fourth Wall is a collective creation by Bruno Pereira, Dimitris Andrikopoulos and Horácio Tomé-Marques.

DEFINIÇÃO CONCEPTUAL DO PROJETO

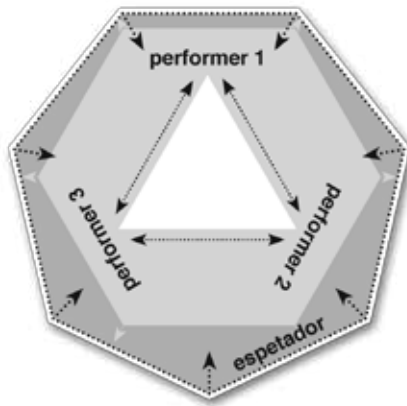
“Quartas Paredes” interage com o conceito já conhecido de *quarta parede* que se refere a uma parede imaginária situada na frente do palco. Para além das 3 paredes físicas existentes nos palcos convencionais esta quarta parede faz a divisão virtual do palco e da plateia e do público. O plural de *Quarta* aponta para a extrapolação desse afastamento para outras camadas de significação e, metaforicamente, para uma crescente claustrofobia do performer dentro do próprio palco, provocada por si mesmo e pelas suas ansiedades impostas pelo contexto.

Na sua génese a *Quarta parede* faz parte da *suspensão da descrença* onde o público (espetador) olha para a ação encenada no palco e decide aceitar momentaneamente que a ação fictícia é real. Diderot terá estado na origem desta expressão quando refere que “caso representeis, pensai no espectador apenas como se este não existisse. Imaginai, na borda do teatro, uma enorme parede que vos separe da plateia.” (Borie, 2004, p. 167).

Antonin Artaud, mais um nome fundamental na mudança de paradigma do papel tradicional de teatro, considerava que as tradicionais barreiras entre o palco e o auditório deveriam ser totalmente removidas e que a ação deveria acontecer em torno do espectador, envolvendo-o; Max Reinhardt sustentava a abolição da separação entre espectador e palco; Brecht, no seu *teatro épico*, incluía inúmeros elementos que implicavam *derrubar a quarta parede* como quando colocava os seus atores em comunicação direta com o espectador, fazendo-o perceber que estava no meio de uma ficção e quebrando o efeito da parede imaginária (Svetina, 2009).

No entanto, a obra “Quartas Paredes” tem o seu foco desviado para o(s) performer(s), em si mesmo(s), num ato individual de catarse da ansiedade de se expor, transparente, no momento da performance e re-inventado na ressonância performativa.

Fig. 1 Ecologia do espaço-tempo
Quartas Paredes



Sinergia ecológica, percepção dinâmica e comportamento

Um ato performativo, aquele com performers e espectadores (enquanto entidades que partilham o ato), é um evento participativo onde ambas as partes partilham e

constroem um conjunto de circunstâncias interligadas simultâneas. É um evento onde constituintes modais – e.g., visual, sónico, olfativo – desencadeiam processos interativos de análise, percepção, apreciação, retorno e co-processamento entre as entidades envolvidas, criando um processo dinâmico e complexo de experiência estética, raciocínio e emoções (Tomé-Marques et al., 2014). Relevante é o facto de que algumas formas artísticas, como a música, serem tão poderosas que podem ativar praticamente todas as áreas conhecidas do cérebro (sistema), incluindo os sistemas mais viscerais – primitivos e profundos – geradores de emoções (Levitin, 2007), assim como provocar comportamentos involuntários, talvez mesmo por coerção (Sacks, 2006).

O performer é, para além de emissor, assim como o espectador, receptor, estando nesse sentido exposto aos constituintes do ato performativo, mesmo que a sua permeabilidade e agência seja diferente da do espectador, por estar em missões/ posições diferentes dentro do respectivo ato performativo e pela sua cognição estar apetrechada de conhecimentos *a priori*, pré-mapeados (Clark, 2008), (pelo menos no contexto onde se insere com esse papel) – unilaterais em relação ao espectador, por isso. É, pois, o performer também entidade que partilha o ato, e está permeável às sinergias geradas no respectivo ato performativo e contexto onde ele se desenrola, apesar da sua agência ser potenciada por aquela sugerida pre-existência mapeada, colocada nesse contexto performativo.

Ora, é possível que pelo facto de se estar perante um super-conteúdo evento, i.e., uma extraordinária quantidade de estímulos a competir entre si, isso recruta/ imponha um número excepcional de processamentos aos centros especializados do sistema – via hiper-estimulação não usual – e contribua para a disrupção da coerência pela incapacidade deste gerir esses momentos não ordinários de estimulação (Baars & Gage, 2007; Scalf et al., 2013). No participante exposto a um super-conteúdo evento, é provável que isso se reflita nas suas competências percepção/cognição.

O desenrolar deste ato torna-se, sugerimos nós, nesse sentido, numa espécie de transgressão do balanço/equilíbrio entre o discernimento (i.e., cognição lógica consciente) e emoções (processamento emocional não consciente, pré-consciente ou mesmo consciente)(Baumeister et al., 2011) que, por sua vez, por consequência, se reflita numa transgressão da percepção do tempo e do espaço, onde a linearidade dos acontecimentos deixa de fazer sentido.

Poderemos pensar, então, o ato performativo como um evento que está entre o discernimento, a capacidade executiva e a perda de noção de tempo e a incapacidade de gestão de emoções, um fenómeno onde a *iteração* emissão, recepção, percepção, cognição, reação/atuação se perde enquanto possibilidade cronológica e hierarquizada, i.e., onde a fruição é possivelmente levada a assumir uma dimensão não canónica.

Ato e ressonância

Como qualquer evento o ato performativo tem um impacto real na cronologia do tempo. O tempo, a sucessão de “agoras” como definido por Heidegger, é alterado pela apresentação de uma narrativa como a de “Quartas Paredes”. Mesmo que seja uma narrativa sem um início, meio e fim claramente definidos afeta a sucessão de “agoras”. Perturbando o tempo linear procuramos ler e compreender o presente. Isto irá,

ainda de acordo com Heidegger (Chanter, 2001), ajudar-nos a melhor compreender o passado e o futuro. Este novo discernimento do futuro conduz-nos ao exercício do alongamento do tempo (*time-stretch*), uma extensão temporal que projeta o momento da performance num futuro “agora”. Como as ondas de choque produzidas por uma pedra que mergulha num lago também a performance perturba o cronos com múltiplas consequências que podem ser exploradas artística e esteticamente criando um conjunto de camadas de eventual significação e afetando o processo de transformação do evento que instiga a ressonância performativa.

Utiliza-se pois, a performance, ela mesma, como matéria prima, bruta, para a sua própria transformação funcionando como constituinte do material temático que é moldado numa nova linearidade temporal, uma nova sucessão de “agoras”, uma nova relação espaço-temporal com a sobreposição de fragmentos do tempo *passado*, recombinados, transformados, filtrados, criando uma “zona” (Gil, 2004) do resultado do conjunto de micro-percepções que modelam a macro-percepção da experiência. Esta dualidade entre tempo cronológico e tempo *Aion* (o tempo individual relativo à duração da experiência) oferece a cada um a possibilidade de desconstruir a narrativa temporal cronológica.

Esta experiência, controlada pela interação das micro-percepções, permite a existência de novas camadas da macro-percepção de cada instante e, como tal, permite a construção de um presente novo e individual.

Fig. 2 Quartas Paredes, frame amostra da Performance tempo-real, ESMAB – Escola Superior de Música, Artes e Espetáculo, Sala Preta, 2014 (captação Horácio Tomé-Marques).



Esta interessante característica desafiou a obra a realizar um exercício de reinvenção de um tempo distendido que conduziu à metamorfose da performance numa instalação que se apresenta em pós-performance, ressonância do ato, aqui identificada pelo conceito de Ressonância Performativa.

Para a construção da Ressonância Performativa recorreu-se à criação e produção de um objeto audio-visual, consubstanciado numa projecção sobre planos de receção translúcidos e sistema sonoro estéreo¹ que utiliza o mesmo material temático da

Fig. 3 Quartas Paredes, fotografia Ressonância Performativa, Museu Municipal Abade Pedrosa, 2014 (fotografia Horácio Tomé-Marques)



performance. Um objeto audio-visual que tecnicamente estivesse sem *feeds* de imagens adicionais evitando a contaminação da ressonância com a improvisação em tempo-real do momento performativo. Esta projeção-instalação recorre à utilização do Max/MSP² na perspectiva de introduzir um elevado grau de aleatoriedade à Ressonância Performativa apontando, no limite, para a constante renovação não repetitiva das combinações entre constituintes video-gráficos, constituintes sonoras (áudio composto) e a gravação da improvisação vocal durante a parte do evento *ao-vivo*.

A ideia de *time-stretch* que expande a performance *ao-vivo* e se manifesta, a partir desse momento, e sem quebra, numa instalação em devir que sustenta a ideia da obra em movimento. Apesar da exploração assumida do conceito de abertura nesta obra, introduzimos alguns constrangimentos que procuram delimitar o contorno da macro-estrutura da peça com a gestão de fatores como a dinâmica e a textura (com o aumento ou diminuição do número de eventos por unidade de tempo) no decorrer da exposição da instalação que pode ter, ou não, um elemento de interação com o espetador (e.g., a ativação ou cancelamento de determinado elemento mediante a presença ou ausência do espetador).

Regressando à perspectiva do foco no fruitor da obra podemos considerar que a experiência do espetador relativamente à Ressonância Performativa é gerida pelo próprio *auditor* que toma decisões sobre o tempo de contato com a obra apresentando assim um maior grau de abertura no conceito de obra aberta consolidado por Umberto Eco.

“Quartas Paredes”, no seu todo, aproxima-se conceptualmente de uma obra aberta no sentido em que existe um espaço substantivo para a irrepetibilidade dos eventos e para uma clara margem para uma infinidade de leituras por parte do espetador. A conceptualização da obra, estratificada em camadas, inclui o recurso ao simbólico mantendo ainda assim um nível de abstração que dá ao espetador abertura para traçar a sua própria leitura da obra, para se aproximar ou afastar, afeiçoar ou rejeitar, relembrar

¹ Por questões de ordem prática, mas a sua forma de apresentação mais completa, tanto a ressonância como a performance tempo-real – e sobretudo esta – usa sistemas multi-fónicos, i.e., e.g., quadrifonia ou hexafonia.

² Linguagem visual de programação e prototipagem para música e multimédia (Cycling74.com).

ou esquecer. Esta responsabilidade atribuída ao espetador é uma característica adicional de uma obra aberta onde existe um foco importante no fruidor (Eco, 1976).

A improvisação tendencialmente livre, fortemente presente nesta obra, coloca também nos intérpretes (performers) uma outra responsabilidade no momento de tomada de decisões sobre o desenrolar da performance conferindo-lhe alguma imprevisibilidade e, conseqüentemente, um grau de risco no momento processual de fazer escolhas em tempo-real. Nesse momento o performer e o espetador partilham simultaneamente o papel de fruidor uma vez que neste tipo de obras existem momentos onde o performer assume um papel triplo de criador, intérprete e fruidor em si mesmo.

Voz, presença e improvisação

A voz é um elemento singular. Dificilmente conseguiremos encontrar algo tão umbilicalmente ligado ao nosso corpo e ao nosso pensamento. A voz é um mediador “não apenas entre o corpo do sujeito e a sua língua, mas também entre a sua voz e a voz do outro” (Castarède, 1991, p. 142). Ela é o veículo de um ser único que reúne corpo e pensamento num só elemento mediando o corpo e a linguagem.

Desde o *Sprechgesang*, a meio caminho da voz cantada e da voz falada, até à “fragmentação do sujeito vocal” a voz tem percorrido um longo caminho de metamorfose debatendo-se com a sua dupla função de comunicação linguística e de privilegiada fonte de acesso ao material primordial do corpo e do pensamento, de pré-articulação. Muitas vezes a voz “converte-se em movimentos do corpo, o mais perto possível do inconsciente” procurando chegar a uma regressão anterior à fase da “constituição do eu” (1991, p. 200) na expectativa de poder movimentar-se num espaço de tendencial liberdade expressiva.

Em “Quartas Paredes” a voz assume esse lado corporal, metaforicamente de grito. A improvisação livre – sem linguagem de género e ferramenta fundamental na vocalidade e fisicalidade em “Quartas Paredes” – tem um lado de perda de controlo e de resposta intuitiva mas não podemos considerar que esta seja a base única da improvisação livre de pendor artístico. Esta “corrente” de improvisação é tendencialmente uma improvisação que, aceitando a naturalidade de uma reação que se pretende espontânea, parte para a seleção de um conjunto de opções de forma minimamente consciente no desenrolar da improvisação. “O inconsciente fornece as ideias em catadupa desordenada, o Eu faz a seleção” (Schwanitz, 2004, p. 500).

Este equilíbrio, entre controlo consciente na tomada de decisões e a espontaneidade tendencialmente livre não controlada pela convenção, será, certamente, o aspeto artístico diferenciador numa improvisação livre tal como na obra em questão.

Música (fixed media e eletrónica em tempo-real)

Para a construção do material utilizado na criação da parte eletrónica pré-composta da peça, uma abordagem caleidoscópica, igual ao processo de construção formal do evento em tempo-real, foi utilizada.

A voz é um elemento crucial nesta performance, e o único ponto a partir do qual a criação de som poderia ter começado. O poema de Sophia de Mello Breyner Andresen

foi completamente dissecado nos seus constituintes elementares, ou seja, nos sons das vogais (segmentos vocálicos) e consoantes (segmentos consonantais) e indo até construções mais elaboradas, como sílabas (uma emissão de voz completa) e, finalmente, palavras (unidade linguística com um significado).

Depois de todos os sons gravados iniciou-se a pesquisa e processo do desenho do som. O desenho foi baseado no pressuposto de como um som vocal pode ser alterado, ser-lhe atribuído uma nova natureza e desta – enquanto plausível ressonância das qualidades do som substituído para criar uma nova imagem sonora – atribuir-lhe uma nova natureza expressiva. Para este propósito os sons foram tratados no sequenciador Reaper³ com *plug-ins* tais como GRM Tools⁴ e/ou Reaper nativos. Foram usados procesos diferentes, e.g., transformações espectrais, deslocamento ou alongamentos de frequências, processos granulares, criando um vasto repositório de objetos sonoros com diferentes características sónicas e dinâmicas.

Imagem, e manipulação em tempo-real e tempo-diferido

Para que a ideia da possível desestruturação das hierarquias da percepção, da eventual interrupção da razão ou da possível exacerbação das emoções fosse conseguida, tanto no tempo-real performativo, de palco, como na ressonância, precisávamos de uma metodologia que se pudesse relacionar com aquela hipótese. Ou seja um sistema que permitisse a manipulação da sequência video-gráfica de forma tanto linear como não linear, não só enquanto apoio à narrativa sonora e coreográfica, mas também que pudesse trabalhar questões de ordem cognitiva.

O *apparatus* visual é constituído por sistema de captação, com dupla câmara, uma com sensibilidade *quasi* infra-vermelhos, e projecção de video sobre o performer 1 (voz), mas estando este entre dois planos de recepção, um anterior translúcido e outro posterior opaco. O sistema de controlo de parâmetros é baseado em Max/MSP (num *patch* criado para o projecto), num interface cérebro computador e em algoritmos proprietários (ambos Emotiv⁵, neste caso particular) que alimentam o *patch* e que permitem controlar/manipular os constituintes video-gráficos nas dimensões continuidade e descontinuidade da persistência de visão⁶, através da possibilidade de sobreposição de múltiplas projecções com desalinhamento/dessincronização dos quadros entre aquelas, com diferentes transparências e tempo de dessincronização. Criamos assim um (sub)sistema de controlo cognitivo, que representa o processamento racional dos constituintes (i.e., volição consciente) e um segundo (sub)sistema, com capacidade de medição da excitação/valência, que representa o processamento emocional.

Na sua essência, o *apparatus* audiovisual, que expõe a ressonância, baseia-se também na fragmentação ou desmultiplicação/multiplicação do sistema visual, mas controlado em tempo-diferido por um fluxo de dados electrofisiológicos (EEG), mas reais, adquiridos no ato (tempo-real) pelo performer 2, e da alimentação da narrativa por objetos sonoros de forma aleatória.

A instalação é constituída por superfície de recepção formada por 4 camadas – base, opaca, mais 3 translúcidas – com pragmatização da colocação entre si baseada no mesmo paradigma que orientou a segmentação da narrativa, i.e., no *fibonacci*. Isto potencia não só o conceito âncora, por esta sua configuração estrutural, mas

3 Reaper – Uma aplicação completa de produção de áudio e midi multipista – gravação, edição, processamento, mistura e masterização (<http://www.cockos.com/reaper/>).

4 GRM Tools – Uma série de *plug-ins* do Institut National de l’Audiovisuel para processamento digital de áudio em tempo-real (<http://www.inagrm.com/accueil/outils/grm-tools>).

5 Emotiv – Uma companhia de neurotecnologia que desenvolve sistemas – interfaces cérebro computador e software – baseados nas teorias e ciências da electroencefalografia (EEG) (<https://emotiv.com/>).

6 Nota: a teoria da persistência da visão não é consensual nas ciências da visão, mas enquadrada historicamente os audiovisuais em geral e o cinema em particular (Anderson & Anderson, 1993) e isso interessa-nos no contexto deste manuscrito.

também porque a deslocação do observador em relação à paralela do cone óptico de projeção, i.e., à perpendicular ao plano de projeção, potencia uma percepção de deslocação subjetiva dos planos e consequente desfoque dos objetos gráficos. Esta possibilidade adiciona, assim, a eventual disrupção da percepção do espectador, sublimando-se aqui um dos propósitos da obra.

A OBRA, QUARTAS PAREDES

Ainda nos estádios iniciais das decisões, relacionadas com a forma e estrutura da performance, uma questão proeminente surgiu como resultado do conceito básico por detrás do trabalho. Como se poderia criar uma performance que deveria ter dois caracteres temporais, um linear, resultando na performance linear/tempo-real do trabalho, e uma realidade temporal, pós-performance, composta de vários segmentos da performance rearranjadas aleatoriamente, formando uma ressonância da própria performance? Como é que essa ressonância poderia ser expressa numa nova linha do tempo musical que mantivesse um relacionamento com a ideia inicial? Necessitaria ela de manter um relacionamento com esta ou poderia criar uma nova realidade, uma nova identidade, criando uma interpretação da versão estática do trabalho?

A fim de criar uma ressonância modular, não-linear, da performance, foi criada uma estrutura muito bem definida da versão da performance para tempo-real. Em termos cronológicos, a duração do trabalho para tempo-real é de aproximadamente 20 minutos. Para a segmentação cronológica das diferentes partes, foram escolhidos o uso do número ϕ ($\phi = 0,618$) e a relação ϕ entre as várias partes.

A escolha de ϕ como uma proporção de segmentação está diretamente relacionada com a possibilidade de modularidade dos diferentes segmentos produzidos a partir da primeira unidade métrica, tal como definido no estruturas arquitetónicas e explicado no ensaio “O Modulor” (1948) por Le Corbusier⁷. Le Corbusier, seguindo uma longa tradição de filósofos, artistas e arquitetos, e.g., Vitruvius, Leonardo da Vinci, Matila Ghyka, usou o ϕ e a grelha proporcional produzida com base no corpo humano, a fim de criar um sistema antropométrico de proporções usada posteriormente em projetos arquitetónicos. Como em outras artes e ciências, a criação da música/performance aplicou dois métodos básicos que tentam alcançar um equilíbrio entre as qualidades dramáticas e expressivas e um máximo possível de precisão formal de uma obra: simetria exata ou bissecção. Como (um) método e rácio para a bissecção, há uma longa história que relaciona ϕ com música e composição.

O tempo funciona simplesmente de forma linear. Um grande desafio, e um ponto de partida da reflexão durante o processo de composição das “Quatro Paredes”, foi a busca de uma solução sobre como um evento performativo linear, com uma estrutura formal fixa e uma narrativa dramática pré-decida, pode ter uma ressonância pós-tempo-real performance.

Para a parte performativa em tempo-real, como mencionado anteriormente, foi escolhida uma unidade cronométrica rigorosa de 20 minutos. A partir desta unidade, uma série de números foi produzida seguindo o rácio ϕ : 20, 12,3, 7,6, 4,7, 2,9, 1,8, 1,1, 0,7, 0,4. Quando convertido para o sistema *heximal* de tempo, aqueles rácios formaram as unidades de segmentação do tempo: 20’, 12’20”, 7’40”, 4’50”, 2’50”, 1’50”, tempo de 1’05”,

⁷ Charles-Édouard Jeanneret, conhecido como Le Corbusier (1887–1965), é um arquiteto francês nascido na Suíça e um dos pioneiros da arquitetura moderna.

Fig. 4 Exemplo de uma segmentação ϕ .

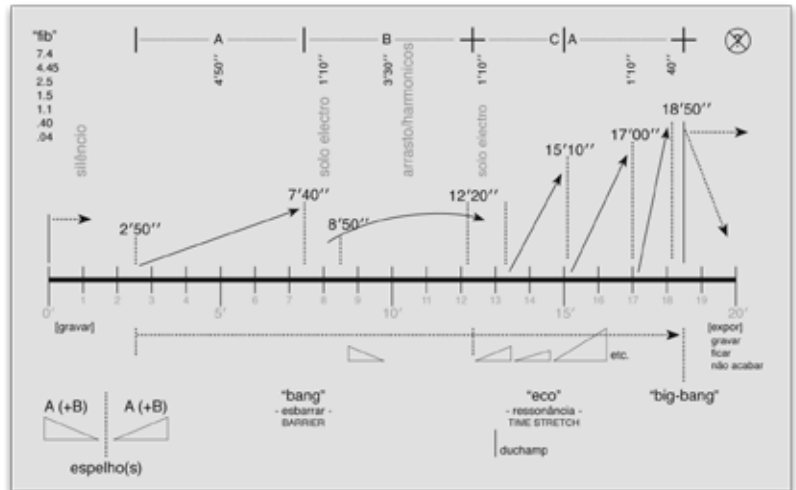


40", 25", todos os números arredondados para segmentos de 5 ou 10 segundos.

Como um primeiro lugar de segmentação na linha do tempo, o ponto de 12'20" foi escolhido (a marca C na fig. 4), sendo esse o ponto Secção Áurea da obra. Como segundo lugar de segmentação, derivando diretamente do conceito da peça, a ideia de um espelho-ressonância do primeiro sítio, escolheu-se o ponto 7'40". 7'40" é também o ponto negativo da Secção Áurea (a marca D na fig. 4). Esses dois momentos criaram os dois pilares temporais do trabalho; foi sobre estes que a restante segmentação foi baseada. As outras, resultaram de decisões relacionadas com o desenvolvimento dramático do trabalho, mas também utilizando livremente as unidades numéricas acima mencionadas.

Ao nível da macro-forma, a obra "Quatro Paredes", seguindo sempre a ideia de espelho, a inversão de elementos, o alongamento de tempo, é segmentada em três áreas/segmentos maiores. Há duas partes do laterais, maiores, seguindo uma linha semelhante de desenvolvimento dramático e uma tensão mais baixa, contrastando com a seção intermédia. A primeira parte nasce no início e vai até aos 7'40". Esta secção é caracterizada por um crescendo contínuo, a partir de uma parte inicial com 2'50" de completo silêncio até ao primeiro pilar da obra. A parte central do trabalho é uma parte de menor intensidade, uma parte onde há mais espaço para a introspecção dos elementos e a que introduz o espaço para a parte mais disruptiva, terceira e última parte do trabalho.

Fig. 5 Fluxograma – pragmatização do conceito narrativo e segmentação temporal.



Um *big-bang* aos 12'20" marca o início da última parte da peça, uma parte que é composta de cinco partes mais curtas. As ideias de tempo de alongamento, de ressonância invertida, de aumento constante de tensão decorrente da pressão emocional e da ansiedade do(s) performer(s), são refletidas diretamente em micro-formas e de como esta última parte é organizada. Aqui, as quatro partes iniciais estão sempre a aumentar a sua duração e a tensão dinâmica, chegando aos 18'50". A última parte, com 1'10", é usada como um ponto de descompressão da tensão que foi construída nesta última parte do trabalho. Algumas questões práticas foram considerados neste ponto: em primeiro lugar, é o sítio onde a ressonância da performance-tempo-real começa a operar e onde o tempo-real dá lugar à performance-instalação, i.e., a ressonância *a posteriori*; em segundo lugar, movendo-se esta última parte para o silêncio, cria uma ciclicidade na forma total da performance, fechando um ciclo estrutural que cresce a partir do silêncio, e dando agora, finalmente, espaço à sua ressonância.

CONCLUSÕES

O grande desafio em "Quartas Paredes" foi criar uma estrutura formal que funcionasse linear e não-linearmente com concretização no evento *ao-vivo* (tempo-real) e na sua Ressonância Performativa, respetivamente. Num ambiente interdisciplinar de criação colectiva colaborativa⁸ desenhou-se um objeto performativo estético, com a preocupação de provocação sensorial dos espetadores e simultaneamente dos performers numa proposta ecológica de ato performativo. Por meio de metodologias, estratégias e soluções artísticas e técnicas, implementadas na performance/instalação, três áreas das artes performativas construíram o objeto que este manuscrito expõe e analisa.

FUTUROS DESENVOLVIMENTOS

Os investigadores/artistas pretendem continuar no processo de exploração do corpo e da voz na sua fisicalidade e na sua configuração musical e imagética ao mesmo tempo que exploram as suas relações colaborativas e respetivas heranças do conhecimento individual (performance, música/composição, arte e comunicação visual). Com a criação prevista de uma performance de mais largo espectro pretende-se explorar esteticamente as várias componentes artísticas referidas através de e.g., desenvolvimento da improvisação vocal livre, utilização de potenciais bio-elétricos, exploração dos potenciais tímbricos do instrumento da voz na interação da composição formal com eletrónica em tempo real.

AGRADECIMENTOS

A Adriano Rangel, Doutor, orientador de Bruno Pereira, a Miguel Carvalhais, Doutor e Bruce Pennycook, PhD, orientador e co-orientador de Horácio Tomé-Marques, nos seus projetos de doutoramento.

REFERÊNCIAS

Alperson, P. (1980). "*Musical Time*" and *Music as an "Art of Time"*. The Journal of Aesthetics and Art Criticism. Vol. 38, No. 4, pp. 407-417.

⁸ Não sendo uma questão central neste manuscrito, é importante referirmos que Quartas Paredes também se transformou num laboratório criativo e de experimentação, uma possibilidade colocação e confrontação de ideias, de debate sobre questões de vária ordem, e.g., filosófica, estética, artística, técnica, e, num sentido mais abrangente, responde a uma necessidade a que a escola onde os autores são agentes (enquanto pedagogos e performers) vem perseguindo, assumindo-se mesmo como desígnio, que é exatamente a concretização de projetos onde o cruzamento de conhecimentos, competências, desejos e ambições das diferentes áreas que ela alberga seja efetivo.

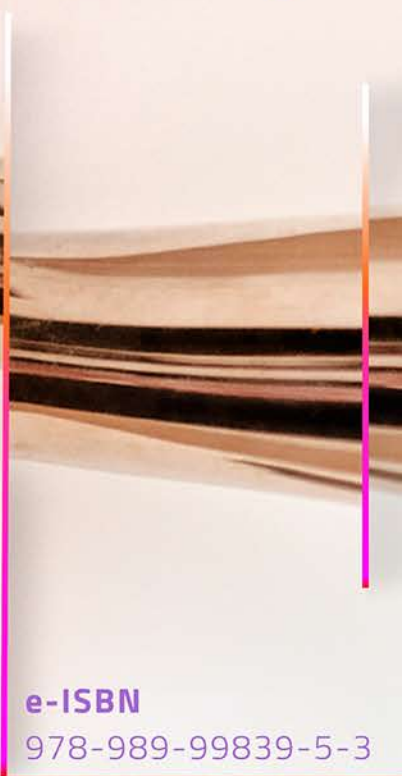
- Anderson, J., & Anderson, B. (1993). *The myth of persistence of vision revisited*. *Journal of Film and Video*, 45(1), 3–12.
- Andrikopoulos, D. (2013). *A Portfolio of Compositions*. (Doctoral Dissertation). University of Birmingham.
- Baars, B. J., & Gage, N. M. (2007). *Cognition, Brain, and Consciousness: Introduction to Cognitive Neuroscience*. Academic Press.
- Baumeister, R. F., Masicampo, E. J., & Vohs, K. D. (2011). *Do conscious thoughts cause behavior?* *Annual Review of Psychology*, 62, 331–361.
- Borie, M., Rougement, M., Scherer, J. (2004). *Estética Teatral: textos de Platão a Bertold Brecht*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Castarède, M-F. (1991). *A voz e os seus sortilégios* (M. J. V. Figueiredo, Trans.). Lisboa: Editorial Caminho.
- Chanter, T. (2001). *The Problematic Normative Assumptions of Heidegger's Ontology*. In Holland Nancy J. and Huntington Patricia (eds.): *Feminist Interpretations of Martin Heidegger*. Pennsylvania: The Pennsylvania University Press, 73–108.
- Clark, A. (2008). *Supersizing the Mind: Embodiment, Action, and Cognitive Extension*. Oxford University Press.
- Corbusier, Le (1961). *The Modulor : A Harmonious Measure to the Human Scale Universally Applicable to Architecture and Mechanics*. Faber & Faber Limited.
- Eco, U. (1976). *Obra Aberta*. São Paulo: Editora Perspectiva.
- Gil, J. (2004). *Movimento Total. O Corpo e a Dança*. São Paulo: Iluminuras.
- Honkanen, K. (2007). *Aion, Kronos and Kairos: On Judith Butler's Temporality*. [In EN]. *SQS: Journal of Queer Studies in Finland* 2, no. 1: 12.
- Howat, R. (1986). *Debussy in Proportion: A Musical Analysis*. Cambridge University Press; New Ed edition.
- Levitin, D. J. (2007). *This is Your Brain on Music: The Science of a Human Obsession*. Plume.
- Livio, M. (2008). *The Golden Ratio: The Story of Phi, the World's Most Astonishing Number*. Paw Prints.
- Madden, C. (2005). *Fib And Phi In Music: The Golden Proportion In Musical Form*. High Art Press.
- Sacks, O. (2006). *The power of music*. in *Brain*, 129, 2528–2532. Oxford: Oxford University Press.
- Scalf, P. E., Torralbo, A., Tapia, E., & Beck, D. M. (2013). *Competition explains limited attention and perceptual resources: implications for perceptual load and dilution theories*. *Frontiers in Psychology*, 4.
- Svetina, I; various. *Occupying Spaces: experimental theatre in Cental Europe: 1950–2010*. 2009. Ljubljana: National Theatre of Slovenia.
- Tomé-Marques, H., Pennycook, B., Carvalhais, M. (2014). *Brain, the ultimate enactive interface?*. In: INTER-FACE: International Conference on Live Interfaces 2014, 19–23 November 2014, Lisbon, Portugal, 190–199.

#16.ART

Livro de Atas
2017

Encontro Internacional
de Arte e Tecnologia

International Meeting
of Art and Technology



artis intelligentia:

e-ISBN

978-989-99839-5-3

i m a g i n a r
o r e a l

I Will Play the Electric Brain

The Manipulation of the Brain's Electric Capacity, and Clusters, Through Sensing and Imagination, to Synthesize Sound Entities

Horácio Tomé-Marques*

Miguel Carvalhais**

Abstract

This project explores the brain's electric field flows of the observation and imagination as the basic matter of a complex sound synthesizer, where the oscillators are grounded on the raw spectral density and variation of the brain's sensed, amplified and transduced electric potentials. It is also an insight about the inverse problem of the brain electric decoders of temporal recording (or EEG devices), that is, the problems denoting the real source locations of electric sources from the raw signals of the various recorded sites by the electrodes. Finally, it is also a manifest that aims to problematize the consensus on and about the sources of certain brain electrical phenomena and the postulations about what those phenomena suppose to denote in terms of *phenotypization*.

Keywords

Brain, Sound-art, Electrical-phenomena, Manifest

Introduction

Some recent studies based on Electroencephalography (EEG) empirical observation suggest that the "imagination and reality flow in opposite directions in the brain" (Bergland, 2014; Dentico et al., 2014), and that there is strong evidence of an occipito-parieto-frontal cortical path during the perception of imagery, versus mental replay, and free imagined imagery. Other studies suggested that new EEG techniques allow the classification of music perception with statistically significant accuracy but were unable to classify the imagination of music (Sternin, 2016).

From inducing processes, maybe perceived as embedded with narrative essence, between the exposure to visual stimuli to the imagination of objects, consciously but permeable to the context interference, that could manipulate the brain electricity in ways that synthesize new and not previously available sounding substance, i.e., unprecedented sound objects. Objects that, eventually, intra- and inter-correlate and sequence in such ways that

* Faculty of Engineering, University of Porto / School of Media Arts and Design, Porto Polytechnic

** INESC TEC / Faculty of Fine Arts, University of Porto

might allow, eventually, the all to be perceived as music — which, in fact, is not a goal!

We know that EEG has been confronted with inverse problems. That is, problems on denoting the actual places of the electric signal sources recorded by the electrodes (Nunez & Srinivasan, 2006). However, we are also interested in problematizing the consensus on and about the sources of certain phenomena and the postulations about what those phenomena denote in terms of phenotypization¹.

The incredible paths to a reality cognition

The vision apparatus is very interesting. One of the most relevant aspects is the retinotopy, a general correspondence between the topography of the receptor cells and the topography of the processing cells (Purves et al., 2001). Experiments denoted that the representations formed on the retina neighboring regions are represented by neighboring regions of the

other deeper systems of the vision: first on the retina (just inside the eye, in the posterior part where the rods and cones reside), then, on the lateral geniculate nucleus (a relay center for the visual pathway in the thalamus, at the deep inner brain), and finally in the striate cortex (the primary sensory cortical area for vision) (Purves et al., 2001). This denoted specific visual cell responses to specific visual stimuli and allowed to characterize the visual cells with high level of precision (Van Essen et al., 2001). For example, that some respond better to rectangular graphic shapes, to degrees of intra-rotation of the forms, movement (Wurtz & Kandel, 2000).

Early experiments that denoted the topic characteristics of the visual apparatus were made *in vivo* using intra-cortical electrodes — literally inserting tiny electrodes in the neuron groups of the primary visual cortex —, in the late years of 1950s and early 1960s, using cats as subjects (Hubel & Wiesel, 1959; M.D & M.D, 2004; Rose & Blakemore, 1974)². In fact these early experiences were one of the most important motivations of this project³.



Figure 1 - The Visual Cortex of the Cat, with Colin Blakemore for the Brain Sciences Information Project (1972). (Physiological Laboratory Cambridge, Centre for Science Education; Ferranti).

Cognition and imagination: the reality, as photons from the outside world to the inner brain as abstract imagined memories processed by electric phenomena

Based on strong empirical evidence and consensual understanding derived from systematic observations, we know that the processing of visual reality has an evident path: the outside world enters in the brain via the eyes — the main visual sensors — as stimuli in the form of light signals — photons —; this light is transduced by the eyes' retina main cells — the rods, cones and ganglion —, in electrical signals (a process named phototransduction); then, these electrical signals are carried by the optical nerves from the retina to the visual main cortex on the occipital lobe, the most posterior site of the brain, and the main and basic visual sensory processing system. From there, they travel to other parts of the brain, namely the somato-sensory center, hosted mainly in the parietal lobe, where higher processing is done, such as comparing with previous imagery incisions (memories). From there, they also travel to the frontal lobe, where even higher processing is done, such as "deciding" consciously about what the original outside world that entered in the brain via the eyes is (Kandel, 2013; Spillmann & Werner, 2012; Wurtz & Kandel, 2000).

The particularity of the Alpha waves

Hans Berger, the pioneer of the Electroencephalogram (Berger, 1929; Borck, 2005), showed in 1929, the first evidence of the Alpha os-

cillations also known as "Berger effect" in his memory (Kirschfeld, 2005).

Probably the most relevant aspect of the visual processing is that when humans open or close their eyes, this behavior is almost immediately denoted by alterations of the electric oscillations produced in the primary visual cortex in the occipital lobe, mostly in the Alpha band⁴ That phenomenon is said to be produced by the transition between closed-eye resting states and open-eye "and/or mental effort states, such as doing simple math" (Barry, et al., 2007; Schomer, 2007). Broadly, studies suggest that when the eyes close there is a potential interpretation of this behavior as the onset of pre-sleep — or, at least, a relaxed, less proactive behavior — by the brain's a priori system, which begin a synchronized firing of the occipital cells which lead to a raise of the average electrical amplitude. As the eyes open, the brain potentially interprets this as a return to a proactive state, which leads to a desynchronization of the firing of the occipital cells, denoting a lowering of the average electrical signal (Gomez-Ramirez, et al., 2017; Niedermeyer & Silva, 2005).

Besides a broad corpus of empirical reference data available on this theme, mainly produced in clinical and academic laboratorial contexts with high profile and vastly tested EEG systems, in the last few years of our own laboratorial experiments we were able to see⁵ the occipital alpha phenomena produced by the open or close the eyes. The alteration of the electrical signal is evident even by sight, that is, by naked eye inspection (see Figure 2, A.B.C.) — incidentally, a technique still used and required within clinical contexts by the specialized EEG technicians (Freeman & Quiroga, 2012) —

so, our own empirical experience led us to potentially accept that some evidence is evident.

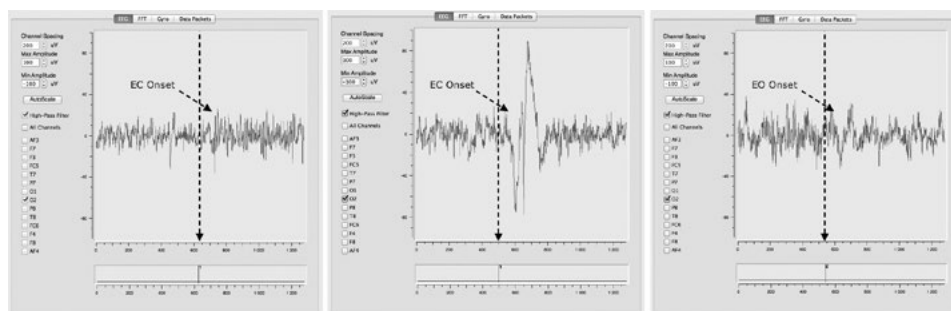


Figure 2, A.B.C. - A visual real-time representation of the EEG in the occipital (only right channel, for convenience of inspection) by 3 different subjects, where the variations of signal are clearly visible between the conditions of closed / open eyes. A and B denotes closing the eyes onset; C denotes opening the eyes onset (Horácio Tomé-Marques, 2017)

The sonification proposals of the brain oscillations

Relevant is the fact that the earlier encephalography scientists experimented to reveal the still “hidden” phenomena of the brain oscillations by proposing and designing sounding EEG apparatus⁶. One of the most known was the *Encephalophone*, by R. Fürth and C. A. Beevers (Fürth & Beevers, 1943), which had latter developments by Castillo & Sherwin (1969).

Mathews, who co-designed with J. F. Toennies the Differential Amplifier⁷ in 1934 (Collura, 1993; Niedermeyer & Silva, 2005), and Adrian also used sound techniques to help to them to “see” the brain oscillations, although commenting that “cortical potentials often rise and subside too slowly to give clearly audible sounds” (Adrian & Matthews, 1934).

The Alpha rhythm (see end note 4) has been one of the most used in various contexts. Although the frequencies in this band zone,

between 8 and 12 Hz, are spontaneous as responses to the visual system behavior and certain stimuli, there have been experiments that look at how to modulate and control them, even consciously, by volition. Edmond Dewan, the scientist behind Alvin Lucier’s *Music for Solo Performer*, known as the earliest brain-based music performance (Lucier, 1965) at that time not composing at all, seized the opportunity. In thinking about what to do with brain waves in musical terms, he realized that alpha waves are so low (around 8–13 cycles per second, (Rosenboom, 1990)⁸ put that this way:

“(…) the Alpha rhythm, the 10 cycles per second rhythm, tends to stay on if you are in a relaxed state. But you can turn them off by... you can turn off, or actually you can say, you cut-down this waves significantly by visualizing something vividly or, as we have found

out, by trying to look through the eyelids and trying to imagine something (...):" (g dome, 2013)

The possibility of absence of the Alpha waves

Many studies that devised the presence and phenomena of the Alpha waves, also suggested that 10 to 15% of the population don't denote, at least clearly, the Alpha eyes open/eyes closed phenomena (Aich, 2014) an evidence already proposed in early days of EEG systems implementation by scientists such as William Grey Walter (Nebylitsyn & Gray, 2013; Walter, 1953). So, epistemological, but also ontological and philosophical, questions arise: don't they envision the world like the other 85 to 90% of the population? Do they imagine the reality as the other percent of the population?

Sound induced vision hallucinations, and vice-versa

There are interesting studies that propose that sound can have strong impact in the visual perception. This includes space and objects size and proportions (Arnett & Goodale, 2006; Tajadura-Jiménez et al., 2017), but also potential hallucinations such as phosphenes — artificial percepts⁹ — (Bolognini, Convento, Fusaro, & Vallar, 2013). There is some evidence that visual stimuli can bias sound perception (Ebendorf, 2007; Tanabe & Iwaki, 2013).

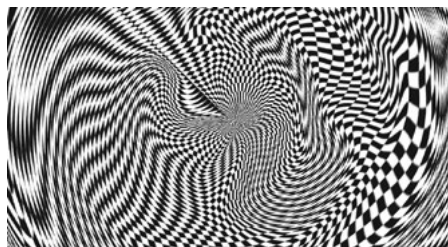


Figure 3 - Figure 3. Artistic depiction of Phosphenes (2008). (AI2, Fiestoforo; CC BY 3.0).

We don't go invasively

EEG acquired at the surface of the scalp only is able to record from clusters of neurons because only cell groups produce enough voltage to allow it, and the sites of EEG are not easy to infer. EEG is good as a temporal decoder but not good as a local informer, that is, is not good at detecting the precise locations where the electrical signals originate (Nunez & Srinivasan, 2006)¹⁰. To surpass this characteristic, science has been using invasive Electrocorticography (ECoG) (Hill et al., 2012) sensory, and motor processes are usually based on noninvasive techniques such as electroencephalography (EEG, and not only in cats. Alternatively, there have been implementations of High-Density EEG. That is, systems that add more electrodes to get more accuracy on locating the sources of the signals (Lantz et al., 2003). But we don't use invasive systems¹¹. Neither we use high-density systems. There are two important arguments here: the costs of those systems are outside the financial possibilities of this project and mostly are not portable; they are confined to clinical contexts. We have been using research grade EEG system, mainly the Emotic Epoc, mainly because its portability allows us to go ecological. That is, to use it in

the context of our art practice, or better said, on stage.

From *raw waves* to *raw sound*, to *sound art*

As we already mentioned early in this text, and in other studies (Baier & Hermann, 2004, 2009), there have been implementations where EEG is translated to sound. They go from direct mapping, as in the case of the experiments in cats, where a 12 Hz oscillation sounds as a 12 Hz sound — like a slow beating saw wave — to others, where, for example, the design was based on an audio carrier of frequency of 1700 Hz which was modulated by the 5 to 40 Hz of the brain waves (Castillo & Sherwin, 1969).

A sound signal, if not a pure sinusoid oscillation, is formed by the sum of many simple/single waves that belong to it (Müller, 2015). Brain waves are complex oscillations too. They are complex waveforms, which are the sum of all the bands that belong to them. We can see them as the result of a natural additive synthesis.

A particular characteristic of the oscillating signals lays on the fact that the waves that have more energy —amplitude— tend to drive those who have less.

Slower waves tend to have more amplitude, and faster tend to have less. With brain waves there is a close relation with this paradigm, although in terms of amplitude, the general accepted amplitudes have slight differences (maybe more relevant is that they depend on the methods and technology applied¹²). For example, Delta, the slowest, from > 0 up to 4Hz, is accepted to be in the range 10-20 microvolt (μV); but Alpha, which is faster, from 8 to 12 Hz, can be in the range of 15-50 μV . But Delta is barely available to be acquired. Theta is available, but is not prominent at the occipital lobe; Alpha is the most prominent and most available; Beta, is available, it is prominent at various sites, but it is faster and has an amplitude by far less powerful than Alpha. Also, the mentioned study by Denticò (2014), about the paths of imagination and reality, is not clear about what waves represent the flow of signals derived from imagination that go from the parietal to occipital lobes, but it seems also that Alpha power increases in the parietal cortex could reflect focused internal attention (Benedek, Schickel, Jauk, Fink, & Neubauer, 2014). Beta waves are characterized to have less amplitude than Alpha. Although Delta and Theta could have more amplitude, they are mostly present in the sleep and are not easily available at the surface of the scalp. Finally, Gamma waves can be available, but are the faster and those who have less energy.

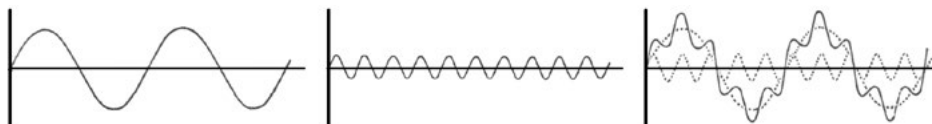


Figure 4 - Waves summation: two frequencies, two amplitudes and the resulting wave. Adapted from *Waveforms: Adding waveforms and Phase* (Mannell, 2008)

But what is imagination (of imagery)? Does it belong to the occipital domain? The paradigm of the modal brain, where specific sites are proposed as specialists in certain tasks, and, broadly accepting the lateralization of the brain functions (Kaufman, 2013). However recent “evidence has now shifted in support of the view that cognition results from the dynamic interactions of distributed brain areas operating in large-scale networks.” (Bressler & Menon, 2010)

Playing with the electricity of the brain

This project is exploring the brain’s electric field flows of the observation and imagination as the basis matter of a complex sound synthesizer, where the oscillators are grounded on the raw spectral density and variation of the brain’s sensed, amplified and transduced electricity but, strategically and methodologically, following a speculative criteria. It is based on the sum and outcome of various years of insight and work. All the mentioned eventual

but potential *problematics*, and also the various approaches to give a sounding representation to the brain waves, were — and are — a challenge to any approach. But it is in our nature to go for the challenges. The most relevant problem has been not any technical aspect, but, yes, the conceptual challenge. The insight has been long, but the approach is indeed rather simple. We mix concepts, methods and techniques, philosophical questions, Additive Synthesis¹³, mathematical calculations, handmade “filters”, and Max/MSP¹⁴ as the main software tool.

Technically, in this chapter, we use the input of streams of the Emotiv raw brain voltage abstraction. Then we remove the DC offset with a running average of the voltage (as if using a high-pass filter), iterate calculations of the maximum of the signal per channel — we decided to use 10 channel to cover the occipital, parietal, and frontal but also the temporal, which is relevant in sound perception and processing — and feed the resulting data in saw and cycle oscillators, not simple but supplemented. That is, each fundamental has at least 4 partials to enhance and allow resonance and

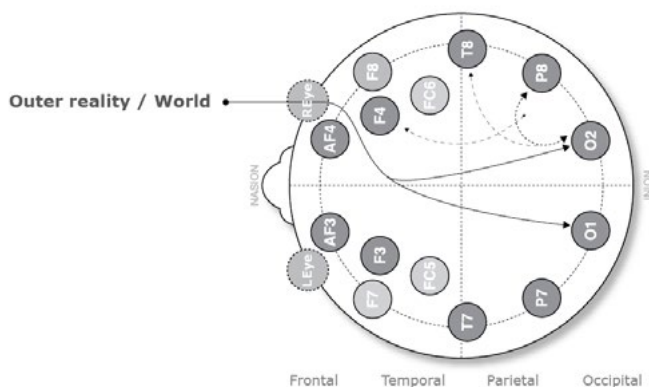


Figure 5 - General System denoting the discussed visual path (just of one eye for convenience), the brain global sites, and electrode sites (which correspond generally to the global sites). (Horácio Tomé-Marques, 2017).

timbre potentials. We also opened the possibility to use Max digital reverberation and delay methods and techniques, and to use the calculated numbers as midi correspondents to drive synthetic instruments (system native or outside based, for example on Reaktor¹⁵). The sound is able to travel from site to site, using multi channel, as a conceptual replica of the possible brain's origin and destination data flow. The results are unique, particular and very promising, opening wide the window of the future!

Final waves

Questions, above all, are central to the arts, but beyond epistemic and philosophical insight and possible biased and arbitrary (non) objective argumentation, we want to speculate on assumptions of the institutionalized knowledge. We also are interested on those many problems as the matter of inspiration and implementation of our ideas. We are trying to not align with any of the previous state-of-art we are aware of. We can even say that we have a political manifesto as a logical quest.

Dedication

This project is dedicated to David Rosenboom, one of the most significant authors, and clear thinkers, crossing art and science, and among the earlier pioneers in the use of brain electric phenomenon in the performative arts, and particularly in music.

Artists Bio

Horácio Tomé-Marques: Multimedia artist. Researcher in neurosciences and neurotechnology. Communication Designer by the Faculty of Fine Arts of the University of Porto; Student at the Doctoral Program in Digital Media, Faculty of Engineering, University of Porto | University of Texas at Austin. Teacher at the School of Media Arts and Design, Porto Polytechnic.

Miguel Carvalhais: Designer and musician. Assistant Professor at the Design Department of The Faculty of Fine Arts of the University of Porto. Researcher at INESC TEC. <http://carvalhais.org>

Notes

¹ The use of the term here is posted with artistic and philosophical tension. Phenotypes are the observable properties of an organism that are used by science to frame the observed organism taxonomically, that is, to relate it to a taxa. The problem is that new approaches to diversity have been putting problems of characterization and definition of "things", including at the most basic understanding and consensus, such a genre. Many axioms about the brain are fragile because they see, explain, classify, and work on it, as fragments of a system. But new openness and studies have been showing that this system — the brain —, is much more than a sum of fragments. So we should approach it in new ways, including unprecedented methods and creativity.

² Some videos about the theme are available on Youtube. A relevant one is a digital version from the Brain Sciences Information Project,

from 1972, posted by Navegador Inclemente, 2012: *The Visual Cortex of the Cat* with Colin Blakemore. Hartley Millar (Editor); David Rowan (Director). Brain Sciences Information Project; Physiological Laboratory Cambridge. London, Centre for Science Education: Ferranti, 1972. <https://www.youtube.com/watch?v=RSNofraG8ZE>

- ³ As a Philosophical input to remember what we have been doing with the other to “satisfy” our infinite curiosity, but also —as Einstein put it— stupidity!
- ⁴ The electrical oscillation of the brain are divided in various rhythms or frequency bands, named and divided, more-or-less consensually, as: 1) Delta, > 0Hz - 4Hz; 2) Theta, 4Hz - 7Hz; 3) Alpha, 8Hz - 12Hz; 4) Beta, 13Hz - 30Hz; 5) Gamma, > 30Hz (Niedermeyer & Silva, 2005).
- ⁵ As a proof of seeing-is-believing, and as a recursive method to help us to validate the EEG system that we have been using mostly, the Emotiv Epoc Research System, a brain computer interface, research graded, by Emotiv Inc., but still a not so high profile compared with the clinical grade EEG systems.
- ⁶ Hans Berger invented in 1929, the Encephalogram, a photographic based technic, as a way to represent visually (REF) the previously, and otherwise, hidden phenomena of the inner electrical brain phenomena. That achievement also catalysed the invention of other EEG approaches to acquire, amplify and reveal that phenomena, namely in other than visual ways.
- ⁷ “the still all-important system of the EEG amplification” (Niedermeyer & Silva, 2005).
- ⁸ There is some documentation that suggests that, in truth, Edmond Dewan was the person

who was the original trigger and motivator of the brain based musical art (Kahn, 2013)

- ⁹ A phosphene is a phenomenon characterized by the experience of seeing light without light actually entering the eye. The word phosphene comes from the Greek words phos (light) and phainein (to show). (“Phosphene,” 2017).
- ¹⁰ The inverse problem is defined as the need to find the brain sources, which are responsible for the measured potentials at the EEG electrodes.
- ¹¹ And we are not interested in using them, at least by now.
- ¹² Please note that “Precise determination of the voltage of each wave is unnecessary and should be discouraged as pseudoaccuracy; too many variables are involved (above all, the interelectrode distance and the type of montage, whether bipolar or referential recording)” (Niedermeyer & Silva, 2005).
- ¹³ Additive synthesis is the process of adding together lots of sine waves with different frequencies to produce a final sound (Russ, 2012).
- ¹⁴ By Cycling 74 (cycling74.com).
- ¹⁵ By Native Instruments (native.com).

References

- Adrian, E. D., & Matthews, B. H. (1934). The interpretation of potential waves in the cortex. *The Journal of Physiology*, 81(4), 440–471.
- Aich, T. K. (2014). Absent posterior alpha rhythm: An indirect indicator of seizure disorder? *Indian Journal of Psychiatry*, 56(1),

- 61–66. <https://doi.org/10.4103/0019-5545.124715>
- Arnott, S. R., & Goodale, M. A. (2006). Distorting visual space with sound. *Vision Research*, 46(10), 1553–1558. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2005.11.020>
- Baier, G., & Hermann, T. (2004). The sonification of rhythms in human electroencephalogram. In *Proceedings of the International Conference on Auditory Display*. Retrieved from <https://pub.uni-bielefeld.de/publication/2017091>
- Baier, G., & Hermann, T. (2009). Sonification: listen to brain activity. In *Music that works* (pp. 11–23). Springer, Vienna. https://doi.org/10.1007/978-3-211-75121-3_2
- Barry, R. J., Clarke, A. R., Johnstone, S. J., Magee, C. A., & Rushby, J. A. (2007). EEG differences between eyes-closed and eyes-open resting conditions. *Clinical Neurophysiology*, 118(12), 2765–2773. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2007.07.028>
- Benedek, M., Schickel, R. J., Jauk, E., Fink, A., & Neubauer, A. C. (2014). Alpha power increases in right parietal cortex reflects focused internal attention. *Neuropsychologia*, 56(100), 393–400. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2014.02.010>
- Berger, H. (1929). Über das elektrenkephalogramm des menschen. *European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience*, 87(1), 527–570.
- Bergland, C. (2014). Imagination and Reality Flow Conversely Through Your Brain [Psychology, Sciences]. Retrieved September 15, 2015, from <http://www.psychologytoday.com/blog/the-athletes-way/2014/11/imagination-and-reality-flow-conversely-through-your-brain>
- Bolognini, N., Convento, S., Fusaro, M., & Vallar, G. (2013). The sound-induced phosphene illusion. *Experimental Brain Research*, 231(4), 469–478. <https://doi.org/10.1007/s00221-013-3711-1>
- Borck, C. (2005). *Hirnströme: Eine Kulturgeschichte der Elektroenzephalographie*. Göttingen: Wallstein Verlag.
- Bressler, S. L., & Menon, V. (2010). Large-scale brain networks in cognition: emerging methods and principles. *Trends in Cognitive Sciences*, 14(6), 277–290. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2010.04.004>
- Castillo, H. T., & Sherwin, I. (1969). Encephalophone: An Electronic Stethoscope for the Brain. Presented at the Audio Engineering Society Convention 37, Audio Engineering Society. Retrieved from <http://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=1335>
- Collura, T. F. (1993). History and evolution of electroencephalographic instruments and techniques. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 10(4), 476–504.
- Dentico, D., Cheung, B. L., Chang, J.-Y., Guokas, J., Boly, M., Tononi, G., & Van Veen, B. (2014). Reversal of cortical information flow during visual imagery as compared to visual perception. *NeuroImage*, 100, 237–243. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2014.05.081>
- Ebendorf, B. (2007). The impact of visual stimuli on music perception. Retrieved from <https://thesis.haverford.edu/handle/10066/996>
- Freeman, W., & Quiroga, R. Q. (2012). *Imaging Brain Function With EEG: Advanced*

- Temporal and Spatial Analysis of Electroencephalographic Signals*. Springer Science & Business Media.
- Fürth, R., & Beevers, C. A. (1943). The Encephalophone: A New Method for Investigating Electro-Encephalographic Potentials. *Nature*, 151(3821), 110–111. <https://doi.org/10.1038/151110b0>
- g dome. (2013). *Brainwave control device by Edmond Dewan, 1964*. Retrieved from https://www.youtube.com/watch?v=FGXMLuDVz_Q
- Gomez-Ramirez, J., Freedman, S., Mateos, D., Velazquez, J. L. P., & Valiante, T. (2017). Eyes closed or Eyes open? Exploring the alpha desynchronization hypothesis in resting state functional connectivity networks with intracranial EEG. *BioRxiv*, 118174.
- Hill, N. J., Gupta, D., Brunner, P., Gunduz, A., Adamo, M. A., Ritaccio, A., & Schalk, G. (2012). Recording human electrocorticographic (ECoG) signals for neuroscientific research and real-time functional cortical mapping. *Journal of Visualized Experiments: JoVE*, (64). <https://doi.org/10.3791/3993>
- Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1959). Receptive fields of single neurones in the cat's striate cortex. *The Journal of Physiology*, 148(3), 574–591.
- Kahn, D. (2013). *Earth Sound Earth Signal: Energies and Earth Magnitude in the Arts*. Univ of California Press.
- Kandel, E. R. (2013). *Principles of Neural Science, Fifth Edition*. New York: McGraw Hill Medical.
- Kaufman, S. B. (2013). The Real Neuroscience of Creativity - Scientific American Blog Network [Science]. Retrieved September 14, 2017, from <https://blogs.scientificamerican.com/beautiful-minds/the-real-neuroscience-of-creativity/>
- Kirschfeld, K. (2005). The physical basis of alpha waves in the electroencephalogram and the origin of the ?Berger effect? *Biological Cybernetics*, 92(3), 177–185. <https://doi.org/10.1007/s00422-005-0547-1>
- Lantz, G., Grave de Peralta, R., Spinelli, L., Seeck, M., & Michel, C. M. (2003). Epileptic source localization with high density EEG: how many electrodes are needed? *Clinical Neurophysiology*, 114(1), 63–69. [https://doi.org/10.1016/S1388-2457\(02\)00337-1](https://doi.org/10.1016/S1388-2457(02)00337-1)
- Lucier, A. (1965). NO IDEAS BUT IN THINGS - The Composer Alvin Lucier - Music for Solo Performer [monography]. Retrieved November 2, 2015, from http://www.alvin-lucier-film.com/solo_performer.html
- Mannell, R. (2008). Waveforms: Adding waveforms and Phase. Retrieved September 18, 2017, from http://clas.mq.edu.au/speech/acoustics/waveforms/adding_waveforms.html
- M.D, D. H. H., & M.D, T. N. W. (2004). *Brain and Visual Perception: The Story of a 25-Year Collaboration*. Oxford University Press.
- Müller, M. (2015). *Fundamentals of Music Processing*. Cham: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-21945-5>
- Nebylitsyn, V. D., & Gray, J. A. (2013). *Biological Bases of Individual Behavior*. Academic Press.
- Niedermeyer, E., & Silva, F. H. L. da. (2005). *Electroencephalography: Basic Principles,*

- Clinical Applications, and Related Fields*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Nunez, P. L., & Srinivasan, R. (2006). *Electric Fields of the Brain: The Neurophysics of EEG*. Oxford University Press.
- Phosphene. (2017, August 11). In *Wikipedia*. Retrieved from <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Phosphene&oldid=795059876>
- Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Katz, L. C., LaMantia, A.-S., McNamara, J. O., & Williams, S. M. (2001). The Functional Organization of the Striate Cortex. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK11112/>
- Rose, D., & Blakemore, C. (1974). An analysis of orientation selectivity in the cat's visual cortex. *Experimental Brain Research*, 20(1), 1–17. <https://doi.org/10.1007/BF00239014>
- Rosenboom, D. (1990). The Performing Brain. *Computer Music Journal*, 14(1), 48–66. <https://doi.org/10.2307/3680116>
- Russ, M. (2012). *Sound Synthesis and Sampling*. Taylor & Francis.
- Schomer, D. L. (2007). The normal EEG in an adult. In *The clinical neurophysiology primer* (pp. 57–71). Springer. Retrieved from http://link.springer.com/apter/10.1007/978-1-59745-271-7_5
- Spillmann, L., & Werner, J. S. (2012). *Visual Perception: The Neurophysiological Foundations*. Elsevier.
- Sternin, A. (2016). Classifying music perception and imagination using EEG. Retrieved from <http://ir.lib.uwo.ca/etd/3769/>
- Tanabe, S., & Iwaki, M. (2013). Effect of Visual Stimuli on Temporal Order Judgments of a Sequence of Pure Tones. *I-Perception*, 4(4), 229–238. <https://doi.org/10.1068/i0517>
- Van Essen, D. C., Lewis, J. W., Drury, H. A., Hadjikhani, N., Tootell, R. B., Bakircioglu, M., & Miller, M. I. (2001). Mapping visual cortex in monkeys and humans using surface-based atlases. *Vision Research*, 41(10), 1359–1378.
- Walter, W. G. (1953). *The Living Brain*. Norton.
- Wurtz, R. H., & Kandel, E. R. (2000). 27 Central visual pathways. In *Principles of neural science* (Vol. 4, pp. 523–545). Retrieved from http://www.weizmann.ac.il/neurobiology/labs/ulanovsky/sites/neurobiology.labs.ulanovsky/files/uploads/kandel_ch27_ch28_visioncentralmotiondepthform.pdf