UNIVERSIDADE
BEIRA INTERIOR

Arquitetura e Biofilia
Macro Análise da Aura do Espaço
(versão final após defesa)

Filipe Penetra Miranda

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Arquitetura
(mestrado integrado)

Orientadora: Prof.ª Doutora Andreia Sofia Oliveira Garcia

agosto de 2025

Folha em branco

Declaração de Integridade

Eu, Filipe Penetra Miranda, que abaixo assino, estudante com o número de inscrição 42019 do Metrado Integrado em Arquitetura da Faculdade Engenharia, declaro ter desenvolvido o presente trabalho e elaborado o presente texto em total consonância com o **Código de Integridades da Universidade da Beira Interior**.

Mais concretamente afirmo não ter incorrido em qualquer das variedades de Fraude Académica, e que aqui declaro conhecer, que em particular atendi à exigida referenciação de frases, extratos, imagens e outras formas de trabalho intelectual, e assumindo assim na íntegra as responsabilidades da autoria.

Universidade da Beira Interior, Covilhã 28 /08 /2025

Folha em branco

Notas prévias:

A presente dissertação está redigida segundo o novo acordo ortográfico com exceção das transcrições em que se respeita os acordos originais dos autores.

As citações referentes a edições de língua não portuguesa, encontram-se maioritariamente na língua original ou foram livremente traduzidas pelo autor em nota de rodapé.

As imagens provêm de fontes distintas, nomeadamente arquivos de autor, artigos de publicações e periódicos. Os créditos das fotografias, desenhos ou elementos gráficos estão discriminados nas referências gráficas e não devem ser reproduzidos sem recurso à fonte original.

Relativamente ao código formal do corpo de texto: o *itálico* serve sentidos metafísicos, e palavras de origem estrangeira; as "aspas duplas" indicam citações inseridas no corpo de texto e referências autorais; e **bold** para reforçar palavras e, consequentemente, conceitos.

Folha em branco

Dedicatória

A quem sabe...

Sabe escutar;
Sabe observar;
Sabe sentir;
Sabe pensar;
Sabe persistir;
Sabe respeitar;
Sabe alimentar;
Sabe perdoar;
Sabe elogiar;
Sabe argumentar;
Sabe surpreender;
Sabe dar;
Sabe receber;
Sabe proteger;
Sabe pedir desculpa;
Sabe sonhar;
Sabe inspirar;
Sabe ensinar;
Sabe construir;
Sabe confiar;
Sabe cuidar;
Sabe sorrir;
Sabe ser;

Sabe criar!

Folha em branco

Agradecimentos

A conclusão desta dissertação não é apenas o reflexo de mim e do meu esforço individual, mas também o somatório da presença, do apoio e da confiança que recebi ao longo desta jornada. A cada pessoa que, de alguma forma, contribuiu para que este percurso fosse possível, dedico estas palavras de gratidão.

Aos **meus pais**, por serem o alicerce que me permitiu continuar a sonhar e a aprender, independentemente da fase da vida em que me encontrasse. Obrigado por nunca desistirem de mim e por me darem a liberdade de percorrer este caminho. Sem o vosso apoio, esta conquista não teria sido possível.

Aos **meus avós**, que foram mais do que avós: foram também pais, mestres de vida silenciosos e os primeiros a ajudar a moldar a minha essência. A vossa presença foi determinante para o desenvolvimento do meu subconsciente, para a construção dos meus valores e para a pessoa que sou hoje. Levo comigo cada ensinamento, cada gesto de amor e cada memória que me fortaleceu ao longo do tempo.

À **professora Andreia**, pelo acompanhamento ao longo deste percurso e pela confiança depositada em mim. Agradeço por ter reconhecido o meu potencial desde o primeiro ano da universidade e por ter permitido que o trabalho tomasse um rumo diferente do inicialmente proposto.

Aos **meus companheiros de infância e de faculdade**, que tornaram esta caminhada mais rica e memorável. As conversas, as partilhas e os desafios que enfrentámos juntos foram fundamentais. Obrigado por estarem presentes, por cada sorriso, e por fazerem parte da minha história.

A vossa companhia nesta caminhada foi um impulso constante para seguir em frente, para acreditar no meu próprio potencial e para enfrentar os desafios com mais coragem e determinação. Obrigado por estarem sempre ao meu lado, obrigado por me permitirem sonhar. A todos vocês, o meu mais profundo agradecimento. Esta conquista é, em parte, vossa.

Folha em branco

Prefácio

No início desta investigação encontrava-me num lugar que me era estranho, viajando por caminhos escuros e sem rumo. Ao procurar aprender sobre um tema que me interessa intrinsecamente, deparei-me não só com uma profunda aprendizagem intelectual, mas também "espiritual" e de autoconhecimento.

Como uma pessoa às portas da morte observa um feixe de luz, o cosmos presenteou-me com uma chance de redenção sob a forma de um anjo que vê mais do que a superfície e as cicatrizes que a marcam, um anjo que vê a essência e, acima de tudo, tem a paciência de nunca permitir desistir sob qualquer obstáculo.

Nesta jornada, digna de uma mimetização contemporânea da Divina Comédia de Dante, revivi em mim, e observei no mundo tudo o que de mais putrefacto existe. Foi necessária uma observação dos vários níveis do inferno que normalizei sem questionar, para conceber a idealização de melhoria. Ainda assim, o caminho trilhado não foi um caminho linear, sendo marcado por altos e baixos, como qualquer jornada, e por avanços e retrocessos. É marcado por cedência às vontades e pela crença de que algo melhor se encontrará alem da ínfima linha do horizonte.

Para querer ser, é preciso entender; e para entender, o ser não pode parar de questionar. Nesta viagem, cujo fim nunca estará à vista, vejo-me novamente, a criança curiosa que só quer entender como tudo funciona. A criança que pergunta o porquê e tenta entender o mundo através dos próprios olhos e da sua intuição, sem se conformar com o estabelecido ou com o que aparenta ser normal. Normal, é somente um constructo da nossa imaginação, e só é normal aquilo que normalizamos. Hoje, normalizo o entendimento próprio e o do outro, normalizo a empatia, normalizo a melhoria, normalizo a criação.

Folha em branco

Resumo

O objetivo do presente estudo de investigação é analisar como o conceito de *Biophilia* se correlaciona à Arquitetura contemporânea tendo em consideração o maior número de variáveis, tais como, o papel da Arquitetura numa escala micro e macro, fatores psicológicos, fatores sociais e indicadores/fatores ambientais. Neste contexto, o estudo realizado tem em consideração todas as ciências que são inerentes ao exercício da profissão.

A relação do ser humano com a natureza é crucial e inata, como tal, é imperativo que a Arquitetura e o seu papel na sociedade potencializem esta conexão/simbiose de forma a enriquecer a conexão psíquica do sujeito com o ambiente biofílico. Para tal, irá ser desenvolvido uma estrutura de unidades de registo global, que permita adaptabilidade consoante o ambiente local no qual será aplicado o projeto biofílico.

Resultante do material analítico obtido, não é somente o conceito limitativo em estudo, mas a forma científica e eficaz da sua utilização na criação de um ambiente biofílico, e a arte de expressar a criatividade do arquiteto enquanto agente de mudança. Enquanto arquiteto biofílico é de extrema relevância um aprofundar das várias valências científicas estudadas até ao momento presente.

Com todas as informações o arquiteto deve então reunir uma equipa de especialistas que ajudem a realizar um desenho informado. Atualmente, não só o conceito se encontra em análise, mas a forma criativa, e o espelhar das funções teórico-práticas do papel de um arquiteto.

Palavras-chave

Arquitetura Biofílica; Biofilia; Ecologia; Inteligência Artificial; Neuroarquitetura; Sustentabilidade;

Folha em branco

Abstract

The objective of the present research study is to analyse how the concept of Biophilia correlates with contemporary architecture, taking into consideration the greatest number of variables, such as the role of architecture on both a micro and macro scale, psychological factors, social factors, and environmental indicators/factors. In this context, the study considers all the sciences inherent to the practice of the profession.

The relationship between human beings and nature is crucial and innate; as such, it is imperative that architecture and its role in society enhance this connection/symbiosis in order to enrich the subject's psychological connection with the biophilic environment. To this end, a structure of global recording units will be developed, allowing adaptability according to the local environment in which the biophilic project will be implemented.

Based on the analytical material obtained, the study does not merely focus on the limiting concept itself but also on the scientific and effective manner of its application in the creation of a biophilic environment, as well as the art of expressing the architect’s creativity as an agent of change. For a biophilic architect, further exploration of the various scientific disciplines studied thus far is of utmost relevance.

With all the gathered information, the architect must then assemble a team of specialists to aid in the development of an informed design. At present, it is not only the concept that is under analysis but also the creative approach and the reflection of the theoretical and practical functions of the architect’s role.

Keywords

Artificial Intelligence; Biophilia; Biophilic Architecture; Ecology; Neuroarchitecture; Sustainability

Folha em branco

A Lenda dos Jardins Suspensos da Babilónia

Os Jardins Suspensos da Babilónia, uma das sete maravilhas do mundo antigo, cativam a imaginação dos historiadores, arqueólogos e curiosos. Embora se dispute a sua localização e se os jardins realmente existiram[1], a lenda deste oásis verde pode, de facto, refletir o desejo ancestral da humanidade se aproximar ao mundo natural. Muitas vezes descritos como um paraíso exuberante que surgia da paisagem árida da antiga Mesopotâmia eles não eram apenas um fenómeno de engenharia e estética, mas uma profunda manifestação inicial de biofilia, o desejo intrínseco do ser humano se conectar com a natureza e o lar.

Fig. 1 Gravura Síria de 630 a.C.; a presente figura foi retirada de "britishmuseum.org/collection/object/W_1856-0909-53" (The Trustees of the British Museum, s.d.).

Ao imaginar uma caminhada pela antiga cidade da Babilónia há mais de 2.600 anos, ao levantar o olhar, vêm-se terraços repletos de flora vibrante, com cada nível coberto de árvores, arbustos e flores exóticas, como uma cascata de água verdejante[2]. Segundo as descrições antigas, os Jardins Suspensos eram não só exuberantes, mas também uma encarnação de vida em oposição ao deserto severo. Criados pelo rei *Nebuchadnezzar II* como presente para a sua esposa, *Amytis*, que sentia saudades das florestas da sua terra natal[3], os jardins representam a primeira tentativa conhecida de integrar paisagens naturais em estruturas humanas a uma escala grandiosa. Esta criação, tornou-se um exemplo marcante de biofilia, séculos antes de o termo ser cunhado.

[1]Jordan, P., (2002), Seven Wonders of the Ancient World, Cap. VII
[2]Jellicoe, G.,. & Jellicoe, S., (1975), The landscape of man: shaping the environment from prehistory to the present day, p.23
[3]Jordan, P., (2002), Seven Wonders of the Ancient World, p.112

Fig. 2 Gravura Síria s.d.; a presente figura foi retirada de https://www.britishmuseum.org/collection/object/W_1856-0909-36" (The Trustees of the British Museum, s.d.).
Fig. 3 Gravura Síria s.d., alterada digitalmente; a presente figura foi retirada de "youtube.com/watch?v=uiTOJRukv9o" (The Trustees of the British Museum, s.d.).

A criação de *Nebuchadnezzar II* era, essencialmente, um oásis que simbolizava a relação fundamental entre a vida humana e a natureza. Com os seus terraços mais altos situados a 25m de altitude e escadarias que conectavam os patamares, os jardins da Babilónia tinham passagens sombreadas, onde, a frescura da água corrente, o aroma das plantas, e os jardins ofereciam não só zonas de repouso sob as copas das árvores[4], mas também um espaço de alívio psicológico e físico, em contraste com as condições áridas do deserto envolvente. Os jardins incluíam, sistemas complexos de irrigação que traziam água do rio Eufrates através de canais de irrigação, de poços com sistemas de cordas e baldes[5], e de bombas arquimedianas[6] para sustentar a vida no cume. Este engenho criou um ambiente, onde água, plantas e a invenção humana coexistiam harmoniosamente. O cuidado e os recursos investidos na manutenção deste santuário verde demonstram o valor intrínseco que os babilónios atribuíam à natureza.

Hoje, sabemos que o tempo vivido em espaços verdes reduz o stress, melhora a concentração e até aumenta a criatividade. Os babilónios podem não ter articulado os benefícios em termos modernos, mas o legado duradouro dos jardins sugere que eles tinham uma compreensão intemporal do impacto da natureza na mente. Nesse sentido, eles não são apenas um símbolo de grandeza ancestral, mas um testemunho de uma verdade eterna, algo que agora descrevemos como biofilia, de que nutrir o nosso vínculo com a natureza é nutrir a nós mesmos.

Fig. 4 Representação dos Jardins Suspensos da Babilónia, [Imagem gerada com IA], (OpenAI's DALL-.E via ChatGPT, 2024).

[4]Jellicoe, G., & Jellicoe, S., (1975), The landscape of man: shaping the environment from prehistory to the present day, pp.23-27
[5]Saggs, H., (1962), The greatness that was Babylon, p.182
[6]Jordan, P., (2002), Seven Wonders of the Ancient World, p.114

Folha em branco

Índice

A Lenda dos Jardins Suspensos da Babilónia xi
Índice xv
0. Introdução xxxiii
0.1. Evolução Biofílica xxxiv
0.2. Metodologia xxxvi
0.3. Estrutura xliii
1. Enquadramento 1
1.1. Biofilia - Cronologia da Conceptualização Teórico-Prática 4
1.2. Neurociência e a perceção 20
1.2.1. História do Ser 21
1.2.2. O Ser eletroquímico 24
1.2.3. O Ser sensorial 26
1.2.4. O Ser plástico 28
1.2.5. O Ser nostálgico 29
1.2.6. O Ser emocional 32
1.3. Ecologia e Arquitetura 33
1.3.1. Breves Conceitos de Ecologia 36
1.3.2. Práticas de design ecológico 40
1.4. Ocupação Antrópica e o Clima 43
1.5. Transição para um futuro sustentável 47
1.5.1. Políticas da União Europeia 48
1.5.2. Apoios da União Europeia 49
1.5.3. Certificados de sustentabilidade 50
2. Psicologia Experimental e o Método Científico na Arquitetura 53
2.1. Filosofia e as Origens da Psicologia 54
2.2. Correntes Filosóficas pós Renascimento 58
2.3. Psicologia Formal 60
2.4. Psicologia Ambiental 69
2.5. Neuroarquitetura 70
2.5.1. Os Princípios Fundamentais da Neuroarquitetura 70
2.5.2. Tecnologias de mensuração e aplicação 72
2.5.2.1. Mensuração 72
2.5.2.2. Aplicação e teste 73
2.5.3. Desafios 75
3. Design Biofílico Inteligente 76

3.1. Inteligência Artificial 78
3.1.1. Conceptualização da IA 82
3.1.2. Agentes de IA 86
3.1.3. Machine Learning 90
3.1.4. Pode a IA Criar? 93
3.1.5. Arquitetura e Aplicações de IA 98
3.1.6. Implicações da IA para o Futuro 103
3.2. Design Biofílico 104
3.2.1. Modelos de Design - Arquétipo 105
3.2.2. Modelo de Complementaridade - Tipo 108
3.3. Biofilia – 25 Fatores: O Framework - Protótipo 110
4. Casos de Estudo 115
4.1. Ricardo Bofill – La Fabrica – Barcelona, Espanha 118
4.1.1. Pré-existência 119
4.1.2. Projeto 123
4.1.3. Arquitetura 127
4.1.3.1. Exterior 127
4.1.3.2. Atelier 131
4.1.3.3. Estúdio 134
4.2. Javier Senosiain – Casa Orgânica – Naucalpan, México 136
4.2.1. Projeto 138
4.2.2. Arquitetura 142
4.2.2.1. – Exterior 142
4.2.2.1. – Interior 144
4.3. Roth – Uh May Residence – Tulum, México 148
4.3.1. Arquitetura 150
4.3.2. “Projeto” 159
4.4. Quadro Comparativo e Análise 161
5. O Novo Paradigma da Arquitetura 164
5.1. O Arquiteto Polímata na Era Digital 165
5.2. Manifesto 167
5.2.1. Princípios 167
5.2.2. Visão 168
Bibliografia 169
Apêndices 183
Apêndice I – Machine Learning 183

Folha em branco

Lista de Figuras

Fig. 1 Gravura Síria de 630 a.C.; a presente figura foi retirada de "britishmuseum.org/collection/object/W_1856-0909-53" (The Trustees of the British Museum, s.d.). xi

Fig. 2 Gravura Síria s.d.; a presente figura foi retirada de https://www.britishmuseum.org/collection/object/W_1856-0909-36" (The Trustees of the British Museum, s.d.). xii

Fig. 3 Gravura Síria s.d., alterada digitalmente; a presente figura foi retirada de "youtube.com/watch?v=uiTOJRukv9o" (The Trustees of the British Museum, s.d.). ... xii

Fig. 4 Representação dos Jardins Suspensos da Babilónia, [Imagem gerada com IA], (OpenAI's DALL-.E via ChatGPT, 2024). xiii

Fig. 5 Residência Investigador Biodiversidade - Maquete, (autor, 2023). xxxv

Fig. 6 Residência Investigador Biodiversidade - Maquete, (autor, 2023). xxxv

Fig. 7 Esquema da análise bibliográfica da Biofilia, (autor, 2024). xxxvii

Fig. 8 Esquemas da conceptualização da Biofilia, (autor, 2024). xxxviii

Fig. 9 Início do caos, (autor, 2024). xxxix

Fig. 10 Continuação do caos, (autor, 2024). xl

Fig. 11 Como fazer sentido do caos, (autor, 2024). xlii

Fig. 12 O processo de investigação; a presente figura, foi retirada do livro: "O processo de investigação: da concepção à realização", p.38 (Fortin, 1996). 2

Fig. 13 Stephen Kaplan e Rachel Kaplan; a presente figura foi retirada de "flickr.com/photos/snre/24846811202" (University of Michigan School for Environment and Sustainability, 2016)Fig. 14 Roger S. Ulrich; a presente figura foi retirada de "naturesacred.org/natural-design-for-better-health-an-interview-with-dr-roger-ulrich" (Nature Sacred, 2013). 5

Fig. 15 Edward O. Wilson; a presente figura foi retirada de "eowilsonfoundation.org/about-us/history/" (Beth Maynor Young, 2010)..... 6

Fig. 16 Termas de Vals; a presente figura foi retirada de "archdaily.com.br/br/798132/" (Guerra, 2004). 9

Fig. 17 Elementos e atributos do desenho biofílico; a presente figura, não trad., foi adaptada do livro: “Biophilic design: the theory, science, and practice of bringing buildings to life”, Cap. I ; p.15 (Kellert, 2008).....12

Fig. 18 Elementos e atributos do desenho biofílico entre diferentes escalas; a presente figura, não trad., foi adaptada do livro: “Biophilic cities: integrating nature into urban design and planning”, Cap. IV; p.84 (Beatley, 2011).....13

Fig. 19 As catorze unidades de registo; a presente figura, não trad., foi adaptada do relatório: “14 Patterns of Biophilic Design”, p.12 (Browning, 2014).....15

Fig. 20 Experiências e atributos do desenho biofílico; a presente figura, não trad., foi adaptada do livro: “The Practice of Biophilic Design”, p.10 (Kellert, 2015). 16

Fig. 21 Cronologia da literatura analisada ao longo do percurso de levantamento teórico (autor, 2024).....19

Fig. 22 Esquema de uma secção do córtex cerebral de um mamífero; a presente figura foi retirada de “simurg.csic.es/view/9900013913202042O1”; “Manual de histología normal y de técnica micrográfica.” (Ramón y Cajal, 1889). 22

Fig. 23 Representação do sistema central simpático e parassimpático; a presente figura, não trad., foi adaptada do livro: “Cognitive Neuroscience”, p.39 (Gazzaniga, 2014). ... 25

Fig. 24 Representação do sistema sensorial em vias especificas, (autor, 2024) 27

Fig. 25 Tipologias de memória; a presente figura, não trad., foi adaptada do livro: “Cognitive Neuroscience”; p.381 (Gazzaniga, 2014). 30

Fig. 26 Ciclo de Carbono, a presente figura, não trad., foi adaptada do livro: “Dictionary of Ecodesign” p.46 (US Environmental Protection Agency, s.d.) 36

Fig. 27 Fórmula matemática do índice de diversidade de Simpson; a presente figura foi retirada do artigo “Measurement of Diversity.”, DOI: doi.org/10.1038/163688a0, (Simpson, 1949)..... 37

Fig. 28 Fórmula matemática do índice de sustentabilidade de desenvolvimento de Hickel; a presente figura, não trad., foi retirada do artigo: “The sustainable development index: Measuring the ecological efficiency of human development in the anthropocene”, DOI: doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.05.011, (Hickel, 2020) 38

Fig. 29 Impactos das alterações climáticas; a presente figura, não trad., foi adaptada do relatório do IPCC “Climate Change 2023: Synthesis Report.”, p.49 (IPCC, 2023)..... 44

Fig. 30 Cronologia das políticas e apoios da União Europeia, (autor, 2024)..... 47

Fig. 31 Relação dos certificados de sustentabilidade com os fatores ESG; a presente figura, não trad., foi adaptada do relatório “Mapping ESG: A Landscape Review of Certifications, Reporting Frameworks and Practices”, p.63 (ULI, INREV, PRI, 2023). 51

Fig. 32 Anfiteatro de Epidaurus (≈ 300 a.C.); a presente figura foi retirada de “instagram.com/p/CXuBMFBjaqL” (Pallis, 2021). 55

Fig. 33 Homem de Vitrúvio: Estudo das proporções humanas; a presente figura foi retirada de “gallerieaccademia.it/en/study-proportions-human-body-known-vitruvian-man” (Da Vinci, s.d.). 57

Fig. 34 Laboratório de Psicologia em Dane Hall, Harvard; a presente figura foi retirada de “metalocus.es/en/news/lab-cult-unorthodox-history-interchanges-between-science-and-architecture”, (Harvard University Archives, 1892). 61

Fig. 35 Representação dos estudos que comprovam o fenómeno phi; a presente figura foi retirada do artigo: “Experimentelle Studien über das Sehen von Bewegung”, (Wertheimer, 1912). 64

Fig. 36 Relação entre a perceção e estímulo físico de Stevens; a presente figura, não trad., foi retirada do livro “Psychophysics: introduction to its perceptual, neural, and social prospects”, pp.130 (Stevens, 2017). 66

Fig. 37 Centro para gestão de recursos, representação digital; a presente figura foi retirada de “thevenusproject.com/center-for-resource-management” (Venus Project, s.d.). 77

Fig. 38 Estado atual da IA em 2024 - os 2011 logos; a presente figura não trad., foi retirada de "mattturck.com/mad2024” (Turck, 2024). 80

Fig. 39 Relação entre IA, Data Science e Matemática; a presente figura, não trad., foi adaptada do livro “Intelligence-based medicine: artificial intelligence and human cognition in clinical medicine and healthcare”, p.9 (Chang, 2020). 82

Fig. 40 Continuum dos dados até à sabedoria; a presente figura, não trad., foi adaptada do livro “Intelligence-based medicine: artificial intelligence and human cognition in clinical medicine and healthcare”, p.8 (Chang, 2020). 84

Fig. 41 Tipos de Agentes; a presente figura, não trad., foi adaptada do livro: “Artificial intelligence: a modern approach”; pp.65-78 (Russel & Norvig, 2022). 87

Fig. 42 Representação de uma cidade biofílica, [Imagem gerada com IA], (OpenAI's DALL-.E via ChatGPT, 2024) 94

Fig. 43 Representação de uma cidade biofílica distópica com IA, [Imagem gerada com IA], (OpenAI's DALL-.E via ChatGPT, 2024). 96

Fig. 44 Escultura robótica de um Frontão; a presente figura foi retirada de “monumentallabs.co/architecture” (s.a., s.d.). 98

Fig. 45 Airworks, a presente figura foi retirada de " blog.airworks.io/spaceco-inc-case-study" (s.a., s.d.) 100

Fig. 46 Estimativas energéticas baseadas em MachineLEraning da ArupNeuron; a presente figura, não trad., foi retirada de "arupneuron.com/artificial-intelligence/" (s.a., s.d.) 101

Fig. 47 Demonstração da interface do Delve; a presente figura, não trad., foi retirada de "google.com/earth/about/design/" (s.a., s.d.) 102

Fig. 48 Modelos de design; a presente figura, não trad.; foi adaptada do livro “Design Thinking and Storytelling in Architecture”, p.17 (Rowe & Chung, 2023). 106

Fig. 49 Framework final, (autor, 2024) 111

Fig. 50 Representação da Interface de um software inteligente, [Imagem gerada com IA], (OpenAI's DALL-.E via ChatGPT, 2025). 114

Fig. 51 La Fabrica – pré-existência; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.). 119

Fig. 52 La Fabrica – pré-existência e Ricardo Bofill; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.). 119

Fig. 53 La Fabrica – pré-existência; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.). 120

Fig. 54 La Fabrica – demolição e construção; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.). 120

Fig. 55 La Fabrica – pré-existência e Ricardo Bofill; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.). 121

Fig. 56 La Fabrica – pré-existência e Ricardo Bofill; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.). 121

Fig. 57 La Fabrica – pré-existência; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.). 122

Fig. 58 La Fábrica – pré-existência; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.). 122

Fig. 59 La Fabrica – projeto; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.). 123

Fig. 60 La Fabrica – projeto; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.). 123

Fig. 61 La Fabrica – maquete; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.). 123

Fig. 62 La Fabrica – esquiço; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.). 124

Fig. 63 La Fabrica – alçado; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.). 124

Fig. 64 La Fabrica – axonometria; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.). 125

Fig. 65 La Fabrica – alçado; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.). 125

Fig. 66 La Fabrica – axonometria; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.). 126

Fig. 67 La Fabrica; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.). 127

Fig. 68 La Fabrica; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.). 128

Fig. 69 La Fabrica; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.). 128

Fig. 70 La Fabrica; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.). 129

Fig. 71 La Fabrica; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.). 130

Fig. 72 La Fabrica; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.). 130

Fig. 73 La Fabrica; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.). 131

Fig. 74 La Fabrica; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.). 132

Fig. 75 La Fabrica; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.).....132

Fig. 76 La Fabrica; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.).....133

Fig. 77 La Fabrica; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.).....133

Fig. 78 La Fabrica; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.)..... 134

Fig. 79 La Fabrica; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.)..... 134

Fig. 80 La Fabrica; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.).....135

Fig. 81 La Fabrica; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.).....135

Fig. 82 La Casa Orgánica – esquiço; a presente figura, foi retirada de “arquitecturaorganica.com/habitat-organico/la-casa-organica.php”, (s.a., s.d.)..... 138

Fig. 83 La Casa Orgánica – corte longitudinal; a presente figura, foi retirada de “arquitecturaorganica.com/habitat-organico/la-casa-organica.php”, (s.a., s.d)..... 138

Fig. 84 La Casa Orgánica - planta; a presente figura, foi retirada de “arquitecturaorganica.com/habitat-organico/la-casa-organica.php”, (s.a., s.d)..... 139

Fig. 85 La Casa Orgánica – corte transversal; a presente figura, foi retirada de “arquitecturaorganica.com/habitat-organico/la-casa-organica.php”, (s.a., s.d)..... 139

Fig. 86 La Casa Orgánica – maquete; a presente figura, foi retirada de “arquitecturaorganica.com/habitat-organico/la-casa-organica.php”, (s.a., s.d)..... 140

Fig. 87 La Casa Orgánica – obra; a presente figura, foi retirada de “arquitecturaorganica.com/habitat-organico/la-casa-organica.php”, (s.a., s.d)..... 140

Fig. 88 La Casa Orgánica – obra; a presente figura, foi retirada de “arquitecturaorganica.com/habitat-organico/la-casa-organica.php”, (s.a., s.d).....141

Fig. 89 La Casa Orgánica – obra; a presente figura, foi retirada de “arquitecturaorganica.com/habitat-organico/la-casa-organica.php”, (s.a., s.d).....141

Fig. 90 La Casa Orgánica; a presente figura, foi retirada de “arquitecturaorganica.com/habitat-organico/la-casa-organica.php”, (s.a., s.d)..... 142

Fig. 91 La Casa Orgánica; a presente figura, foi retirada de "arquitecturaorganica.com/habitat-organico/la-casa-organica.php", (s.a., s.d). 143

Fig. 92 La Casa Orgánica; a presente figura, foi retirada de "arquitecturaorganica.com/habitat-organico/la-casa-organica.php", (s.a., s.d). 143

Fig. 93 La Casa Orgánica; a presente figura, foi retirada de "arquitecturaorganica.com/habitat-organico/la-casa-organica.php", (s.a., s.d.). 144

Fig. 94 La Casa Orgánica; a presente figura, foi retirada de "arquitecturaorganica.com/habitat-organico/la-casa-organica.php", (s.a., s.d.). 145

Fig. 95 La Casa Orgánica; a presente figura, foi retirada de "arquitecturaorganica.com/habitat-organico/la-casa-organica.php", (s.a., s.d.). 145

Fig. 96 La Casa Orgánica; a presente figura, foi retirada de "arquitecturaorganica.com/habitat-organico/la-casa-organica.php", (s.a., s.d.). 146

Fig. 97 La Casa Orgánica; a presente figura, foi retirada de "arquitecturaorganica.com/habitat-organico/la-casa-organica.php", (s.a., s.d.). 146

Fig. 98 La Casa Orgánica; a presente figura, foi retirada de "arquitecturaorganica.com/habitat-organico/la-casa-organica.php", (s.a., s.d.). 147

Fig. 99 Uh May Residence – obra; a presente figura, foi retirada de "architizer.com/projects/iklab-uh-may/", (s.a., s.d.). 150

Fig. 100 Uh May Residence; a presente figura, foi retirada de "architizer.com/projects/residence-uh-may/", (s.a., s.d.)..... 151

Fig. 101 Uh May Residence; a presente figura, foi retirada de "youtube.com/watch?v=FXMzhl9F4uw", (s.a., s.d.). 151

Fig. 102 Uh May Residence; a presente figura, foi retirada de "architizer.com/projects/residence-uh-may/", (s.a., s.d.)..... 152

Fig. 103 Uh May Residence; a presente figura, foi retirada de "frameweb.com/project/uh-may-residence-tulum-qroo", (s.a., s.d.). 153

Fig. 104 Uh May Residence; a presente figura, foi retirada de "youtube.com/watch?v=FXMzhl9F4uw", (s.a., s.d.). 153

Fig. 105 Uh May Residence; a presente figura, foi retirada de "frameweb.com/project/uh-may-residence-tulum-qroo", (s.a., s.d.). 154

Fig. 106 Uh May Residence; a presente figura, foi retirada de "youtube.com/watch?v=FXMzhl9F4uw", (s.a., s.d.). 155

Fig. 107 Uh May Residence; a presente figura, foi retirada de "youtube.com/watch?v=FXMzhl9F4uw", (s.a., s.d.). 155

Fig. 108 Uh May Residence; a presente figura, foi retirada de "architizer.com/projects/residence-uh-may/", (s.a., s.d.). 156

Fig. 109 Uh May Residence; a presente figura, foi retirada de "architizer.com/projects/residence-uh-may/", (s.a., s.d.). 157

Fig. 110 Uh May Residence; a presente figura, foi retirada de "youtube.com/watch?v=FXMzhl9F4uw", (s.a., s.d.). 157

Fig. 111 Uh May Residence; a presente figura, foi retirada de "youtube.com/watch?v=FXMzhl9F4uw", (s.a., s.d.). 158

Fig. 112 Uh May Residence – planta baixa; a presente figura, foi retirada de "frameweb.com/project/uh-may-residence-tulum-qroo", (s.a., s.d.).....159

Fig. 113 Uh May Residence – corte transversal da zona de refeições; a presente figura, foi retirada de "frameweb.com/project/uh-may-residence-tulum-qroo", (s.a., s.d.). ..159

Fig. 114 Uh May Residence – corte transversal da suite; a presente figura, foi retirada de "frameweb.com/project/uh-may-residence-tulum-qroo", (s.a., s.d.). 160

Folha em branco

Lista de Tabelas

Tabela 1 Algoritmos usados no método IPDA (Chaves, 2010) 35

Tabela 2 Correlação dos casos de estudo com as 14 unidades de registo, (autor, 2025) 161

Tabela 3 Tipos de Machine Learning, elaborada com base no livro “Artificial intelligence: a modern approach” (Russel, S., & Norvig, P., 2022)..... 183

Folha em branco

Lista de Fórmulas

Fórmula 1 Lei de Weber, (1834). 60

Fórmula 2 Lei de Fechner, (1860) 60

Folha em branco

Lista de Acrónimos

ADN	Ácido Desoxirribonucleico
AGI	Artificial General Intelligence
AR	Realidade Aumentada
AutoML	Automated Machine Learning
BIM	Building Information Modelling
COP	Conference Of the Parties
CVP	Ciclo de Vida de Produtos
EEG	Eletroencefalografia
EGD	European Green Deal
EIB	European Investment Bank
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive
ESG	Ecológicos, Sociais e Governamentais
EU	European Union
fMRI	Ressonância Magnética Funcional
GEE	Gases de Efeito de Estufa
IA	Inteligência Artificial
IoT	Internet of Things
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IPDA	Indicadores de Prioridades do Design para sustentabilidade Ambiental
JND	Just Noticeable Difference
MEG	Magnetoencefalografia
NEB	New European Bauhaus
NIRS	Espetroescopia de infravermelho próximo
SCF	Social Climate Fund
SN	Sistema Nervoso
SNC	Sistema Nervoso Central
SNP	Sistema Nervoso Periférico
SNCP	Sistema Nervoso Central Parassimpático
VR	Realidade Virtual

Folha em branco

0. Introdução

-INFERNO-

"[...] Dante, perdido numa selva escura, erra nela toda a noite. saindo ao amanhecer, começa a subir por uma colina, quando lhe atravessam a passagem uma pantera, um leão e uma loba, que o repelem para a selva. Aparece-lhe então a imagem de Virgílio, que o reanima e se oferece para tirá-lo de la, fazendo-o passar pelo Inferno e pelo Purgatório. Beatriz, depois, o guiará ao Paraíso[7]. Dante o segue..."

Dante, A.; (1321)

"[...] We are caught off guard when common sense fails us. Yet it is clear we would live in a deadly dull world if common sense alone were sufficient to lead us through all the mazes around us. If what we learn is no more than what we expect to learn, then we have learned nothing at all."

(Lienhard, 2000)

[7]Dante celebrou 35 anos no dia em que o Papa Bonifácio VIII proclamou o primeiro Jubileu. Tenebrosa – simbólica selva de vícios humanos; Pantera – símbolo da luxúria e da fraude em Florença; Leão – símbolo da soberba e da violência em França; Loba – símbolo da avareza e da incontinência da Cúria Romana; Virgílio – símbolo da razão humana; Beatriz – a mulher que Dante amou (Dante, A.;(1321). A Divina Comédia).

0.1. Evolução Biofílica

Enquanto deambulava na procura de algo que não sabia bem o quê, e por genuína serendipidade, deparo-me com o termo biofilia enquanto assistia a uma análise referente à beleza dos edifícios[8]. Recordo-me de naquele momento me ter identificado imediatamente com a forma intrínseca como nós, *Homo Sapiens* possuímos uma preferência inata por formas familiares, e como estas são encontradas em ambientes controlados de estudo científico no âmbito da arqueologia e antropologia; ainda que questionando a sua existência. É nesta procura incessante por respostas quer da origem quer matriz da evolução humana que atualmente tais disciplinas se foram diferenciando e tomando o seu devido lugar na comunidade científica comprovando a existência de padronizações micro e macro culturais dos nossos antepassados ancestrais. Na época, ainda com uma névoa que turva a consciência, recordo-me de ter efetuado uma investigação superficial e encontrado o significado descrito no livro de Edward O. Wilson[9]; conceptualizando a tendência humana para procurar conexões com a natureza. Foi assim que surgiu o momento de contacto.

Tendo desenvolvido a presente hipótese, enquanto frequentei o primeiro semestre do quinto ano, na disciplina de projeto com as professoras Inês Campos e Andreia Garcia, onde foi proposto um centro de investigação da paisagem e habitação para um investigador na área de ecologia e biodiversidade [Fig. 5;Fig. 6]. Marcados pelo cenário extrativista das escombreiras de volfrâmio que ainda hoje poluem o Rio Zêzere, os edifícios fixam-se às ruínas pré-existentes, e como um espelho de mim, procuram ver o belo no exterior, na força da natureza que não se contenta enquanto não reconquistar aquilo que lhe foi retirado. Com o trabalho desenvolvido, apenas agora me dou conta da superficialidade com que explorei o tema e consequentemente o projeto em si.

[8]The Aesthetic City, (2002), What Makes Buildings Beautiful (And Why Beauty Does Matter), "youtube.com/watch?v=C9pg2j20Gy0"
[9]Wilson, E., (1984), Biophilia

Fig. 5 Residência Investigador Biodiversidade - Maquete, (autor, 2023).

Fig. 6 Residência Investigador Biodiversidade - Maquete, (autor, 2023).

0.2. Metodologia

A presente investigação científica é iniciada pela compreensão do conceito de biofilia e as respetivas áreas complementares (Modelo Complementar de Niels Bohr, 1928). Assim, decorre uma exaustiva pesquisa e revisão bibliográfica, com recurso a livros, compêndios, dissertações de mestrado, doutoramento e pós-Doc; e artigos científicos; procurando e consultando as fontes originais sempre que possível de forma a validar cientificamente todos as conceptualizações apresentadas e tentativa de elaboração de um protótipo de *framework* com potencial de integração de Inteligência artificial (IA).

A Arquitetura *per si*, é multidisciplinar, o que implica, *à priori*, a aplicação de métodos de investigação variados consoante a ciência em causa[10], no entanto é entendida pelo autor a soberania do método científico. Predominantemente a conceptualização da biofilia na investigação científica faz uso de uma metodologia qualitativa[11] na compreensão das nuances que vão moldando a conceptualização da biofilia. Porém, e com o intuito de potencializar toda a integração do conceito biofílico tornou-se extremamente necessário a integração de uma metodologia quantitativa através das 14 unidades de registo[12] que permite assim a quantificação e posterior validação dos projetos.

Nesta incessante busca pelos primórdios do conceito de biofilia e na associação com as disciplinas que lhe são diretamente afetas, enquadro as relações com o ambiente mental, com o meio ambiente, e com o ambiente económico. Havendo a tentativa de identificar os agentes bloqueadores da sua difusão e a apresentar como um caminho na direção certa.

Ainda assim, via-me superficialmente investido no tema.

> *"[...]Depois da invocação as Musas, Dante, considerando a sua fraqueza duvida de aventurar-se na viagem. Dizendo-lhe, porém, Virgílio, que era Beatriz quem o mandava, e que havia quem se interessava pela sua salvação, determina-se segui-lo e entra com o seu guia no difícil caminho..."*
>
> Dante, A.; (1321)

[10]Durek, (1993), *cit. in*, Mahmoodi, A., (2001), The design process in architecture: a pedagogic approach using interactive thinking, p.4
[11]Fortin, M., (1996), O processo de investigação : da concepção à realização, p.22
[12]Browning, W., *et al.*, (2014), 14 Patterns of Biophilic Design

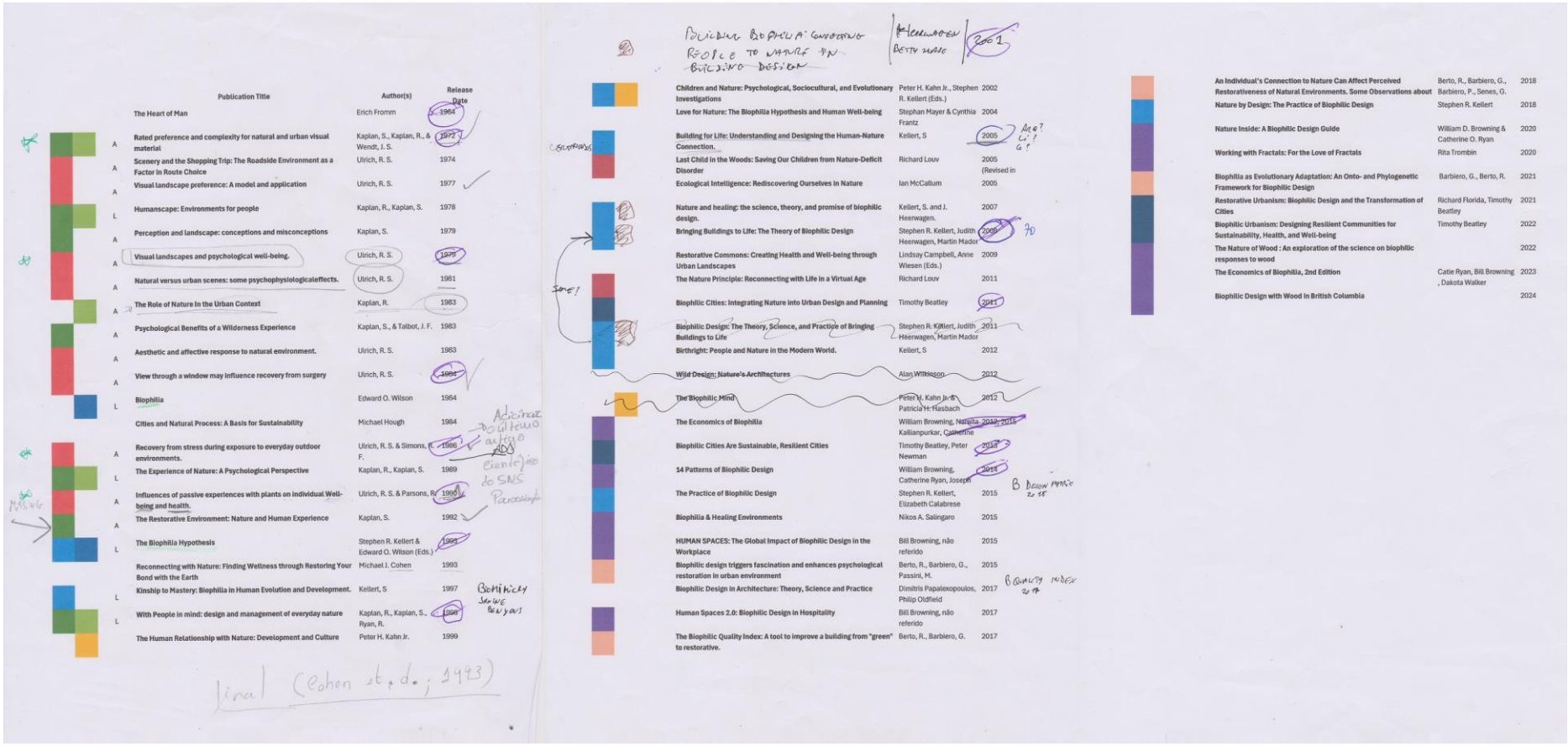

Fig. 7 Esquema da análise bibliográfica da Biofilia, (autor, 2024).

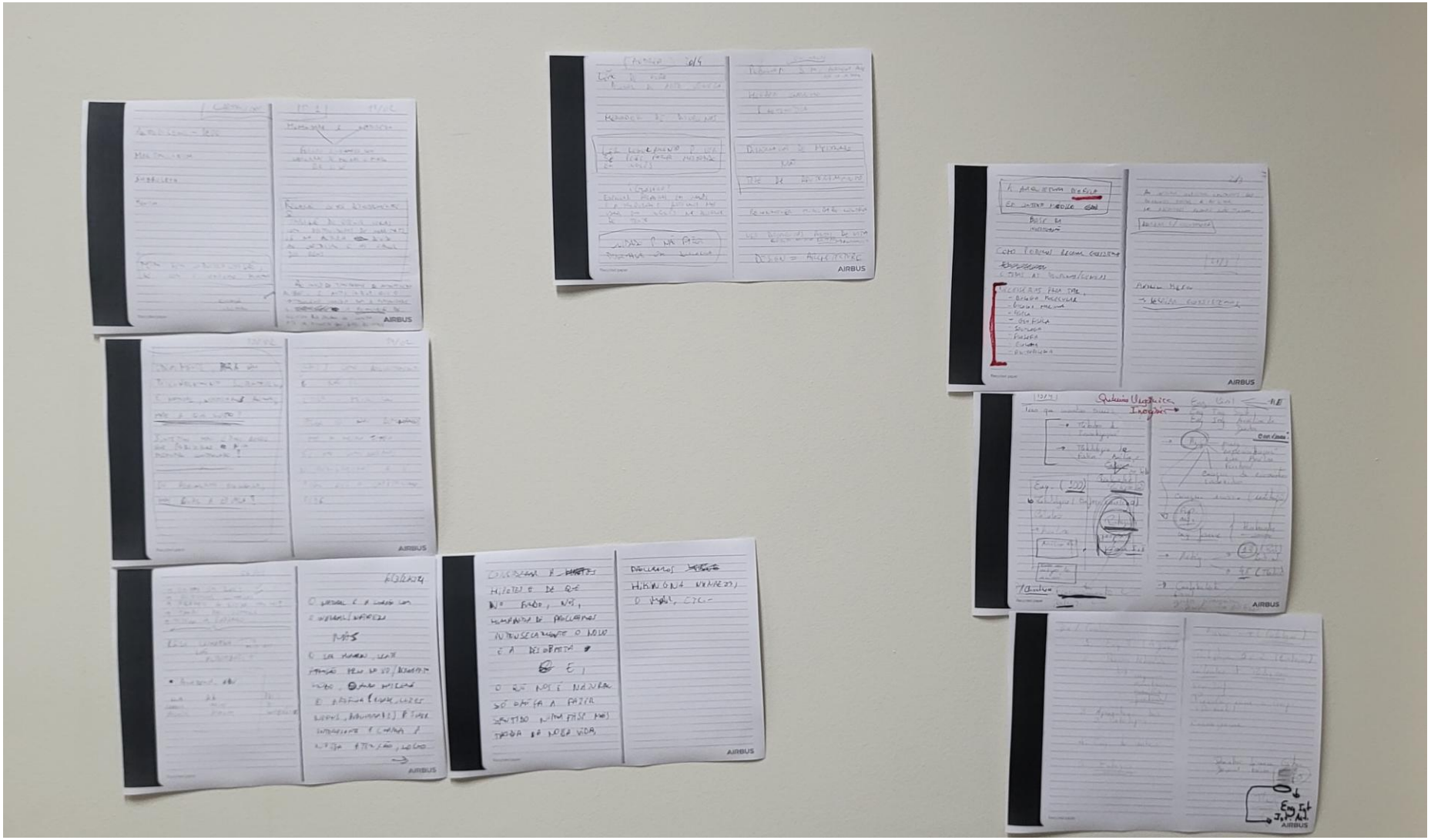

Fig. 8 Esquemas da conceptualização da Biofilia, (autor, 2024).

É nesta fase que a presente dissertação se desvincula de uma estratégia linear e objetiva e inicia uma abordagem caótica com o intuito de fazer sentido e de integrar a multiplicidade de ciências complexas, mas necessárias à fantasia de digitalizar o papel do arquiteto. Faço desde já um *mea-culpa* relativamente à parca contextualização arquitetónica, no entanto entendo o leitor como alguém interessado em Arquitetura e já provido do conhecimento que não vejo assim necessidade de expor. O conhecimento que fui acumulando antes do início da escrita desta investigação, o que me foi exposto em contexto universitário. A biofilia está integralmente conectada com a Arquitetura e deste modo mencioná-la é mencionar a Arquitetura.

Fig. 9 Início do caos, (autor, 2024).

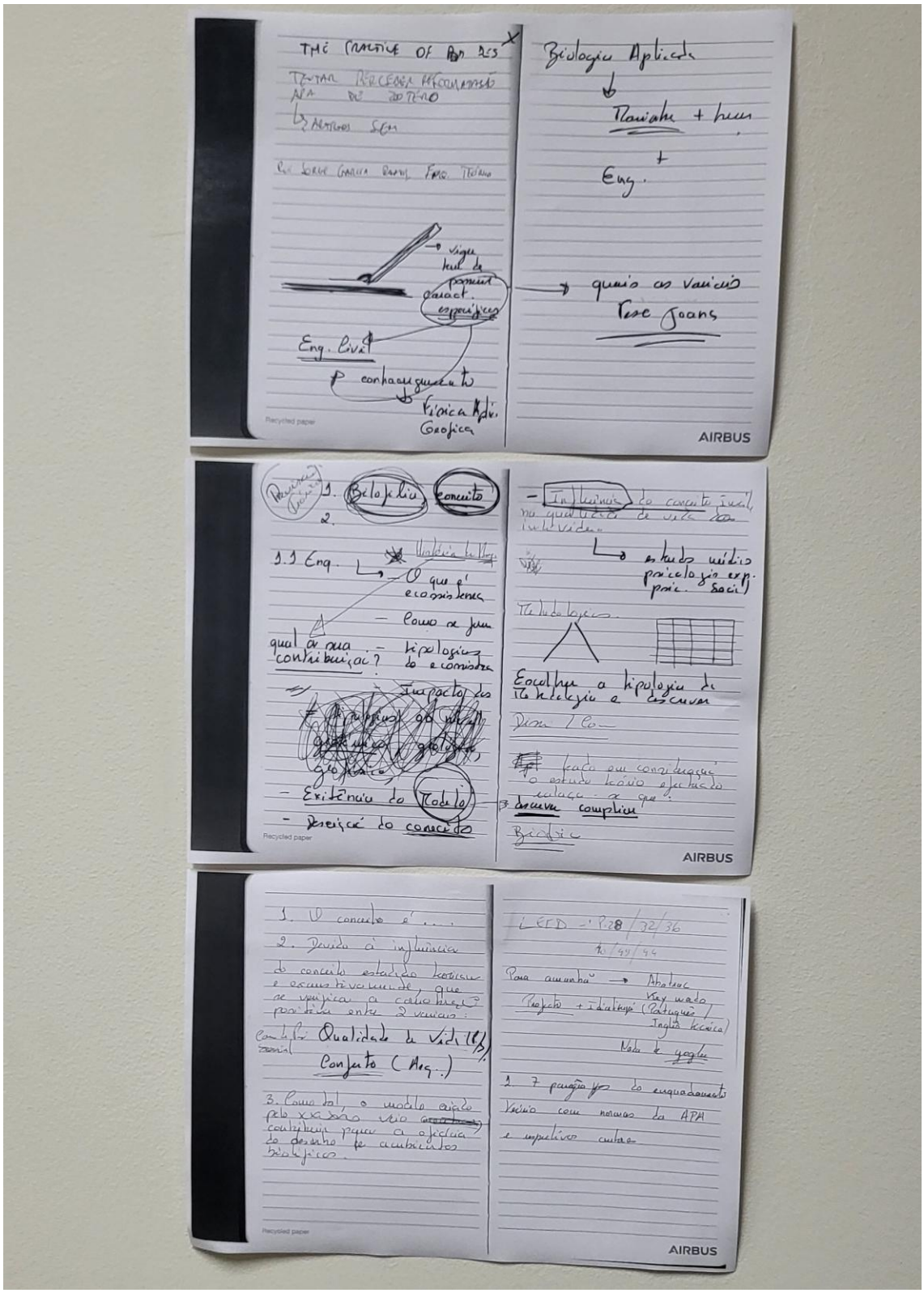

Fig. 10 Continuação do caos, (autor, 2024).

"[...] Chegam os Poetas À Porta do Inferno, na qual estão escritas terríveis palavras. Entram e no vestíbulo encontram as almas dos ignasvos, que não foram fiéis a Deus, nem rebeldes. Seguindo o caminho, chegam ao Aqueronte, onde está o barqueiro infernal, Caron, que passa as almas dos danados à outra margem, para o suplício. Treme a terra, lampeja uma luz e Dante cai sem sentidos..."

Dante, A.; (1321)

Conceptualizado o conceito de biofilia, e na insatisfação com o desenvolvido, inicia-se uma investigação aprofundada dos temas paralelamente cruciais à idealização de um novo paradigma arquitetónico, a psicologia e a inteligência artificial. Paralelamente, vão sendo integrados os fatores considerados relevantes para o exercício da criação arquitetónica e como estes se interconectam para formar o arquiteto. Sob esta perspetiva, não só o conceito se encontra em estudo, mas a forma criativa, e o expressar das funções teórico-práticas do papel de um arquiteto.

Neste sentido e porque é também na memória do tempo que se encontram as maiores lições, e quais os erros que não devemos repetir. É efetuada uma análise histórica da psicologia como ciência da mente humana e deste modo são compreendidas as correntes de pensamento que a marcam até aos dias de hoje. Assim é assimilado o conhecimento científico por parte do autor e também os desvios que foram efetuados e criaram barreiras, prolongando o caminho da humanidade na direção do conhecimento.

Simultaneamente é efetuado o estudo dos mecanismos que permitem a digitalização da mente, o que por si só é altamente entrópico e, devido à atualidade do tema, se encontra em constante metamorfose. Assim, a pesquisa para este tema em concreto foi muito ineficaz e marcada por inúmeros contratempos e leituras que se revelaram insuficientes e incompletas.

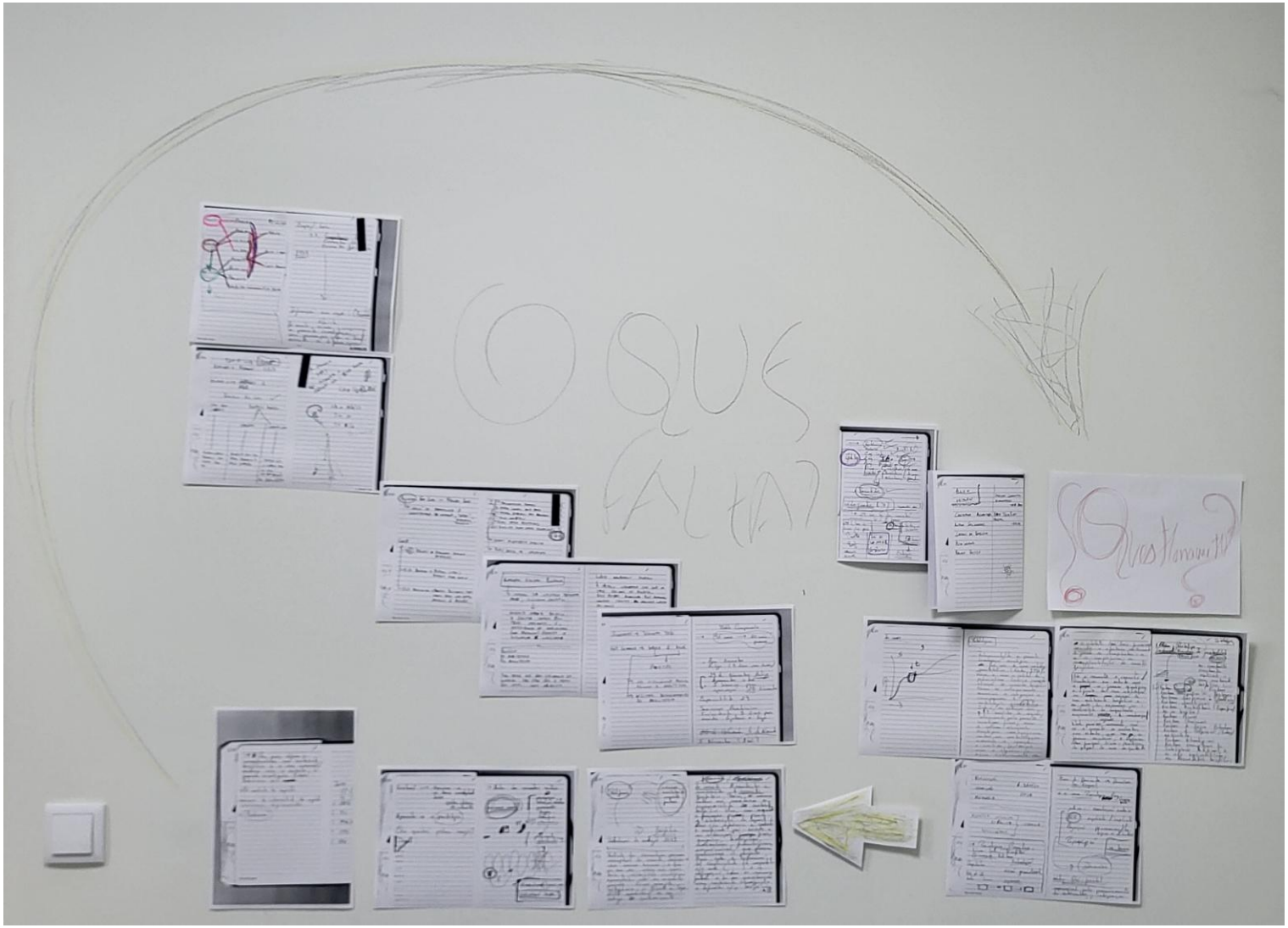

Fig. 11 Como fazer sentido do caos, (autor, 2024).

0.3. Estrutura

> *"[...] Dante é despertado por um trovão e acha-se na orla do primeiro círculo. Entra depois no Limbo, onde estão os que não foram batizados, crianças e adultos. Mais adiante, num recinto luminoso; vê os sábios da antiguidade, que, embora não cristãos, viveram virtuosamente. Os dois poetas descem depois ao segundo círculo..."*
>
> Dante, A.; (1321)

A atual dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos:

● **Enquadramento**: análise cronológica da conceptualização da biofilia, e enquadramento das ciências identificadas como sendo diretamente afetas. A Neurociência e a Ecologia, estabelecendo assim a relação entre Ser, Ambiente e Edificado.

● **Psicologia**: análise cronológica da psicologia e contextualização das teorias que a marcam à data da dissertação. Entendido o impacto e estabelecida a relação entre o ambiente e o desenvolvimento do Ser. É também analisada a Neuroarquitetura como ciência estuda e aplica o método científico para avançar o conhecimento nesta relação.

● ***Design* Inteligente**: estado da arte, geral e específico, da inteligência artificial em contexto arquitetónico. Integração do *design* como processo e criação de um *framework* que integre os fatores entendidos como relevantes para a conceptualização arquitetónica.

● **Casos de estudo**: exposição de obras idealizadas sem conceção biofílica, com o intuito de compreender as tendências inatas que levaram ao processo de desenho.

● **Paradigma arquitetónico**: Conclusão e enquadramento daquele que é visto pelo autor como o futuro da profissão de Arquitetura e a sua integração com as tecnologias de ponta.

Folha em branco

1. Enquadramento

"*Architecture is amazing, for sure. It's amazing because it's art. But you know, it's a very funny kind of art. It's an art at the frontier between art and science. It's fed by … by real life, every day. It's driven by force of necessity. Quite amazing, quite amazing. And the life of the architect is also amazing. You know, as an architect, at 10 o'clock in the morning, you need to be a poet, for sure. But at 11, you must become a humanist, otherwise you'd lose your direction. And at noon, you absolutely need to be a builder. You need to be able to make a building, because architecture, at the end, is the art of making buildings. Architecture is the art of making shelter for human beings. Period. And this is not easy at all. It's amazing*."

(Piano, 2018)

Como forma de contextualizar e apresentar uma análise temático categorial com futura validação científica tornou-se bastante pertinente iniciar o estudo de como se efetua um processo de investigação científico. Como tal, e recorrendo a Fortin[13] inicia-se a polarização da triangulação, isto é, a formulação teórica, a implementação teórica e, posteriormente a investigação dos resultados obtido [Fig. 12].

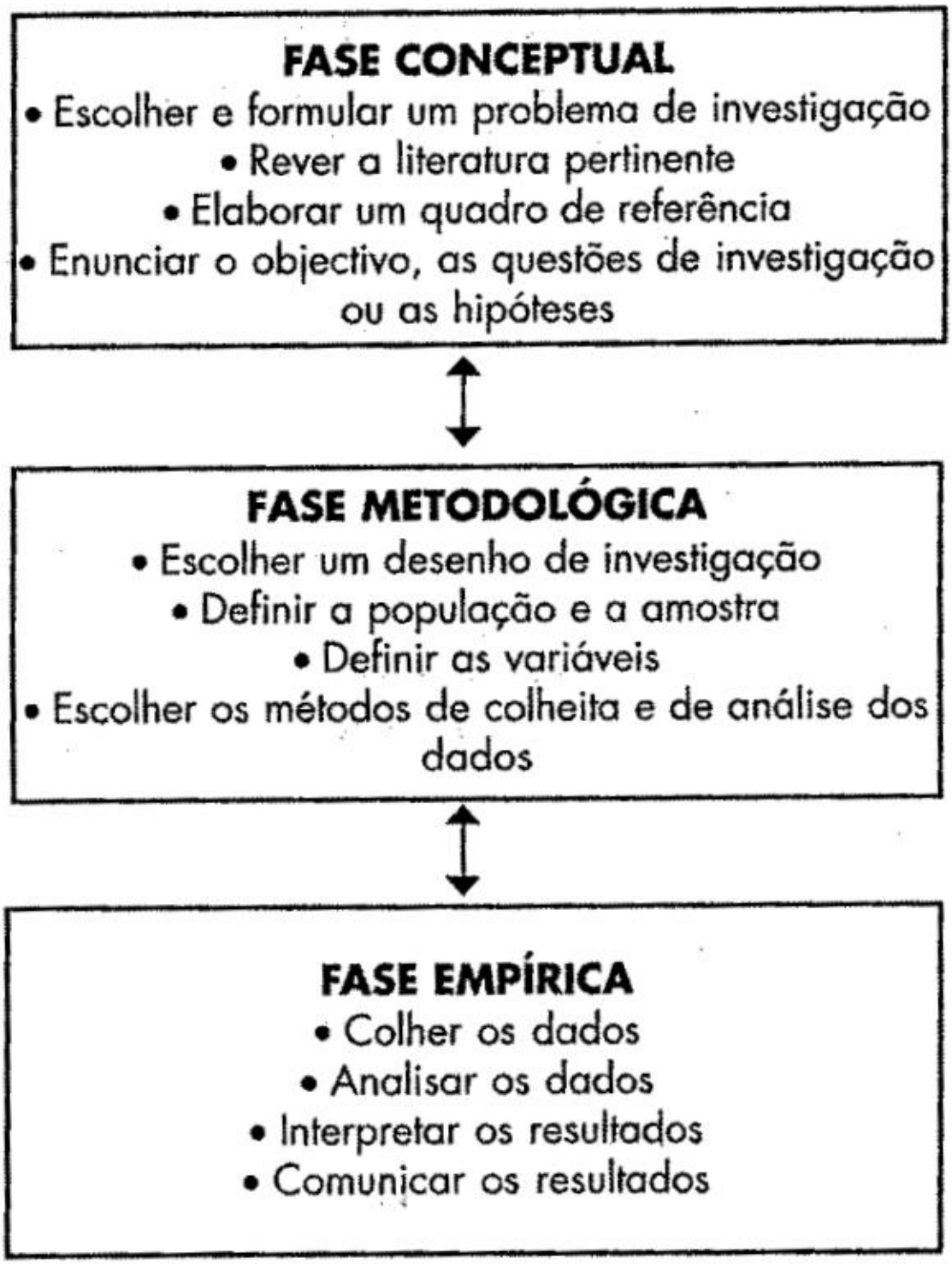

Fig. 12 O processo de investigação; a presente figura, foi retirada do livro: "O processo de investigação: da concepção à realização", p.38 (Fortin, 1996).

[13]Fortin, M., (1996), O processo de investigação: da concepção à realização

Deste modo, e com o intuito de facilitar a compreensão e pertinência do enquadramento conceptual e prático, irá ser cronologicamente apresentado e co relacionado, os conceitos de ciências sociais e humanas/humanísticas e ciências exatas; tais como: Arquitetura, arqueologia, psicologia experimental, psicologia cognitivo-comportamental, psicologia ambiental[14], filosofia, biofilia, *design* gráfico, ecologia, biologia molecular, neurociência, Neuroarquitetura, Bioarquitetura, geologia e macro e micro economia. Ao analisar a potencialidade da presente investigação foi verificada a relevância e a pertinência do tema proposto, de forma a amplificar a escassez da literatura conceptual, teórica e respetiva prática. Assim, pretende-se culminar esta lacuna. A bibliografia exposta é reflexo desta condicionante que será hipoteticamente complementada com a apresentação de um protótipo ideal que responda às lacunas identificadas e permita ao arquiteto assumir o papel de arquiteto biofílico.

[14] A *psicologia ambiental* corresponde à esfera anglo-americana enquanto a *psicologia ecológica* ou *eco psicologia*, são utilizadas nos países com idioma germânico.

1.1. Biofilia - Cronologia da Conceptualização Teórico-Prática

Etimologicamente, *biofilia* aglutina duas palavras de origem grega, *bios*, que significa vida, e *philia*, amor ou amizade. Na literatura, o termo surge em 1964 associado ao psicanalista Erich Fromm[15], através do seu livro *"The Heart of Man: It's Genious for Good and Evil"* onde analisa a dualidade do ser humano e apresenta a expressão como um antagonismo à necrofilia.

> "*The opposite of the necrophilous orientation is the biophilous; its essence is love of life in contrast to love of death. Like necrophilia, biophilia is not constituted by a single trait, but represents a total orientation, an entire way of being. It is manifested in a person's bodily processes, in his emotions, in his thoughts, in his gestures; the biophilous orientation expresses itself in the whole man. The most elementary form of this orientation is expressed in the tendency of all living organisms to live.*" (p. 45)

> "*The person who fully loves life is attracted by the process of life and growth in all spheres. He prefers to construct rather than to retain. He is capable of wondering, and he prefers to see something new to the security of finding confirmation of the old. He loves the adventure of living more than he does certainty. His approach to life is functional rather than mechanical. He sees the whole rather than only the parts, structures rather than summations. He wants to mold and to influence by love, reason, by his example; not by force, by cutting things apart, by the bureaucratic manner of administering people as if they were things. He enjoys life and all its manifestations rather than mere excitement."* (p. 47)

Posteriormente, em 1972 os dois psicólogos ambientais Stephen Kaplan e Rachel Kaplan[16] [Fig. 13], iniciam pesquisas nesta área, começando a criar bases que relacionam a perceção do ser humano com o ambiente que o rodeia, e como essa perceção afeta o seu humor. Paralelamente, em 1974, Roger Ulrich[17] [Fig. 14] inicia o seu trabalho de investigação baseado na tese da relação do ambiente como fator nas escolhas que fazemos. Estes 3 autores são os grandes impulsionadores do estudo do desenho *biofílico*, e na interdependência do ambiente espacial em que nos situamos com conceito de bem-estar. Na atualidade são dos mais citados no campo do desenho *biofílico*[18].

[15]Fromm, E., (1964), The heart of man, its genius for good and evil
[16]Kaplan, S., *et al.*, (1972), Rated preference and complexity for natural and urban visual material; DOI: 10.3758/BF03207221
[17]Ulrich, R., (1974), Scenery and the shopping trip : the roadside environment as a factor in route choice
[18]Katuk, D., & Köseoğlu, E., (2023), Bibliometric analysis of water at the intersection of environmental psychology and biophilic design; DOI: 10.2478/alfa-2023-0003

Fig. 13 Stephen Kaplan e Rachel Kaplan; a presente figura foi retirada de "flickr.com/photos/snre/24846811202" (University of Michigan School for Environment and Sustainability, 2016)Fig. 14 Roger S. Ulrich; a presente figura foi retirada de "naturesacred.org/natural-design-for-better-health-an-interview-with-dr-roger-ulrich" (Nature Sacred, 2013).

Com o seu trabalho desenvolvido, ficou registada uma preferência por paisagens naturais em oposição a ambientes construídos, especialmente quando os ambientes construídos revelam falta de elementos naturais como vegetação e água[19]. Estas lacunas naturais, mais tarde, verificam-se como fatores indutores de aumento de stress e consequentemente a possibilidade de alteração do estado emocional do sujeito[20]. Tendo em consideração a sua descoberta científica[21], Ulrich analisou e comprovou melhorias ao nível da recuperação física em pós-operatório, bem como revalida a melhoria do estado emocional, ao observar pacientes que se encontram num quarto hospitalar com vista para a natureza em comparação com doentes que se encontravam em quartos sem essa característica.

No mesmo ano, o biólogo Edward Wilson[22] [Fig. 15] volta a fazer referência ao termo biofilia aprofundando-o num livro com o mesmo nome. No qual, caracteriza o conceito como uma tendência inata dos seres humanos em procurar uma conexão com a natureza[23]. Wilson chega a esta conclusão ao analisar retrospetivamente algumas viagens, em que denota a sua preferência por certas características comuns naturais. Como forma de validar a sua descoberta, encara a evolução da espécie humana desde os seus primórdios, e relaciona as preferências atuais da espécie humana, com ambientes indicadores de alimento e proteção dos nossos antepassados, nomeadamente a savana. A integração genética dos mecanismos primitivos é também validada cientificamente no estudo efetuado entre o sujeito e um ambiente potencializador de perigo; nomeadamente na presença de serpentes e cobras[24]. À data da escrita do livro, Wilson

[19]Kaplan, S., *et al.*, (1972), Rated preference and complexity for natural and urban visual material; DOI: 10.3758/BF03207221
[20]Ulrich, R., (1979), Visual Landscapes and Psychological Well-Being; DOI: 10.1080/01426397908705892
[21]Ulrich, R., (1984), View Through a Window May Influence Recovery from Surgery; DOI: 10.1126/science.6143402
[22]Wilson, E., (1984), Biophilia: the human bond with other species
[23]*Ibidem.*, p. 1
[24]*Ibidem.*, Cap. VI

assume uma falta de validação científica que comprove a sua observação. Apesar do ano de lançamento do livro, no final o autor faz uma ressalva nas notas de leitura e revela que já havia utilizado o termo num artigo do New York Times em 1979[25].

> "*I have suggested that the urge to affiliate with other forms of life is to some degree innate, hence deserves to be called biophilia. The evidence for the proposition is not strong in a formal scientific sense: the subject has not been studied enough in the scientific manner of hypothesis, deduction, and experimentation to let us be certain about it one way or the other.*" (p. 85)

Fig. 15 Edward O. Wilson; a presente figura foi retirada de "eowilsonfoundation.org/about-us/history/" (Beth Maynor Young, 2010).

O método científico implica que as descobertas sejam replicáveis em contextos diferentes, validando-se uma teoria hipotética. Como tal, os psicólogos supracitados continuam a desenvolver as suas investigações, nas quais foram verificadas melhorias a nível do sistema nervoso parassimpático com a observação de imagens de paisagens naturais após um evento stressante em oposição à visualização de ambientes urbanos onde os pacientes não mostraram alterações[26]. Verificaram-se melhorias ao nível do sistema imunitário, circulatório, e de níveis de *stress/distress* ao visualizar vegetação alta. Neste sentido, observa-se uma correlação entre o conceito de bem-estar e saúde

[25]*Ibidem*., p. 147
[26]Ulrich, R., & Simons, R., (1986), Recovery from stress during exposure to everyday outdoor environments

mental[27]; que até ao momento presente não existe conceito científico concreto da sua definição. Porém, é notada uma ausência de estudos relativamente à observação de flores[28]. Em 1992, com uma revisão de estudos anteriormente efetuados, é teorizada por Kaplan a ideia de que as experiências em contexto de natureza têm benefícios restauradores para a saúde[29]. No ano de 1995 Stephen Kellert e Wilson publicam o livro "The Biophilia Hypothesis"[30] que contempla 15 capítulos, onde diversos especialistas, aprofundam e conceptualizam o tema devido ao reconhecimento da sua relevância em inúmeras disciplinas.

> "*BIOPHILIA, IF IT exists, and I believe it exists, is the innately emotional affiliation of human beings to other living organisms. Innate means hereditary and hence part of ultimate human nature. Biophilia, like other patterns of complex behavior, is likely to be mediated by rules of prepared and counterprepared learning—the tendency to learn or to resist learning certain responses as opposed to others. From the scant evidence concerning its nature, biophilia is not a single instinct but a complex of learning rules that can be teased apart and analyzed individually.*" (Wilson, p. 36)

Baseando-se em provas empíricas e considerando a interdisciplinaridade, este livro introduz ciências como a psicologia ambiental, antropologia, biologia comportamental, estudos ambientais, psiquiatria, psicodiagnóstico, etnobotânica, evolução humana, ecologia, biologia genética e ética ambiental, criando objetivamente uma base mais concisa que permita o futuro desenvolvimento humano e validação científica do conceito.

Em 1998 existe uma primeira tentativa de articular vários estudos e criar uma estrutura que facilite particularmente aos arquitetos paisagistas a prática de um desenho informado de espaços naturais promovendo o bem-estar. Embora, no livro não seja mencionado o termo *biofilia*, e os padrões descritos tenham maior propensão à Arquitetura paisagista, é pertinente para a presente contextualização devido aos seus autores e a sua ampla relação com o tema em estudo.

Deste modo, torna-se relevante analisar a introdução de estímulos preceptivo-sensoriais que promovam a descoberta e a exploração, intrínsecas e extrínsecas[31] ao ser

---

[27]Ulrich, R., & Parsons, R., (1992), Influences of Passive Experiences with Plants on Well-Being and Health

[28]*Ibidem.,* p. 102

[29]Kaplan, S., (1992), The restorative environment: Nature and human experience

[30]Kellert, S., & Wilson, E., (1995), The Biophilia hypothesis

[31]*Locus de controlo interno e locus de controlo externo* (*Psicologia do self*: Não há uma tradução direta para a palavra *self* em muitos idiomas, mas existem palavras que conduzem naturalmente ao papel que um *self* pode ter (Strawson, 2005); ainda que esse possa diferir em cada cultura. Numa definição sucinta, *self* inclui um corpo físico, processos de pensamento e uma experiência consciente de alguém único e diferenciado dos outros; o que envolve a representação mental de experiências pessoais (Gazzaniga & Heatherton, 2003). Essa definição destaca características permanentes e universais e não discrimina as mudanças que ocorrem durante o desenvolvimento ou entre diferentes culturas. Em contraste, autores pós-modernos (Gergen, 1985; Shotter, 1997) questionam a existência do acesso a uma verdade universal e

humano. Como tal, é importante manter alguma coerência e pontos de referência para não provocar nos sujeitos transeuntes a sensação de se encontrarem num labirinto[32]. Todas estas palavras-chave relacionam-se com o livro *"Atmospheres"* de Peter Zumthor[33] que poeticamente descreve o movimento ao percorrer a obra das termas de Vahls.

> "*[...] just drifting along, you know? And it's a kind of voyage of discovery. As an architect I have to make sure it isn't like being in a labytinth, hoever, if that's not what I want. So Ill reintroduce the odd bit of orientation, exceptions that prove the rule- you know the sort of thing. Direction, seduction, letting go, granting freedom.*" (2006, p. 43)

de uma perspetiva individual desconectada de um contexto relacional. Shotter ainda argumenta que mentes, *self* ou psiques existem como tais, somente quando encaixados nas nossas práticas discursivas (material inconsciente da estrutura mental; Klein, vol. I ; 1930) outros têm uma posição intermédia, como a de Chandler (2000), hipotetiza que para sobreviver como possíveis objetos do conhecimento, sem cair na incoerência; o *self* de cada idade e segmento cultural precisam de ser entendidos como capazes de mudar, preservando algumas características que asseguram um sentido de continuidade. Atualmente, essas diversas definições de *self*, que surgiram em momentos históricos diferentes, coexistem (Klein, vol. II ; 1932))

[32]Kaplan, R., *et al*., (1998), With people in mind: design and management of everyday nature

[33]Zumthor, P., (2006), Atmospheres

Fig. 16 Termas de Vals; a presente figura foi retirada de “archdaily.com.br/br/798132/” (Guerra, 2004).

Neste contexto, emerge a pertinência das primeiras tentativas de conceptualização do termo *biofilia*, como tendência inata ao *homo sapiens*. Contudo nasce igualmente a necessidade de introduzir a preservação do natural em contexto educativo para não se perderem os benefícios comprovados e supracitados, isto é, verifica-se a simbiose[34] entre a degradação do ambiente natural e a *psique* do indivíduo[35]. No livro de Kahn é estudada a relação com o mundo natural em vários países, incluindo Portugal, com o trabalho do professor Dr. Orlando Lourenço[36]. Através do método qualitativo, é verificada que a tendência da preservação da natureza é multicultural e, quão mais degradado estiver o ambiente, menor a propensão para o preservar.

Nesta demanda [1998], emerge a segunda tentativa de criar uma estrutura que permita a replicação do desenho biofílico e a sua relação com o termo biofilia. Neste contexto, surge em estudo de Heerwagen e Hase a primeira tentativa de divisar unidades em oito dimensões chave *("Prospect, Refuge, Water, Biodiversity, Sensor variability, Biomimicry, A sense of playfulness, Enticement")*. Ora, tais unidades, são especificamente idealizadas para um edifício *biofílico*, contemplando o desenho de ambientes naturais. É assim, que surge o primeiro *framework* de desenho *biofílico* para edifícios, contendo em cada dimensão, atributos e qualidades representativas dos estudos realizados até ao momento[37]. Ao abranger extensos estudos psicológico-cognitivos e psicológico-ambientais[38]; Kahn e Kellert expõem a extrema importância de envolver as crianças em atividades estruturadas em contacto com o meio natural[39].

Como crítica ao "*low environmental impact design"*, cujas premissas construtivas são a alta eficiência enérgica, o uso de recursos renováveis, a redução de poluição e resíduos; e a preservação de biodiversidade[40] Kellert sugere a inclusão do *design biofílico*[41] como crucial, e propõe a reformulação para "*restorative environmental design"*.

> "[...] *restorative environmental design incorporates the complementary goals of minimizing harm and damage to natural systems and human health as well as enriching the human body, mind, and spirit*." (p.5)

[34]Kahn, P., (1999), The human relationship with nature: development and culture
[35]Freud, S., (1900), The interpretation of dreams
[36]Professor Doutor Catedrático, em psicologia do desenvolvimento com mais de 100 artigos publicados. Entre 1997 e 2000 integrou a sociedade de diretores do Instituto Jean Piaget.
[37]Heerwagen, J., & Hase, B., (2001), Building biophilia: Connecting people to nature in building design
[38]*psico-cognitivo* e *psico-ambientais*.
[39]Kahn, P., & Kellert, S., (2002), Children and nature: psychological, sociocultural, and evolutionary investigation
[40]Kellert, S., (2005), Building for life: designing and understanding the human-nature connection
[41]*Ibidem*., cap. V

Como base conceptual, coloca a hipótese de três teorias com o objetivo de hipotetizar como o sistema natural afeta a psique e o conceito de bem-estar do *homo sapiens*.

> *"[…] As we shall see, each of the major design emphases associated with restorative environmental design—low environmental impact design and the two aspects of biophilic design, organic and vernacular design—is an outgrowth of three theories (described in chapter three) that explain how natural systems affect human physical and mental well-being. Specifically, (1) low environmental impact design sustains various ecosystem services on which human existence relies, (2) organic design fosters various benefits people derive from their tendency to value nature (biophilia), and (3) vernacular design enables a satisfying connection to the places where people live, also a necessary condition of human well-being"* (p.5)

Assim, ambos os conceitos se interligam com o intuito de auxiliar na resposta à crise ambiental e melhorar o bem-estar[42]. A mesma critica é efetuada aos certificados de desenho sustentável[43].

Para descrever o desenho *biofilico*, Kellert[44] utiliza uma ligeira variação da tabela desenvolvida por Heerwagen em 2001[45]. No entanto, a formalização do *design biofílico*, é assumida como escassa, e consequentemente é desenvolvida uma tabela com setenta e dois atributos divididos em seis elementos de *design*[46] *(Environmental features, Natural shapes and forms, Natural patterns and processes, light and space, place based relationships, evolved human-natures relationships)* [Fig. 17]. Mantendo a interdisciplinaridade que é recorrente, o livro fortalece a validação científica dos princípios norteadores da biofilia conjugando a opinião de investigadores com diversas valências; tais como Arquitetura, Arquitetura sustentável, Arquitetura verde, Arquitetura paisagística, planeamento urbano, escultura, biologia, ecologia, estudos ambientais, ambientalismo, medicina, epidemiologia, psicologia e *design*.

[42] *Ibidem*., pp. 93-98
[43] *Ibidem*., pp. 120-122
[44] *Ibidem*., p.129
[45] Heerwagen, J., & Hase, B., (2001), Building biophilia: Connecting people to nature in building design
[46] Kellert, S., *et al*., (2008), Biophilic design: the theory, science, and practice of bringing buildings to life, p. 15

Elements and Attributes of Biophilic Design		
Environmental features	**Natural shapes and forms**	**Natural patterns and processes**
Color	Botanical motifs	Sensory variability
Water	Tree and columnar supports	Information richness
Air	Animal (mainly vertebrate) motifs	Age, change, and the patina of time
Sunlight	Shells and spirals	Growth and efflorescence
Plants	Egg, oval, and tubular forms	Central focal point
Animals	Arches, vaults, domes	Patterned wholes
Natural materials	Shapes resisting straight lines and right angles	Bounded spaces
Views and vistas		Transitional spaces
Façade greening	Simulation of natural features	Linked series and chains
Geology and landscape	Biomorphy	Integration of parts to wholes
Habitats and ecosystems	Geomorphology	Complementary contrasts
Fire	Biomimicry	Dynamic balance and tension
		Fractals
		Hierarchically organized ratios and scales
Light and space	**Place-based relationships**	**Evolved human-nature relationships**
Natural light	Geographic connection to place	Prospect and refuge
Filtered and diffused light	Historic connection to place	Order and complexity
Light and shadow	Ecological connection to place	Curiosity and enticement
Reflected light	Cultural connection to place	Change and metamorphosis
Light pools	Indigenous materials	Security and protection
Warm light	Landscape orientation	Mastery and control
Light as shape and form	Landscape features that define building form	Affection and attachment
Spaciousness		Attraction and beauty
Spatial variability	Landscape ecology	Exploration and discovery
Space as shape and form	Integration of culture and ecology	Information and cognition
Spatial harmony	Spirit of place	Fear and awe
Inside-outside spaces	Avoiding placelessness	Reverence and spirituality

Fig. 17 Elementos e atributos do desenho biofílico; a presente figura, não trad., foi adaptada do livro: "Biophilic design: the theory, science, and practice of bringing buildings to life", Cap. I ; p.15 (Kellert, 2008).

Estabelecida uma base teórica, que permite a identificação de atributos de um desenho biofílico, expande-se a possibilidade de implementações a uma escala/dimensão macro.

Aprofundando a abordagem iniciada, Beatley[47] publica o primeiro ensaio com o intuito de definir atributos que identifiquem uma cidade biofílica. Em simultâneo enumera uma lista de elementos de desenho biofílico com aplicabilidade a diferentes escalas, desde o edifício à região [Fig. 18]. O autor pretende fomentar a discussão de forma a amplificar cientificamente os conceitos e, consequentemente permitir iterações futuras[48].

> "*It is unlikely that a singular coherent vision of a biophilic city will emerge. Rather, perhaps there are many different kinds of biophilic cities, many different expressions of urban biophilia.*" (p.81)

[47]Beatley, T., (2008), Toward Biophilic Cities: Strategies for Integrating Nature into Urban Design, cit in. Kellert, 2008; cap. XVII

[48]*Id.*, (2011), Biophilic cities: integrating nature into urban design and planning

Biophilic Urban Design Elements across Scales

Scale	*Biophilic Design Elements*
Building	Green rooftops
	Sky gardens and green atria
	Rooftop garden
	Green walls
	Daylit interior spaces
Block	Green courtyards
	Clustered housing around green areas
	Native species yards and spaces
Street	Green streets
	Sidewalk gardens
	Urban trees
	Low-impact development
	Vegetated swales and skinny streets
	Edible landscaping
	High degree of permeability
Neighborhood	Stream daylighting, stream restoration
	Urban forests
	Ecology parks
	Community gardens
	Neighborhood parks and pocket parks
	Greening grayfields and brownfields
Community	Urban creeks and riparian areas
	Urban ecological networks
	Green schools
	City tree canopy
	Community forest and community orchards
	Greening utility corridors
Region	River systems and floodplains
	Riparian systems
	Regional greenspace systems
	Greening major transport corridors

Fig. 18 Elementos e atributos do desenho biofílico entre diferentes escalas; a presente figura, não trad., foi adaptada do livro: "Biophilic cities: integrating nature into urban design and planning", Cap. IV; p.84 (Beatley, 2011).

Segundo o autor, é improvável que exista uma única perceção de uma cidade biofílica e respetiva avaliação da sua qualidade. Pode, em última instância, residir na curiosidade que os seus habitantes demonstram para com a natureza à sua volta[49] .

No ano de 2012 é publicado o primeiro relatório pela consultora *Terrapin Bright Green*, onde, fazendo uso de estatística e métodos quantitativos são identificadas e quantificadas as mais valias económicas. No caso de ambientes de trabalho, a proximidade e contacto com a natureza despoletam no colaborador um aumento de satisfação e consequentemente de produtividade. Em ambiente hospitalar verificou-se uma diminuição no tempo de recuperação e na dosagem de fármacos. No ramo imobiliário foi observado uma atribuição de maior valor em edifícios que se encontram na proximidade de corpos de água. Nas escolas com iluminação natural e que permitem um contacto direto com a natureza, as crianças mostram um aumento da rapidez de aprendizagem e do sentimento exploratório do ambiente circundante[50]. No seguimento do trabalho desenvolvido, é formalizada a divisão conceptual da biofilia em três tipos de experiência de natureza para o sujeito.

No relatório são descritas catorze unidades de registo divididas em três categorias*;* nomeadamente *nature in the space, natural analogues, nature of the space*. Na publicação[51], são identificadas as unidades de registo responsáveis por melhorias ao nível do desempenho cognitivo, emocional e de humor, e redução de stress [Fig. 19]. Esta é a primeira publicação que detalha claras implementações de cada um dos modelos/unidades de registo.

[49] *Ibidem*. p.81
[50] Browning, W., *et al.*, (2012), The Economics of Biophilia
[51] Browning, W., *et al.*, (2014), 14 Patterns of Biophilic Design

	14 PATTERNS	*	STRESS REDUCTION	COGNITIVE PERFORMANCE	EMOTION, MOOD & PREFERENCE
NATURE IN THE SPACE	Visual Connection with Nature	* * *	**Lowered blood pressure and heart rate** (Brown, Barton & Gladwell, 2013; van den Berg, Hartig, & Staats, 2007; Tsunetsugu & Miyazaki, 2005)	**Improved mental engagement/ attentiveness** (Biederman & Vessel, 2006)	**Positively impacted attitude and overall happiness** (Barton & Pretty, 2010)
	Non-Visual Connection with Nature	* *	**Reduced systolic blood pressure and stress hormones** (Park, Tsunetsugu, Kasetani et al., 2009; Hartig, Evans, Jamner et al., 2003; Orsega-Smith, Mowen, Payne et al., 2004; Ulrich, Simons, Losito et al., 1991)	**Positively impacted on cognitive performance** (Mehta, Zhu & Cheema, 2012; Ljungberg, Neely, & Lundström, 2004)	**Perceived improvements in mental health and tranquility** (Li, Kobayashi, Inagaki et al., 2012; Jahncke, et al., 2011; Tsunetsugu, Park, & Miyazaki, 2010; Kim, Ren, & Fielding, 2007; Stigsdotter & Grahn, 2003)
	Non-Rhythmic Sensory Stimuli	* *	**Positively impacted on heart rate, systolic blood pressure and sympathetic nervous system activity** (Li, 2009; Park et al, 2008; Kahn et al., 2008; Beauchamp, et al., 2003; Ulrich et al., 1991)	**Observed and quantified behavioral measures of attention and exploration** (Windhager et al., 2011)	
	Thermal & Airflow Variability	* *	**Positively impacted comfort, well-being and productivity** (Heerwagen, 2006; Tham & Willem, 2005; Wigö, 2005)	**Positively impacted concentration** (Hartig et al., 2003; Hartig et al., 1991; R. Kaplan & Kaplan, 1989)	**Improved perception of temporal and spatial pleasure (alliesthesia)** (Parkinson, de Dear & Candido, 2012; Zhang, Arens, Huizenga & Han, 2010; Arens, Zhang & Huizenga, 2006; Zhang, 2003; de Dear & Brager, 2002; Heschong, 1979)
	Presence of Water	* *	**Reduced stress, increased feelings of tranquility, lower heart rate and blood pressure** (Alvarsson, Wiens, & Nilsson, 2010; Pheasant, Fisher, Watts et al., 2010; Biederman & Vessel, 2006)	**Improved concentration and memory restoration** (Alvarsson et al., 2010; Biederman & Vessel, 2006) **Enhanced perception and psychological responsiveness** (Alvarsson et al., 2010; Hunter et al., 2010)	**Observed preferences and positive emotional responses** (Windhager, 2011; Barton & Pretty, 2010; White, Smith, Humphryes et al., 2010; Karmanov & Hamel, 2008; Biederman & Vessel, 2006; Heerwagen & Orians, 1993; Ruso & Atzwanger, 2003; Ulrich, 1983)
	Dynamic & Diffuse Light	* *	**Positively impacted circadian system functioning** (Figueiro, Brons, Plitnick et al., 2011; Beckett & Roden, 2009) **Increased visual comfort** (Elyezadi, 2012; Kim & Kim, 2007)		
	Connection with Natural Systems				**Enhanced positive health responses; Shifted perception of environment** (Kellert et al., 2008)
NATURAL ANALOGUES	Biomorphic Forms & Patterns	*			**Observed view preference** (Vessel, 2012; Joye, 2007)
	Material Connection with Nature			**Decreased diastolic blood pressure** (Tsunetsugu, Miyazaki & Sato, 2007) **Improved creative performance** (Lichtenfeld et al., 2012)	**Improved comfort** (Tsunetsugu, Miyazaki & Sato 2007)
	Complexity & Order	* *	**Positively impacted perceptual and physiological stress responses** (Salingaros, 2012; Joye, 2007; Taylor, 2006; S. Kaplan, 1988)		**Observed view preference** (Salingaros, 2012; Hägerhäll, Laike, Taylor et al., 2008; Hägerhäll, Purcella, & Taylor, 2004; Taylor, 2006)
NATURE OF THE SPACE	Prospect	* * *	**Reduced stress** (Grahn & Stigsdotter, 2010)	**Reduced boredom, irritation, fatigue** (Clearwater & Coss, 1991)	**Improved comfort and perceived safety** (Herzog & Bryce, 2007; Wang & Taylor, 2006; Petherick, 2000)
	Refuge	* * *		**Improved concentration, attention and perception of safety** (Grahn & Stigsdotter, 2010; Wang & Taylor, 2006; Wang & Taylor, 2006; Petherick, 2000; Ulrich et al., 1993)	
	Mystery	* *			**Induced strong pleasure response** (Biederman, 2011; Salimpoor, Benovoy, Larcher et al., 2011; Ikemi, 2005; Blood & Zatorre, 2001)
	Risk/Peril	*			**Resulted in strong dopamine or pleasure responses** (Kohno et al., 2013; Wang & Tsien, 2011; Zald et al., 2008)

Fig. 19 As catorze unidades de registo; a presente figura, não trad., foi adaptada do relatório: "14 Patterns of Biophilic Design", p.12 (Browning, 2014).

Mantendo a abordagem iterativa que já vem sendo habitual, complementa-se com a publicação dos cinco princípios do desenho biofílico[52] por Kellert e Calabresse, os quais irão ser descritos posteriormente com a respetiva atualização para nove.

No mesmo livro, estruturam uma lista de vinte e quatro atributos subdivididos em três tipos de experiência com o intuito de criar um *framework* simplificado [Fig. 20]. No entanto, entende-se que esta simplificação fica aquém da desenvolvida anteriormente por Browning (2014) ao ser mais extensa e menos concreta na

[52]Kellert, S., & Calabrese, E., (2015), The Practice of Biophilic Design

caracterização dos atributos. Deste modo, e atendendo à revisão literária realizada, daqui em diante irá somente ser considerada a supracitada.

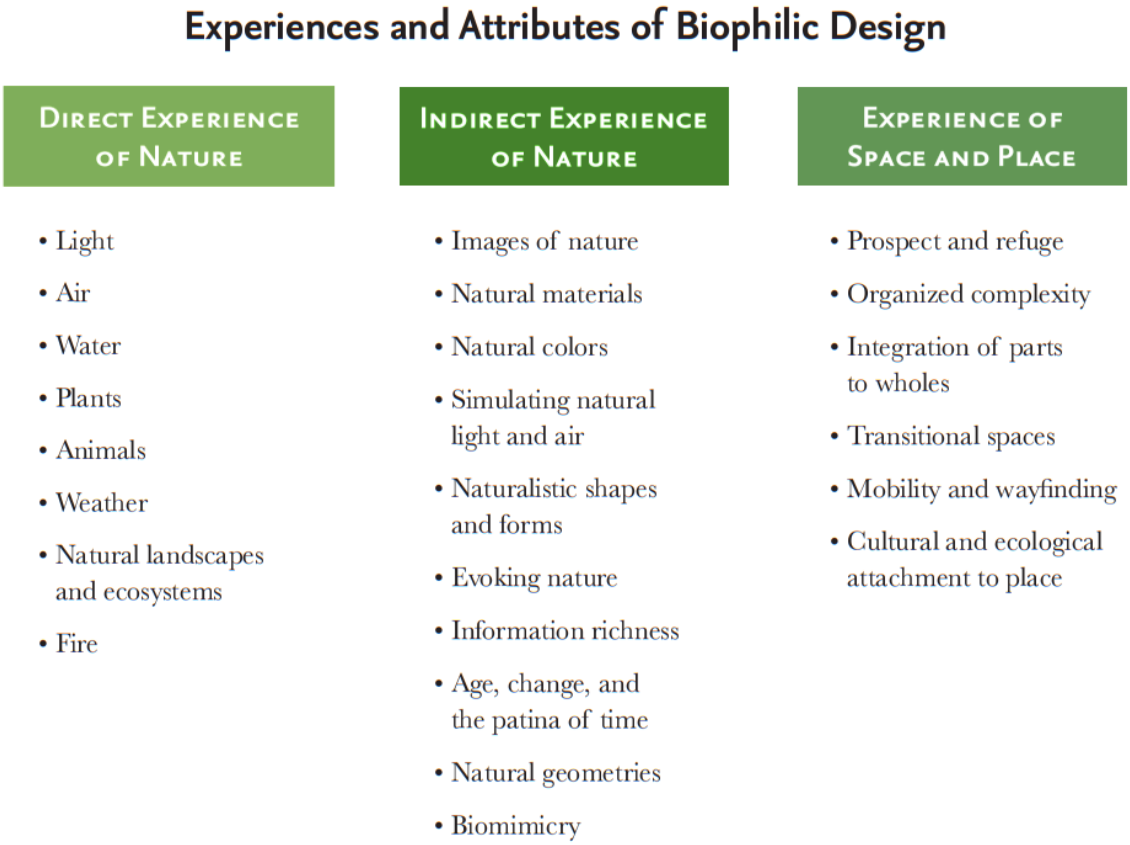

Fig. 20 Experiências e atributos do desenho biofílico; a presente figura, não trad., foi adaptada do livro: "The Practice of Biophilic Design", p.10 (Kellert, 2015).

Como forma de validar o desenho biofílico, que recorre a padrões baseados em geometria fractal e na proporção áurea, surge o polímata Salingaros[53] em 2015, que critica a evolução da teoria da Arquitetura e consequentemente o seu desenho. A Arquitetura moderna, desenvolvida paralelamente com a revolução industrial simplifica formas e planos na procura do controlo de desenho e replicabilidade à escala global. Em contrapartida remove a complexidade, o ornamento e a vernaculidade que promovem o desenvolvimento cognitivo, e as características regeneradoras da biofilia. Neste contexto, defende que uma abordagem *bottom-up* na conceção de edifícios, que integre o conhecimento e técnicas de construção locais resulta num projeto que é biofílico.

Ao longo da presente exposição, tem-se referido o termo/conceito de *design* biofílico, sem uma conceptualização rigorosa e científica. Tal, verifica-se, igualmente, em termos e conceitos que envolvem a biofilia e a Arquitetura.

[53]Salingaros, N., (2015), Biophilia & Healing Environments

Como forma de colmatar, o supracitado; tornou-se deveras relevante enunciar e, claramente, contextualizar os princípios mencionados anteriormente para compreensão científica e aplicabilidade prática.

Kellert[54] parte dos "princípios do desenho biofílico" e expande a sua listagem qualitativa para nove. Apesar desta tentativa conceptual, observou-se uma carência de escalas. Não podemos deixar de enunciar que a lacuna cronológica advém de ausência de estudos quantitativos e qualitativos como forma de comprovar a sua viabilidade teórico-prática. Ora, perante tal ausência, o autor aborda; recorrendo a uma base conceptual transversal incidindo a tónica no fator ambiental; o clima. Neste momento histórico, a sua conceptualização engloba o desenho biofílico como:

I. Orientado para neuroplasticidade cerebral relativa ao meio envolvente, permitindo maior desenvolvimento de *skills* sociais, aumento da produtividade da cognição particularmente no córtex-pré-frontal, e da perceção sensorial, o que expande a saúde física e conceito de bem-estar;
II. Tendo em consideração as potencialidades supracitadas é exequível a correlação entre micro e macro sistemas ecológicos e a psicologia do *self*

> "*Like all species, human functioning depends on being part of an ecological system of interrelated, mutually reinforcing, and integrated parts that constitute a whole greater than its constituent elements. This means designing the built environment to meet our inherent tendencies to affiliate with nature in ecologically connected and complementary ways*" *(p. 17).*

III. Motivando processos de descoberta no meio ambiente envolvente que potencializem a experiência multissensorial e memória a longo prazo no sujeito;
IV. De forma inata, o sujeito é implicado nesta simbiose entre o meio ambiente circundante e ser, preservando o ambiente Biofílico;
V. Dinamizando e amplificando vínculos emocionais com o ambiente construído;
VI. Promovendo o "sentimento de pertença" do sujeito com a comunidade e respetivo ambiente biofílico;
VII. Ocorrente numa multiplicidade de ambientes, incluindo espaços interiores e exteriores, paisagens e zonas de transição que estimulem os sentidos;
VIII. Privilegiando o uso do natural em detrimento do artificial;

[54] Kellert, S., (2018), Nature by Design: The Practice of Biophilic Design

IX. Fortalecendo a vinculação humana com os sistemas e subsistemas naturais, de forma a minimizar impactos prejudiciais para a ecologia

(adaptado de Kellert, 2018, pp.17–22).

Com a revisão efetuada, é finalmente possível compreender o estado da arte do *design* biofílico, o qual vem sendo conceptualizado paralelamente com o próprio conceito de biofilia. Compreende-se também a importância de abordar a temática sempre com a interdisciplinaridade caracterizadora das constantes iterações e a pertinência de difundir a informação em prol de melhorar o bem-estar da humanidade ao usufruir dos edifícios biofílicos. Assume-se, igualmente a dificuldade em atingir um equilíbrio perfeito entre a criação de diretrizes orientadoras do desenho biofílico que permitam aos *designers* tirar o máximo partido do lugar de implantação. Este sim, é o princípio número um, para a concretização de um edifício verdadeiramente biofílico.

> *"[…] No ingresso do segundo círculo está Minos, que julga as almas e designa-lhes a pena. No repleno desse círculo estão os luxuriosos, que são continuamente arrebatadas e atormentadas por um horrível turbilhão, Aqui Dante encontra Francesca de Rimin, que lhe narra a história do seu amor infeliz…"*
>
> Dante, A.; (1321)

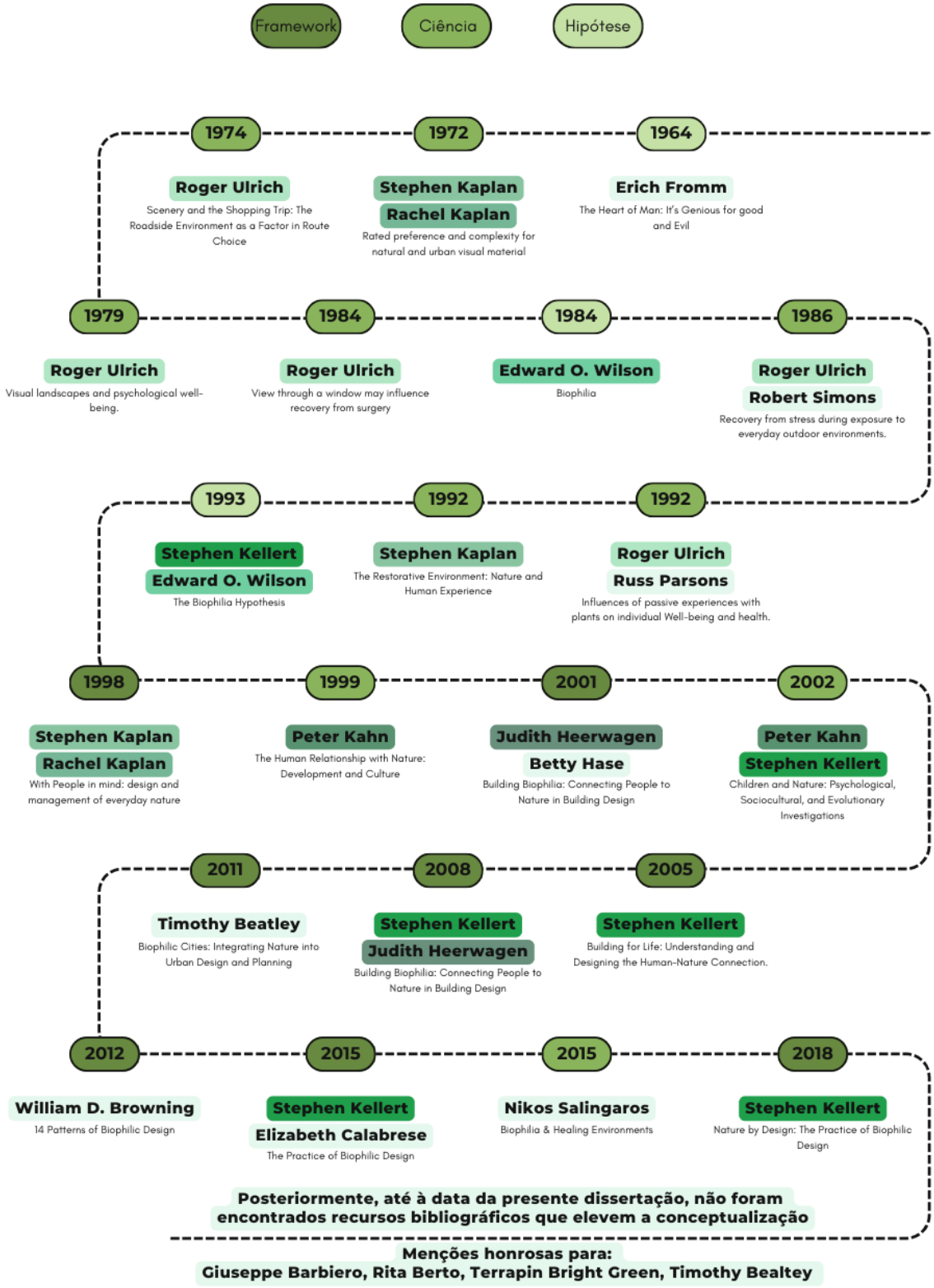

Fig. 21 Cronologia da literatura analisada ao longo do percurso de levantamento teórico (autor, 2024).

1.2. Neurociência e a perceção

Para projetar um ambiente biofílico que expande a sua conceção ao expoente máximo do desenho restaurador; é lógico que se observem, analisem e compreendam as relações entre o sujeito e o ambiente.

Para entender a relação humana com ambiente envolvente, construído ou não, recorre-se à neurociência e ao estudo da perceção sensorial como forma de o arquiteto deter conhecimento científico atualizado. Deste modo, pode efetuar o desenho biofílico e criar um ambiente biofílico que vá de encontro às necessidades da estrutura mental.

Com intuito de elucidar o leitor, ressalvo uma nota completar ao supracitado:

> "A sensação e percepção de um objeto é sentir e perceber sua cor, suas partes, suas qualidades distintas, seus movimentos. O objeto percebido não é como para os empiristas, um feixe de qualidade isoladas que enviam estímulos aos órgãos dos sentidos; nem tampouco, como diriam os intelectualistas, um objeto indeterminado esperando que o pensamento diga às sensações o que é aquele objeto. O objeto-percebido não é um mosaico de estímulos exteriores (empirismo) nem uma idéia (intelectualismo), mas é, exatamente, um objeto-percebido (Zilles, 2005).
>
> (cit. In. Oliveira, A.; & Júnior, C.; 2012; p.45)

1.2.1. História do Ser

A neurociência cognitiva, que investiga a relação entre o cérebro e o comportamento humano, formalizou-se no final da década de 1970[55]. No entanto, as suas raízes remetem para o séc. XVII, com Willis[56] (1644) ao observar que danos biológicos podiam afetar os comportamentos.

Gall (s.d.), um neuroanatomista[57] austríaco, aprofundou a ideia ao desenvolver uma teoria de que diferentes partes do cérebro teriam funções específicas e era possível descrever as características de uma pessoa ao analisar o seu crânio. Mais tarde, Flourens[58] (1824) comprovou a teoria de Willis, ao remover certas áreas de cérebros de animais, e verificar a perda de habilidades específicas, como a perceção e o movimento.

Em Inglaterra, o neurologista Jackson[59] (1874) observou que lesões do lado direito do cérebro influenciavam mais as funções visuoespaciais[60], embora ele não acreditasse que estas fossem exclusivas de uma área. Purkinje[61] (1837) descreveu que o sistema nervoso é constituído por células individuais e como seria uma célula do sistema nervoso. No final do século XIX, Broca[62] (1861) descobriu que o lóbulo anterior esquerdo era a área cerebral ligada à linguagem, o que inspirou Brodmann[63] (1909) a utilizar métodos microscópicos para ver e mapear a estrutura celular do cérebro, identificando cinquenta e duas áreas distintas que definem as bases do estudo da arquitetura celular. No entanto, a grande revolução no estudo da neurociência havia ocorrido anteriormente em Espanha onde Ramón y Cajal[64] (1888) conseguiu observar pela primeira vez as células individualmente [Fig. 22].

[55]Gazzaniga, M., *et al.*, (2014), Cognitive neuroscience: the biology of the mind
[56]Willis, T., (1644), Cerebri Anatome
[57]A Neuroanatomia é o campo que estuda a anatomia do sistema nervoso.
[58]Fleurens, P., (1824), Récherches expérimentales sur les propriétés et les fonctions du système nerveux, dans les animaux vertébrés
[59]Jackson, J., (1874) On the Nature of the Duality of the Brain.
[60]Referente à perceção visual e espacial.
[61]Punkje, J., (1837), Neueste Untersuchungen aus der Nerven und Hirn Anatomie
[62]Broca, P., (1861), Perte de la parole, ramollissement chronique et destruction partielle du lobe antérieur gauche
[63]Brodmann, K., (1909), Vergleichende Lokalisationslehre der Grosshirnrinde
[64]Ramon y Cajal, S., (1888), Estructura de los centros nerviosos de las aves

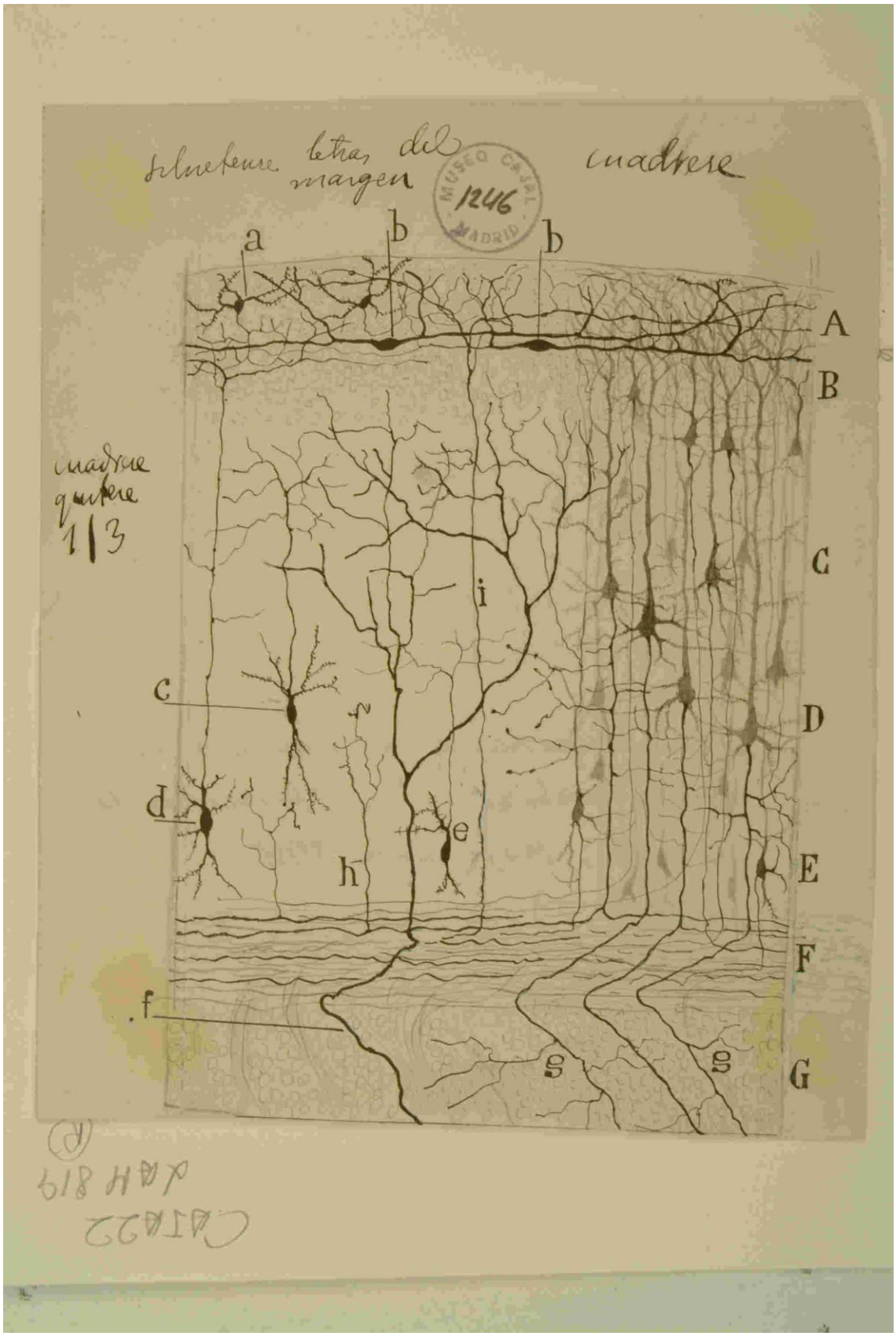

Fig. 22 Esquema de uma secção do córtex cerebral de um mamífero; a presente figura foi retirada de "simurg.csic.es/view/990001391320204201"; "Manual de histología normal y de técnica micrográfica." (Ramón y Cajal, 1889).

Paralelamente, o debate sobre a origem do conhecimento dividiu-se entre duas correntes filosóficas: o racionalismo e o empirismo[65]. Os racionalistas, como Descartes e Leibniz (s.d.), argumentavam que o conhecimento surge da razão individual, enquanto empiristas, como Hobbes e Locke (s.d.), defendiam que ele deriva da experiência sensorial. Esta discussão moldou a psicologia moderna, com o emergir do *behaviorism* que defendia que as sensações simplesmente fornecem dados que atuam em estruturas mentais pré-existentes.

A ciência cognitiva e a psicologia comportamental também evoluíram, e contestaram o comportamentalismo[66], ao propor que a cognição deveria ser estudada além do comportamento observável. Com a inovação tecnológica, Neumann (s.d.) propôs que o cérebro funciona de forma semelhante a computadores paralelos no processamento de linguagem. Noam Chomsky (1956) descreveu a linguagem como uma capacidade inata e universal, que não se aprende apenas pela associação; a teoria defendida por Skinner (s.d.).

[65]Gazzaniga, M., *et al.*, (2014), Cognitive neuroscience: the biology of the mind
[66]*Ibidem.*

1.2.2. O Ser eletroquímico

O neurocientista José Delgado (s.d.) percebeu que o Sistema Nervoso (SN) usa energia eletroquímica para a comunicação; e os nervos funcionam como cabos ao transmitir sinais que podem ativar músculos e, iniciar ou evitar comportamentos como a agressão. O processo ocorre através de sinapses, onde os neurónios transferem informações, seja quimicamente (com neurotransmissores) ou eletricamente. O SN divide-se em duas partes principais, o Sistema Nervoso Central (SNC), responsável pelo controlo e o Sistema Nervoso Periférico (SNP), cujas funções são de transporte de informação e de controlos motores. Dentro do SNP, o sistema nervoso visceral ou autónomo gere os processos involuntários e regula o batimento cardíaco e várias glândulas. Divide-se em simpático ou parassimpático, respetivamente, responsáveis por aumentar o batimento cardíaco e estimular as glândulas adrenais, ou reduzir o batimento cardíaco e estimular a digestão[67] [Fig. 23].

[67]Gazzaniga, M., *et al.*, (2014), Cognitive neuroscience: the biology of the mind

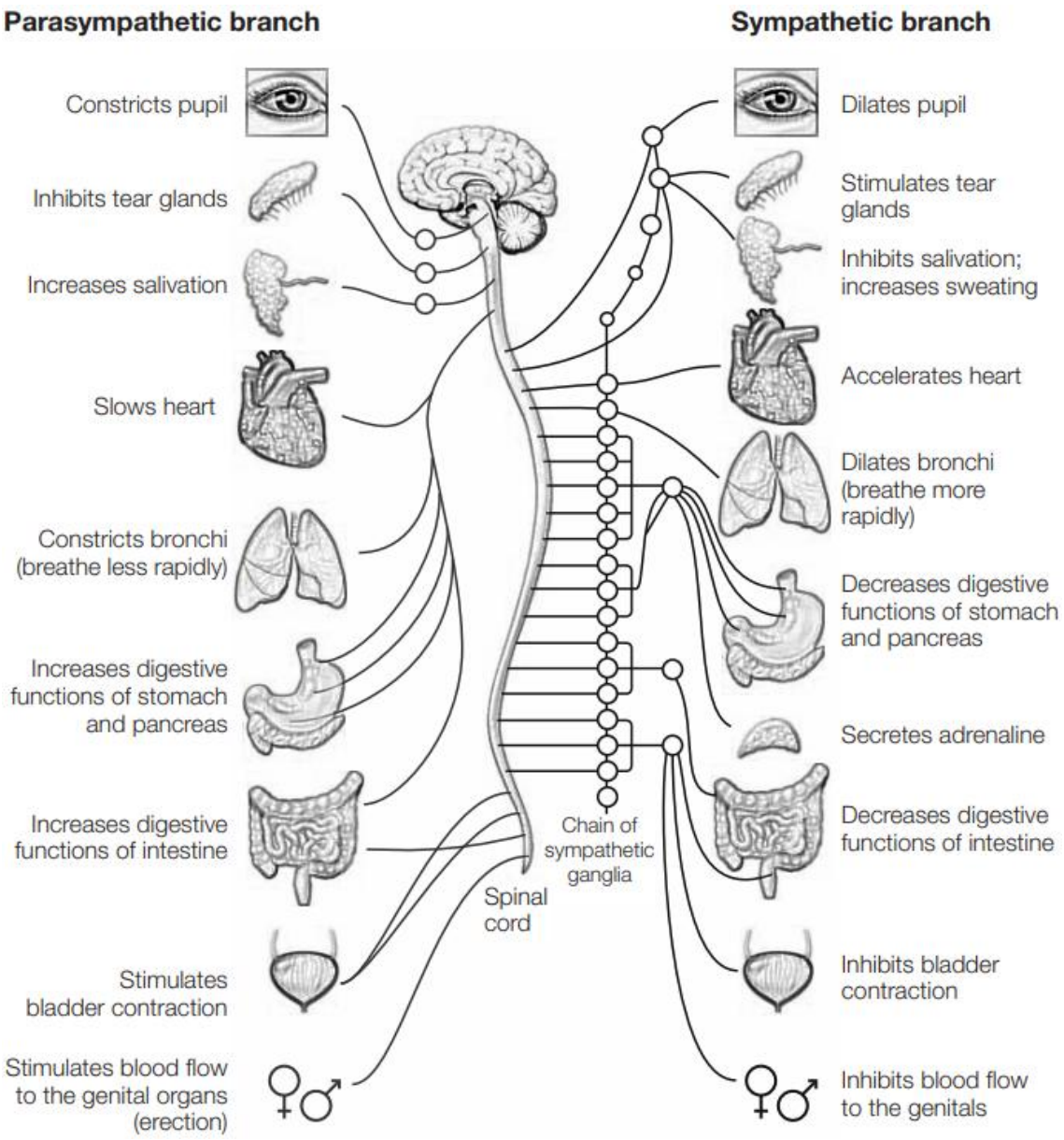

Fig. 23 Representação do sistema central simpático e parassimpático; a presente figura, não trad., foi adaptada do livro: "Cognitive Neuroscience", p.39 (Gazzaniga, 2014).

1.2.3. O Ser sensorial

Cada um dos sentidos tem uma zona do cérebro e um subsistema associados ao processamento de estímulos sensoriais. Estes, são convertidos em sinais neuronais, que seguem caminhos complexos até o cérebro, onde se combinam com sistemas de memória, atenção e emoção. Além disso, as células recetoras sensoriais têm propriedades gerais comuns: respondem a estímulos dentro de uma gama limitada, requerem uma intensidade mínima para serem ativadas e adaptam-se às mudanças ambientais.

A perceção ocorre bidireccionalmente e permite ao córtex controlar parte do fluxo de informações, facilitando a integração multissensorial e fazendo com que a maioria das informações não chegue ao nível da consciência.

Cada sistema sensorial possui células recetoras especializadas que convertem estímulos ambientais (como ondas sonoras, luz ou substâncias químicas) em sinais neuronais, que são transmitidos por vias específicas [Fig. 24]:

I. Os **sinais olfativos** são transportados pelo nervo olfativo, desencadeados por moléculas odoríferas que entram pela cavidade nasal ao respirar ou ingerir alimentos;

II. Os **visuais** pelo nervo ótico, e o sistema visual adapta-se às mudanças de intensidade de luz e traduz os estímulos físicos em sinais eletroquímicos, que são processados por regiões subcorticais e corticais do cérebro. Com ele percecionamos distância, cor, tamanho, forma e movimento;

III. Os **auditivos** pelo nervo coclear, e no sistema auditivo, várias sinapses ligam as células ciliadas ao córtex auditivo. A perceção auditiva vai além da diferenciação do conteúdo acústico, como timbre e intensidade e ajuda a localizar sons no espaço;

IV. Os **gustativos** pelos nervos facial e glossofaríngeo, e no palato as moléculas de alimentos estimulam recetores nas células gustativas, onde ocorre a tradução química;

V. As **sensações faciais** pelo nervo trigémeo, e as **sensações corporais** pelas vias sensoriais que fazem sinapse nas raízes dorsais da espinal medula. No processamento somatossensorial (**tacto**), o córtex somatossensorial primário recebe as informações iniciais, e o córtex somatossensorial secundário constrói representações mais complexas desses estímulos.

(adaptado de Gazzaniga *et al.*, 2014).

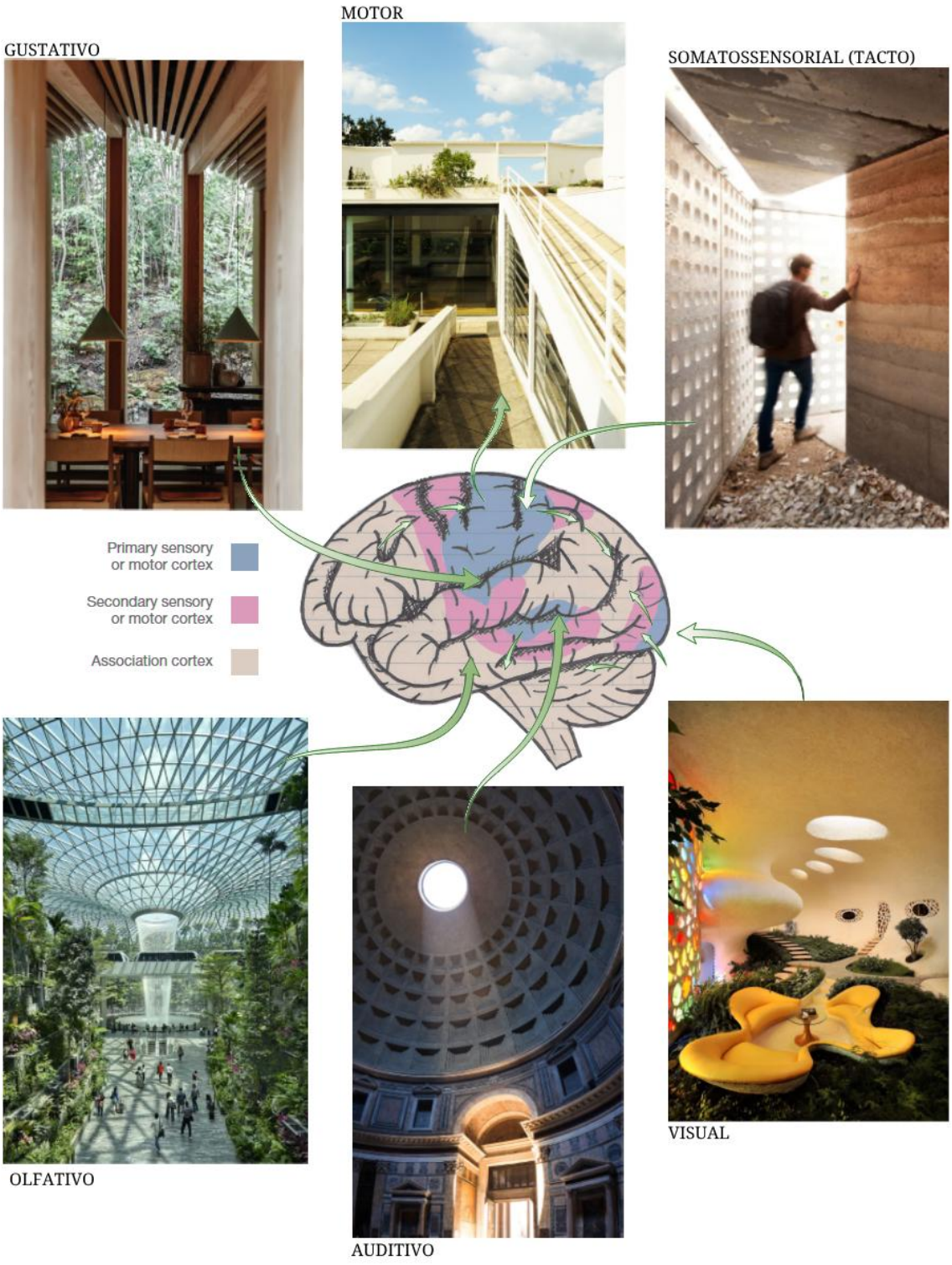

Fig. 24 Representação do sistema sensorial em vias especificas, (autor, 2024)
gustativo: retirado de "rasmushjortshoj.com/interior-photography/noma" (Hjortshoj, s.d.).
motor: retirado de "archdaily.com/84524/ad-classics-villa-savoye-le-corbusier" (s.a., s.d.).
somatossensorial: retirado de "architectureau.com/articles/heavy-metal-retaining-wall/" (Chauvin, s.d.).
olfativo: retirado de "greatgardensoftheworld.com/gardens/safdie-achitects-jewel-changi-airport" (Hursley, s.d.).
auditivo: retirado de "flickr.com/photos/nonac_eos/albums/72157649811919003/" (Eos, s.d.).
visual: retirado de "amazingarchitecture.com/organic-house/nautilus-house-in-naucalpan-mexico-by-javier-senosiain" (s.a., s.d.).

1.2.4. O Ser plástico

Investigações em cérebros com lesões não especificadas permitiram correlacionar a alteração comportamental e a emergência de patologias mentais[68]. Ora, no decorrer dos interesses académicos e sociais; inúmeros neurocientistas conseguiram demonstrar a relação do hemisfério esquerdo com a linguagem e regiões especificas do córtex pré-frontal com a visão. No entanto, a exploração do cérebro e respetiva neurofisiologia cerebral providenciou o contexto experimental para comprovar a neuroplasticidade neuronal e a sua capacidade de regeneração.

Após, um polinómio de investigações cientificas e correlações entre os neurónios diferenciados e indiferenciados e a sua capacidade de reabilitação neuro cognitiva, tornou-se complementar o uso ferramentas digitais auxiliares; tais como tomografia computorizada axial; tomografia computorizada axial com contraste; ressonância magnética, como forma de calcular matematicamente as conexões entre diferentes áreas distintas e mapear em 3D a complexidade das redes neuronais e respetivas ocorrências elétricas.

No enquadramento atual, tais conhecimentos científicos amplificados tornam-se relevantes na idealização; projeção e concretização de uma área ou áreas biofílicas; visto já se encontrar comprovado a simbiose entre o sujeito e o ambiente circundante. Cabe ao arquiteto biofílico o conhecimento da conexão cerebral e a natureza.

[68]Gazzaniga, M., *et al.*, (2014), Cognitive neuroscience: the biology of the mind

1.2.5. O Ser nostálgico

"Não sei quantas almas tenho.
Cada momento mudei.
Continuamente me estranho.
Nunca me vi nem achei.
De tanto ser, só tenho alma.
Quem tem alma não tem calma;
Quem vê é só o que vê;
Quem sente não é quem é,

Atento ao que sou e vejo,
Torno-me eles e não eu.
Cada meu sonho ou desejo
É do que nasce e não meu.
Sou minha própria paisagem,
Assisto à minha passagem,
Diverso, móbil e só,
Não sei sentir-me onde estou.

Por isso, alheio, vou lendo
Como páginas, meu ser
O que segue não prevendo,
O que passou a esquecer.
Noto à margem do que li
O que julguei que senti.
Releio e digo: «Fui eu?»
Deus sabe, porque o escreveu."

Fernando Pessoa (ortónimo)

O ser é definido por dois tipos de memória, a implícita e a adquirida. A primeira relaciona-se com a evolução da espécie, é pré-determinada e está embutida no nosso código genético. A segunda é maleável e dependente das experiências individuais de cada sujeito[69].

Em complemento aos estudos efetuados por Damásio (2004), Gazzaniga, em 2014 apresenta a conceção de memória a curto e longo prazo e respetivas ramificações [Fig. 25].

[69]Damasio, A., (2004), Descartes' error: emotion, reason and the human brain, p. 111

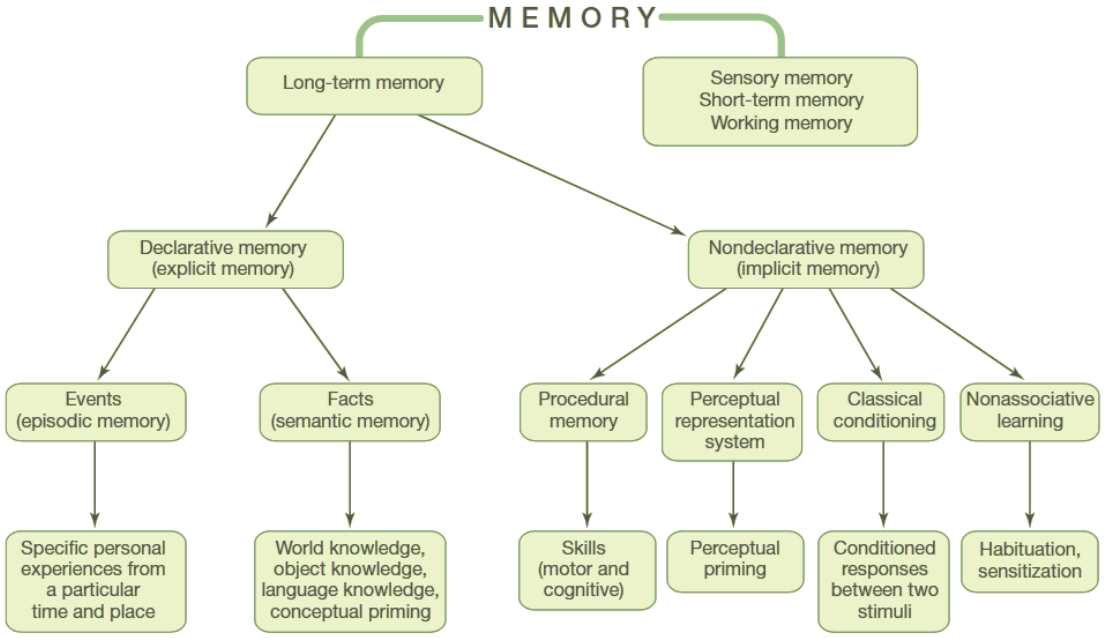

Fig. 25 Tipologias de memória; a presente figura, não trad., foi adaptada do livro: "Cognitive Neuroscience"; p.381 (Gazzaniga, 2014).

Segundo o autor, a memória a longo prazo correlaciona-se com a complexidade da nossa aprendizagem, isto é, para que tal aconteça é necessário a ocorrência em três fases distintas, no entanto, complementares.

Fase I: CODIFICAÇÃO;
Fase II: ARMAZENAMENTO;
Fase III: RECUPERAÇÃO.

Nesta demanda científica, o autor recorre à psicologia cognitiva e comportamental; iniciando a sua literacia com o Condicionamento Clássico e, posteriormente o Condicionamento Contemporâneo. Atualmente, e academicamente aceite é o Condicionamento Contemporâneo, isto é, quando um sujeito percorre e/ou visita um edifício; na sua memória a longo-prazo irão emergir processos subjetivos e objetivos, como o caso da RECUPERAÇÃO, permitindo ao próprio vivenciar uma multiplicidade de estímulos e reviver experiências e/ou vivências com conotação positiva ou negativa. Como, arquiteto construtor de um ambiente biofílico, torna-se, assim relevante o cuidado no *design* biofílico e posterior concretização de vivências com carácter positivo num meio biofílico. Esta premissa, permite, não só, preservar boas recordações como vivenciá-las no "aqui e agora" através da FASE III. Todo este caminho de procura, de investigação teórico-prática conduz-me à extrema relevância do arquiteto ter a capacidade de condicionar (Condicionamento Contemporâneo) o

sujeito a reviver o “presente no passado”. Isto, é uma dádiva, e uma enorme responsabilidade quer para com o sujeito quer com a ciência arquitetónica no tempo e no espaço.

1.2.6. O Ser emocional

> "[…] *Maybe your definition starts with "An emotion is a feeling you get when… And we already have a problem, because many researchers claim that a feeling is the subjective experience of the emotion, but not the emotion itself"* (Gazzaniga, 2014).

Gazzaniga (2014) inicia e muitíssimo bem a disparidade entre a conceptualização de emoção e sentimento. Emoção pressupõe um afeto subjetivo sem qualquer processamento de informação circundante, enquanto sentimento assume aqui a sua relevância pois comtempla a objetividade facultada pelo córtex pré-frontal (responsável pelo planeamento, processamento de informação multissensorial e articulação da emoção com a lógica).

É aqui que a segunda tópica de Freud[70] toma a relevância que tanto merece, ou seja, qualquer estrutura psíquica comtempla o *superego*, o *ego* e o *id* o que pressupõe que toda a subjetividade e impulsos arcaicos se encontrem no *id* (emoção/sentimento) e a objetividade no ego (processamento do córtex pré-frontal e respetiva reação à subjetividade com o qual o sujeito se confronta). Neste contexto, inúmeras são as definições, porém nunca poderá existir uma conclusão na evolução humana. A partir do momento que deixamos de questionar, criar, fantasiar; deixamos de existir enquanto ser pensante, emocional e suscetível ao meio ambiente.

Ressalvo, que a criatividade; não enunciada nas obras de Gazzaniga, possui extrema relevância na emoção de cada sujeito e criação de uma identidade *self* do próprio. Tendo em consideração, a amplitude do que ainda nos falta atingir; restrinjo-me à Arquitetura biofílica como forma subjetiva de espelhar-me e criar um estado de arte.

No processamento das emoções, o sistema responsável pelo "*acting out* "do sujeito é Sistema Nervoso Central Parassimpático (SNCP) que executa uma ativação elétrica no sujeito potenciando a excitabilidade (reações químicas orgânicas a decorrer nos neurónios de glia) de inúmeros órgãos vitais à sobrevivência inata. Neste momento, e de forma inata, o sujeito em confronto com estímulos e/ou multidisciplinaridade reativa do SNCP manifesta duas reações: "fuga" e/ou "luta"[71]. Cabe, assim, e indo de encontro à investigação proposta, desenvolver um ambiente biofílico que pretende potenciar ao sujeito sentimentos de segurança, bem-estar, tranquilidade emocional e respetivo equilíbrio mental, de forma a apreciar a criatividade do arquiteto e quiçá, futuramente ser utilizado para dessensibilização quer de estímulos com conotação negativa quer memórias reprimidas.

[70]Freud, S., 1925, Das Ich und das Es
[71]caso os estímulos possuem associação perceptivomotora e perceptivoemocional negativa

1.3. Ecologia e Arquitetura

"[...] a terra está de luto e todos os seus habitantes percebem.
Os animais selvagens, as aves do céu e até mesmo
Os peixes do mar desapareceram [...]" (Oséias, S. D; 4,3)

"Na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma" (Lavoisier, 1775)

As preocupações com a ecologia manifestam-se desde o manuscrito do novo testamento segundo as transcrições de Bruce Metzger[72]. Na continuidade da procura dos primórdios da teoria ecológica, surgem textos que nos conduzem a recuar ainda mais no tempo e no espaço, na busca da preocupação do sujeito com a natureza[73].

Segundo a ressalva de Penny Lewis[74] (2019), citando Hughes (2006), após a revolução industrial e a evolução humana, cultural e social, a Arquitetura depara-se com um conflito tremendo (Arquitetura *versus* ecologia[75]) devido ao predomínio do ser humano sob o ecossistema circundante. À data da revolução industrial, existia, paralelamente o movimento do modernismo na Arquitetura. Este, conduziu os ideais de desenho para uma simplificação de formas e industrialização da Arquitetura. Perante este paradigma Fuller[76] argumenta que a humanidade deve conectar-se com o ambiente natural, respeitando as leis da natureza.

"*We can make all of humanity successful through science's world-engulfing industrial evolution provided that we are not so foolish as to continue to exhaust... the orderly energy savings of billions of years' energy conservation aboard our Spaceship Earth.*" (Fuller, 1969; *cit. in* Lewis, 2019, p.140)

[72]Professor de Língua e Literatura do Novo Testamento no Princeton Theological Seminary e de Manuscrita do Novo Testamento. Publicações: *The text of New Testament* (1964); *The Bible in Translation* (1953); *Breaking the code: Understanding the Book of* Revelation (1993); *Lexical Aids for Students of New Testament. Greek* (1946).

[73]O último grande filósofo da natureza foi Demócrito [460-370 a. C] Natural da cidade de Adberg, na costa mar do Egeu. Achava que todas as coisas eram constituídas por partículas minúsculas chamadas átomos. Mas seriam invisíveis e diferentes, para, combinadas gerarem a transformação. Era uma teoria anatómica semi perfeita. Hoje a ciência mostra que os átomos podem ser divididos em partículas menores, neutrões, protões e fotões.
"*[...] a terra é paisagem, é fala, é mensagem que podemos cotar. A terra tambem somos nos mesmos, os seres humanos [...] o valor supremo é preservar este planeta, e só temos este porque ele esta profundamente ameaçado e não temos uma arca de Noé que salve alguns desta vez e deixe perder os outros. Esta é a base para qualquer valor. O segundo valor é preservar a família humana, a espécie humana, juntos, aos demais espécies, e garantir as condições para que ela subsista e continue a desabrochar, a desenvolver-se. São os dois valores supremos de uma era planetária, terrenal.*" (Boff, 1998; p.44)

[74] Lewis, P., (2019), The impact of ecological thought on architectural theory.

[75]Segundo Lewis (2019) "*[...] Both nature and architecture are both difficult to define, each subject is dependent on shifts in the cultural values of a society at any given time, and both subject areas are riddled with ambiguities.*"

[76]Fuller, B., (1969), Operating Manual For Spaceship Earth

O rumo natural para adquirirmos o respeito pelo ambiente, atualmente já não é tão desprezado como no séc. XX; sendo equacionada a correlação entre a ética e a sociedade cultural contrariando a "lei de Gerson" (1986)[77].

Esta disciplina, apelidada atualmente, de Arquitetura; algo que discordo, idealizando uma conceptualização científica. Levando-nos à necessidade de conceptualizar concretamente e delinear *frameworks*; recorrendo a investigações científicas como forma de a tornar uma ciência válida e relevante para a simbiose entre ser humano e ambiente biofílico.

Com a conceptualização efetuada até ao momento de sustentabilidade ambiental, o *design* para sustentabilidade ambiental formalizou uma metodologia e ferramentas de *design*[78], como por exemplo o programa de doutoramento em *Disegno Industiale e Comunicazione Multimediale* efetuado no Politécnico de milão, que possibilitou delimitar o *design* especificamente para a sustentabilidade ecológica e respetivas estratégias.

Uma das tendências do *design* para a sustentabilidade ambiental consiste na formalização de ferramentas, específicas e métodos estatísticos para um determinado contexto e posteriormente produto final[79]. Com a tentativa de formalizar o *design* para sustentabilidade ambiental, recorre-se a métodos quantitativos, tais como; análise do ciclo de vida de produtos (CVP) e a construção de Indicadores de Prioridades do *Design* para a sustentabilidade Ambiental (IPDA). Ambos os métodos são quantitativos e permitem hierarquizar estratégias de *life cycle design*[80].

[77]Baseia-se num princípio determinante sem ter em considerações questões éticas ou morais.

[78]Chaves, L., (2010), Design para a Sustentabilidade Ambiental: estratégias, métodos e ferramentas de design para o setor de móveis

[79]Vezzoli, C., & Sciama, D., (2006), Life Cycle Design: from general methods to product type specific guidelines and checklists: a method adopted to develop a set of guidelines/checklist handbook for the eco-efficient design of NECTA vending machines, DOI: 10.1016/j.jclepro.2005.11.011

[80]Uma disciplina do design para a sustentabilidade ambiental que conta todo o ciclo de vida do produto. As estratégias adotadas são: intensificação e/ou extensão da vida dos materiais; redução do consumo de materiais; extensão de vida dos materiais; redução do consumo de energia; redução da toxicidade e/ou nocividade e conservação e biocompatibilidade. Manzinni, E., & Vezzoli, C., (2008), *Design for Environmental Sustainability*

Tabela 1 Algoritmos usados no método IPDA (Chaves, 2010)

IPDA - intensificação e/ou extensão da vida dos produtos	= EI (P-P + P + DT + DM)
IPDA – redução do uso de materiais	= EI 1s/r (P-P +P + DT + DM)
IPDA – redução de energia	= EI (consume de energia)
IPDA – redução de toxidade e de nocividade	= EI.t (P-P + P + DT + U + DM)
IPDA – extensão da vida dos materiais	= 0,7 x EI (material P-P para descarte) + EI (material DM para descarte)
IPDA n - Recursos para manutenção	= (D (P-P)/quant. tot (P-P) + D (U) / quantidade total (U)) /2 com D (P-P)x D (U) 0
	= D (P-P)/ quantidade total (P-P) + D (U) / quantidade total (U) com D (P-P)x D (U) = 0
Onde: P-P = Pré-produção; P = Produção; DT = Distribuição; U = Uso; DM = Descarte EI = Ecoindicator; fEI = fator Ecoindicator; fD = fator de disponibilidade; %EI = porcentagem nociva; EI 1s/r = quantidade x fEI; EI.t = Ecoindicator nocivo = EI x %EI.t ;D = Disponibilidade = quantidade x (s. or 1/r) x fD; s or 1/r = número de substituições ou, em alternativa, 1/ número de reuso	

1.3.1. Breves Conceitos de Ecologia

A ecologia é o estudo da estrutura e funções da natureza; das relações entre os organismos e o seu ambiente; investiga a interdependência das espécies, onde cada organismo possui um papel fundamental no funcionamento do ecossistema.

Tal conceito foi introduzido para descrever um sistema de interação entre fatores bióticos (seres vivos) e elementos abióticos (solo, atmosfera e água). O ecossistema funciona de forma cíclica e os nutrientes são reciclados constantemente a diferentes níveis hierárquicos. No ciclo de carbono[81] [Fig. 26], um processo fundamental à vida como a conhecemos e que influencia os ecossistemas. O carbono é extraído da atmosfera maioritariamente através da fotossíntese e reciclado como alimento de animais, ou armazenado no solo para ser alimento de matéria orgânica, recomeçando o ciclo[82].

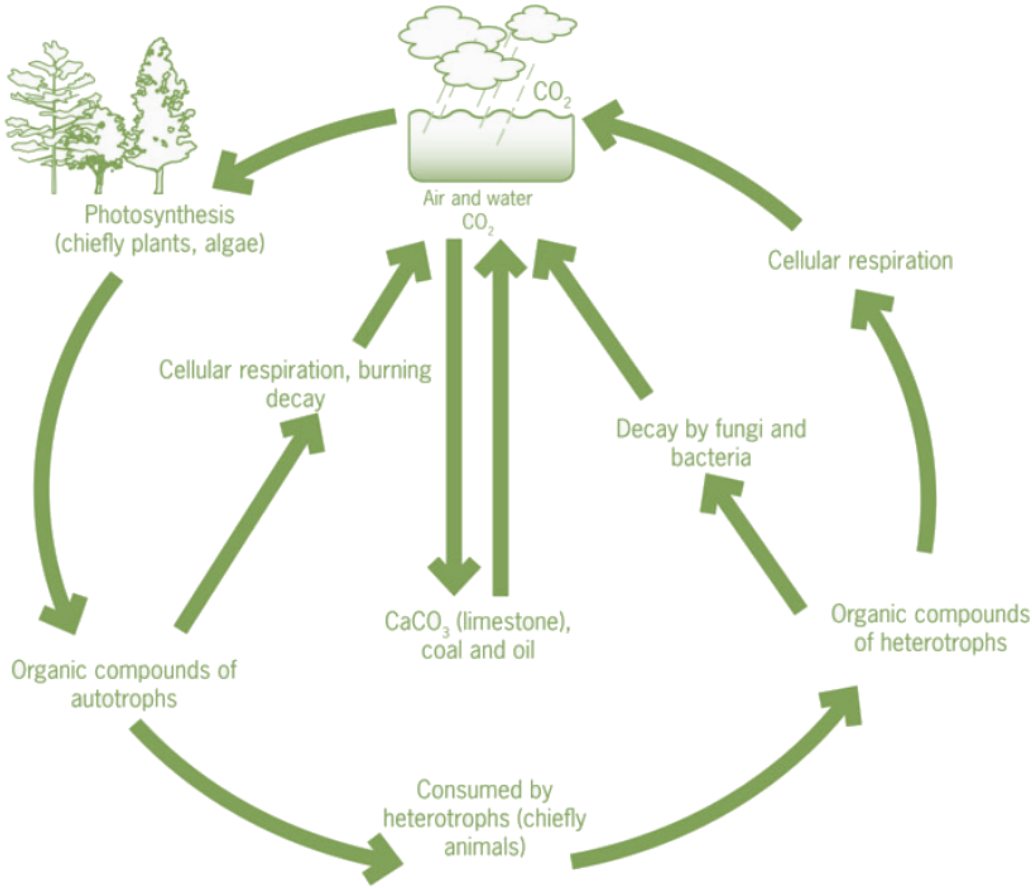

Fig. 26 Ciclo de Carbono, a presente figura, não trad., foi adaptada do livro: "Dictionary of Ecodesign" p.46 (US Environmental Protection Agency, s.d.)

[81]Química orgânica provém da época onde se diferenciavam compostos orgânicos sendo provenientes de seres vivos enquanto compostos inorgânicos seriam provenientes de minerais Wöhler, publica em 1828 a síntese de Wöhler que consiste na química dos compostos de carbono (Constantino. 2005).
[82]Yeang, K., & Woo, L., (2010), Dictionary of Ecodesign

Para avaliar o equilíbrio de um ambiente é possível medir a sua biodiversidade através de métodos quantitativos como o *Simpson's Diversity index*[83] [Fig. 27], este indicador é utilizado em diversos estudos e tem em consideração não só o número de espécies, mas também a quantidade de cada espécie para uma determinada comunidade biológica.

$$l = \frac{\Sigma n(n-1)}{N(N-1)}$$

Fig. 27 Fórmula matemática do índice de diversidade de Simpson; a presente figura foi retirada do artigo "Measurement of Diversity.", DOI: doi.org/10.1038/163688a0, (Simpson, 1949)

A sustentabilidade de um ambiente cinge-se pela preocupação em garantir o uso de recursos que não comprometa a sua saturação em gerações futuras. E, para a garantir em contexto arquitetónico as alterações provocadas às pré-existências, não devem provocar distúrbios significativos ao ambiente, que causem perda de biodiversidade uma vez que um baixo índice; reduz a capacidade dos ecossistemas de se adaptarem e recuperarem de alterações que perturbem a homeostasia dos compostos orgânicos e inorgânicos[84] que permitem o *equilibrium* do ambiente bio diversificado.

Neste âmbito, surge a sustentabilidade ecológica como um índice [Fig. 28] que pode ser calculado quantitativamente à macro escala social de um país. Para o seu cálculo são utilizados outros índices tais como; Índice de desenvolvimento (faz uso do Índice de educação, do Índice de esperança média de vida, e do Índice de rendimento) e Índice de impacto ecológico (incorpora a pegada material e as emissões de carbono).

[83]Simpson, E., (1949), Measurement of Diversity, DOI: 10.1038/163688a0

[84]A diferenciação entre compostos orgânicos e os compostos inorgânicos é realizada na base da presença de carbono; de acordo com a tabela periódica (C) como elemento químico principal do composto e pela capacidade de formar cadeias curtas ou longas, característica inerente a qualquer substância inorgânica. Relativamente às inorgânicas, tais não apresentam as características supracitadas e são divididas em 4 funcionalidades: ácidos, bases, sais e óxidos. É na condutividade elétrica, a solubilidade, as temperaturas de fusão e ebulição que estão associadas às tipologias de ligações que cada composto apresenta. Esta é a área de estudo da química que se subdivide em orgânica e inorgânica. (ATKINS, P.W.; Jones, L.L (2001) e centro científico conhecer/goiânia, Vol XI; n23; pp. 26-43, 2015) (CHASSOT, A.; 2000)

$$\text{SDI} = \frac{\text{Development Index}}{\text{Ecological Impact Index}}$$

$$\text{Development Index} = \sqrt[3]{\text{Educ Idx} * \text{Life Exp Idx} * \text{Income Idx}}$$

Education Index is as in HDI
Life Expectancy Index is as in HDI

$$\text{Income Index} = \frac{\ln(\text{GNIpc}) - \ln(100)}{\ln(20{,}000) - \ln(100)}$$

$$\text{Ecological Impact Index} = 1 + \frac{e^{\text{AO}} - e^{1}}{e^{4} - e^{1}}$$

if AO $>$ 4, then EII = AO – 2

$$\text{AO} = \sqrt[2]{\left(\frac{\text{MF}}{\text{boundary}} \geq 1\right) * \left(\frac{\text{CO2}}{\text{boundary}} \geq 1\right)}$$

Fig. 28 Fórmula matemática do índice de sustentabilidade de desenvolvimento de Hickel; a presente figura, não trad., foi retirada do artigo: "The sustainable development index: Measuring the ecological efficiency of human development in the anthropocene", DOI: doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.05.011, (Hickel, 2020)

Após o estudo efetuado, sugere-se, hipoteticamente, e futuramente a criação de um índice de construção sustentável, que, baseando-me em Hickel (2020) deve conter métricas tais como; esperança média de vida do edifício, qualidade biofílica do edifício, produção energética gerada, gasto energético estimado, "pegada material", emissões de dióxido de carbono.

O aumento da quantidade dos gases de efeito de estufa na atmosfera e a inerente alteração climática a nível planetário tem, por parte dos investigadores sido uma tentativa de sensibilizar a nossa sociedade no sentido de reduzir a sua emissão, concentração e aumento da temperatura planetária. A concentração destes gases atingiu níveis preocupantes e o panorama atual não tende a melhorar. Até à data efetuaram-se tentativas legisladoras das emissões máximas para a atmosfera e tratados de cooperação para os vários países, como o "protocolo de Kioto", mais tarde continuado pela "emenda de Doha"[85].

Os compostos macromoleculares demonstram ter grande capacidade de sequestrar o dióxido de carbono gasoso, devido à sua estrutura molecular adequada, que apresenta cavidades propicias à interação molecular. Por outro lado, existem compostos naturais com estruturas moleculares igualmente propicias ao sequestramento de dióxido de carbono. Estas são um recurso mais económico e

[85]Alves, J., (2014), Estudos de captura de CO_2 gasoso em compostos naturais e sintéticos

permitem praticamente a inexistência de desperdícios que ficam na natureza, isto é, é possível; atualmente recorrendo ao processo absorção adsorpc/desadsorpc de dióxido de carbono gasoso ao utilizar compostos naturais para inibir o Ácido desoxirribonucleico (ADN) diminuir a concentração e subsequentemente a agregação carbónica[86].

Este entendimento holístico do ambiente deve inspirar as práticas arquitetónicas, de forma a considerar os edifícios como parte de um ecossistema autossuficiente, sustentável e biofílico. Ora, para que tal ocorra, as construções de edifícios com as presentes características devem minimizar a fragmentação e disrupção das pré-existências. Tal princípio sugere que na Arquitetura, materiais e elementos devem interagir de forma a contribuir para um todo sustentável e equilibrado. Estas devem inspirar-se nos sistemas naturais, e utilizar os recursos de forma mais eficiente e incorporando o conceito de circularidade o que evita o desperdício e promove o uso equilibrado dos recursos.

[86] Sintetização processo efetuado através de sintetização de quatro porfirinas, cujos substituintes das posições *meso*, contenham atómos de azoto na sua estrutura tais como, amino, piridil e quinolina; e uma porfirina contendo substituintes igualmente na posição meso funcionalizados com grupos carboxilos. (Alves, J., 2014, p.10) para melhor compreensão do presente estudo consultar o programa doutoral: Alves, J., (2014), "Estudos de captura de dióxido de carbono em compostos naturais e sintéticos"

1.3.2. Práticas de design ecológico

O arquiteto, na proposição de desenhar o espaço em simbiose com o meio ambiente e tendo em consideração todas as interações do mesmo, pode aplicar práticas ou técnicas para manter a homeostase ou minimizar as alterações infligidas pela construção. Neste contexto, o presente capítulo procura demonstrar algumas das estratégias utilizadas.

Através da observação e análise do contexto no qual se irá desenvolver qualquer projeto encontrar-se-ão na natureza envolvente respostas para problemas que podem não ser prontamente identificados. Assim, emerge a relevância da **biomimética**[87], a estratégia que se inspira nos sistemas naturais, reaplicando-os na Arquitetura. Esta inspiração é aplicada à circularidade de recursos e trocas de energia, mas pode ser também formal ou tecnológica. Indicando estruturas ou novas formas de desenhar edifícios e resolver questões da área da engenharia ao ser aplicada em novos materiais.

O ***design* passivo** ou **bioclimatização**[88], envolve a análise do clima de uma região para controlar o conforto térmico de forma eficiente e sustentável. O conceito estabelece a grande importância do planeamento arquitetónico e utiliza a orientação solar, os ventos predominantes, e a vegetação, para minimizar as necessidades de aquecimento e arrefecimento artificiais, garantindo que o edifício trabalhe em simbiose com o clima local. Assim, os edifícios bioclimáticos são desenhados para reter a energia térmica solar durante os meses frios e minimizar a exposição durante o verão com janelas estrategicamente posicionadas. O uso de materiais de alta inércia térmica para armazenar e libertar o calor de forma gradual ajudam a manter a temperatura interna estável. Da mesma forma, a ventilação natural e os elementos de sombreamento externos, como *brise-soleil* e árvores caducas, ajudam a regular a temperatura interna sem recorrer a sistemas mecânicos e promovem a eficiência energética.

A **neutralidade de carbono**[89] relativa a edifícios está associada à operação dos edifícios e procura que os consumos energéticos sejam suprimidos no local através da produção de energias renováveis. Para que tal aconteça é importante incluir estratégias que minimizam o consumo energético como do *design* passivo. No entanto, é também possível recorrer a ferramentas de absorção de carbono. O uso de madeira, que atua como um reservatório de carbono, e o investimento em painéis solares e

[87] Verbrugghe, N., *et al.*, (2023), Biomimicry in Architecture: A Review of Definitions, Case Studies, and Design Methods, p.9, DOI: 10.3390/biomimetics8010107
[88] Manzano, F., *et al.*, (2015), Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort, DOI: 10.1016/j.rser.2015.04.095
[89] Tirelli, D., & Besana, D., (2023), Moving toward Net Zero Carbon Buildings to Face Global Warming: A Narrative Review, DOI: 10.3390/buildings13030684

turbinas eólicas, são estratégias comuns para alcançar a neutralidade de carbono. Ao adotar essas práticas, os edifícios podem reduzir drasticamente a sua pegada de carbono, alinhando-se com os objetivos globais de mitigação das alterações climáticas.

O conceito ***Cradle-to-Cradle***[90] (C2C) foi desenvolvido como uma abordagem circular para o *design* e promove a reutilização contínua dos materiais, imitando os ciclos naturais onde nada se perde. Baseia-se na escolha de materiais que podem ser reciclados infinitamente, reduzindo o desperdício e promovendo uma economia circular no setor de construção. O conceito desafia o paradigma linear da "produção-uso-descarte", e propõe que todos os materiais regressem ao ciclo produtivo ou ao ciclo biológico após a sua utilização. A aplicação do C2C envolve o uso de materiais que podem ser facilmente desmontados, reutilizados ou decompostos. Construções modulares, móveis e elementos que utilizam fixações mecânicas, ao invés de químicas, facilitam a desmontagem e reciclagem. Este tipo de *design* não só reduz o impacto ambiental no final da vida útil dos edifícios, mas também promove uma economia circular, onde os materiais são continuamente reintegrados ao sistema produtivo.

As construções de **Bioarquitetura**[91] utilizam materiais naturais, do local e são adaptadas ao clima. Através de telhados com vegetação, conservação e utilização responsável da energia, gera construções que causam o mínimo impacto ambiental possível. É importante fazer uso da climatização passiva na Arquitetura e técnicas construtivas simples para facilitar o trabalho dos trabalhadores. É aproveitado o passivo dos recursos naturais – iluminação natural, ventilação e microclimas – em conjunto com a eficiência energética do lugar.

O ***design* restaurador**[92] é uma abordagem proativa que utiliza a Arquitetura como ferramenta de recuperação ambiental, incentivando a regeneração de ecossistemas. Esta prática pode incluir a restauração de habitats naturais, a recuperação de solos degradados e a implementação de vegetação nativa que promove a biodiversidade. Através da criação de áreas verdes e corredores ecológicos que ajudam a reintroduzir espécies locais e a melhorar a qualidade do solo e da água. Ao integrar esses elementos, não só beneficia o ambiente natural, mas também melhora a qualidade de vida dos seres humanos que interagem com esses espaços.

O ***design* biofílico** é uma abordagem interdisciplinar que incorpora elementos da natureza para criar um ambiente construído que fortalece a conexão do ser humano com o mundo natural. Inclui o uso de luz natural, ventilação, vegetação e vistas para o exterior, que têm benefícios psicológicos e fisiológicos, além de melhorarem a qualidade ambiental. Aumenta a sustentabilidade e apoia a saúde humana, ao criar

[90] McDonough, W., & Braungart, M., (2002), Cradle to cradle: remaking the way we make things
[91] Oliveira, D., (2011), Resgate de técnicas construtivas mais sustentáveis
[92] Attia, S., (2018), Regenerative and Positive Impact Architecture, Cap. IV

espaços que beneficiam tanto as pessoas como o ecossistema. Os jardins internos, as paredes verdes e a integração de materiais naturais, como a madeira, pedra, ou a cortiça, contribuem para uma experiência multissensorial que melhora a qualidade ambiental do espaço, o bem-estar físico e mental dos ocupantes e cria ambientes mais saudáveis e confortáveis. Porém, o *design* biofílico transcende a inclusão de elementos naturais e baseia-se na compreensão de que o ambiente construído deve imitar os padrões, formas e processos da natureza para que as pessoas se sintam parte dela. É o tipo de desenho que engloba diferentes práticas sustentáveis, restauradoras, e, baseando-se na ciência garante por métodos qualitativos e quantitativos que é possível fazer a boa Arquitetura.

A Arquitetura pode incorporar os princípios da ecologia para criar práticas mais sustentáveis e regenerativas. Com compreensão das interações nos ecossistemas, e do impacto da ocupação humana, as práticas de *design* sustentável mostram que a Arquitetura tem potencial para ser um agente positivo na proteção ambiental. Ao incorporar estes princípios e uma abordagem mais holística e integrada, a Arquitetura não minimiza somente os seus impactos, mas também contribui para a restauração ecológica e para a preservação da biodiversidade.

1.4. Ocupação Antrópica e o Clima

A problemática das alterações climáticas é identificada como tal em 1979 na *World Climate Conference* em Genebra, no entanto, só em 1988 é formado o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), a organização responsável por avaliar cientificamente os dados relativos às alterações climáticas, sendo o primeiro relatório publicado em 1990. A *Conference Of the Parties* (COP) é uma conferência anual com o intuito de avaliar o progresso e negociar medidas para mitigar o aquecimento global. A sua primeira edição acontece em 1995 onde são estabelecidas bases discursivas, para, posteriormente em 1997 na COP3, com o protocolo de *Kyoto*[93] serem delineados objetivos a alcançar relativamente à redução de gases de efeito de estufa[94] (GEE) por parte dos países industrializados. Porém só no ano de 2005 o protocolo é implementado[95]. Em 2015 na COP21, é assinado o tratado de Paris que marca a globalização da problemática; ao ser assinado por 195 países e a UE, o tratado é o primeiro a apontar para uma redução máxima de 1,5°C acima de níveis pré-industriais no final do séc. XXI.

Segundo último relatório do IPCC[96] (2023) as alterações climáticas são representativas de uma ameaça ao bem-estar humano e à saúde do planeta. Os seus impactos intensificaram-se a partir do momento da ocupação antrópica e consequentemente a sua evolução, especialmente desde o início da era industrial. É destacada a urgência de ações imediatas e coordenadas para reduzir as emissões com o objetivo de limitar o aquecimento global a 1,5°C ou 2°C até 2050, evitando assim os piores cenários projetados.

As principais causas das alterações climáticas são as emissões de GEE, as alterações no uso do solo; como o desflorestamento e a agricultura intensiva, que reduzem a capacidade de absorção de dióxido de carbono. As atividades industriais e energéticas, dependentes de combustíveis fósseis, também contribuem significativamente para o aumento dos GEE na atmosfera. O sector da construção e do ambiente construído é responsável por 37% da emissão de CO_2 segundo os dados do *United Nations Environment Programme* (2023).

Os impactos das alterações climáticas são vastos [Fig. 29] e afetam diversos setores.

[93]Quioto, tradução portuguesa
[94]Segundo o IPCC, os principais responsáveis são o vapor de água (H2O), dióxido de carbono (CO2), óxido nitroso (N2O), metano (CH4) e ozono (O3)
[95]Gupta, J., (2016), Climate change governance: history, future, and triple-loop learning?, DOI: 10.1002/wcc.388
[96]IPCC., (2023), Climate Change 2023: Synthesis Report, DOI: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.

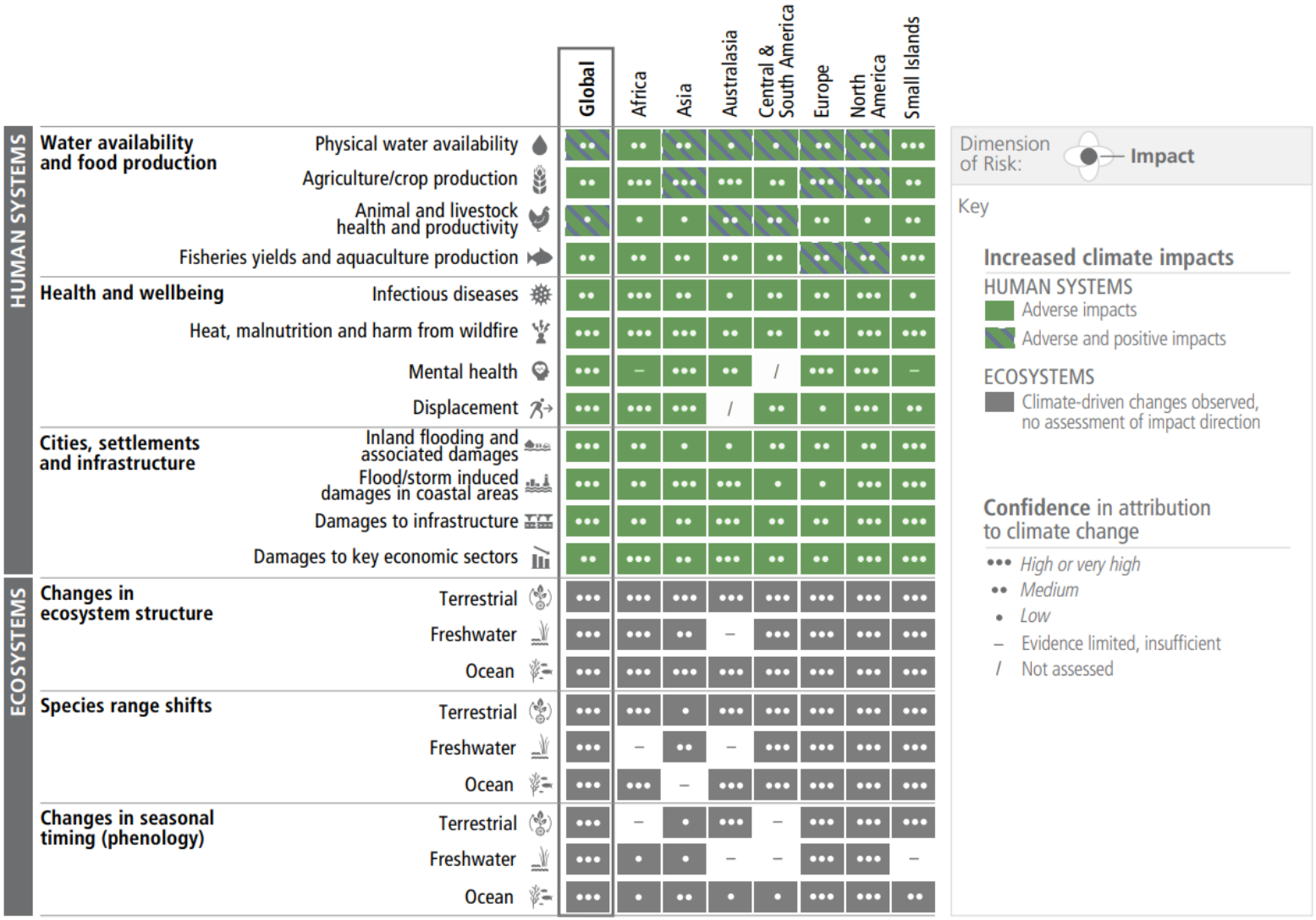

Fig. 29 Impactos das alterações climáticas; a presente figura, não trad., foi adaptada do relatório do IPCC “Climate Change 2023: Synthesis Report.”, p.49 (IPCC, 2023).

No ambiente, o aumento das temperaturas globais, o degelo dos glaciares e as mudanças nos padrões de precipitação provocam eventos extremos com maior frequência, como secas, inundações e tempestades intensas. Na biodiversidade, a rápida mudança climática leva à perda de habitats naturais, o que dificulta a adaptação de várias espécies, e, por sua vez, leva à sua extinção. No âmbito socioeconómico, as alterações climáticas prejudicam a produtividade agrícola, o que aumenta a insegurança alimentar. Também geram impactos na saúde pública, intensificando as doenças respiratórias e propagando doenças tropicais.

Para mitigar esses efeitos, é necessário adotar uma combinação de estratégias. A redução das emissões de GEE é uma prioridade, com o uso de energias renováveis, aumento da eficiência energética e desenvolvimento de tecnologias de captura e armazenamento de carbono. Mudanças nos padrões de consumo e produção que promovam uma economia circular e *dietas mais sustentáveis*[97], também podem reduzir a pegada de carbono. Além disso, a conservação e recuperação de ecossistemas naturais, com a reflorestação e a proteção de áreas verdes, são essenciais para absorver CO_2 e preservar a biodiversidade.

A adaptação às mudanças climáticas é igualmente importante e envolve a criação de infraestruturas resilientes a eventos climáticos extremos — que se preveem cada vez mais frequentes —, práticas de agricultura adaptativa, como o uso de culturas resistentes e gestão eficiente dos recursos hídricos, além de sistemas de alerta precoce e sensibilização e educação da população sobre práticas sustentáveis. Esses esforços ajudam a reduzir a vulnerabilidade das comunidades mais afetadas e a fortalecer a resiliência frente aos impactos inevitáveis do clima. No entanto, a implementação das soluções enfrenta desafios significativos. Os acordos globais são complicados devido aos conflitos geopolíticos e interesses geoeconómicos. Quer na literatura, quer nas estatísticas apresentadas à população, observa-se que os países ainda dependem economicamente de recursos não renováveis fruto dos respetivos interesses políticos. Enquanto, não existirem políticas que tenham em consideração os últimos avanços científicos e coloquem em primeiro lugar não a sobrevivência do sujeito, mas sim a sua qualidade de vida e o seu bem-estar, não é possível criar um ambiente homeostático e simultaneamente evolutivo da espécie humana[98]. Neste contexto, a *justiça climática*[99] é

[97]Segundo o IPCC dietas equilibradas e sustentáveis são: "*Balanced diets feature plant-based foods, such as those based on coarse grains, legumes fruits and vegetables, nuts and seeds, and animal-source foods produced in resilient, sustainable and low-GHG emissions systems* […]" (p.50)

[98]Silveira, M., (2021), O Ambiente Macroeconómico como Fator Crítico da Construção da Resiliência Económica de Pequenos Estados Insulares: O caso de São Tomé e Príncipe

[99]Segundo o IPCC a justiça climática é: "*Justice that links development and human rights to achieve a human-centred approach to addressing climate change, safeguarding the rights of the most vulnerable people and sharing the burdens and benefits of climate change and its impacts equitably and fairly.*" (p.125)

cada vez mais relevante, visto que os países em desenvolvimento, apesar de continuarem a contribuir menos para as emissões globais de GEE, são os mais vulneráveis aos impactos climáticos e têm menos recursos para a sobrevivência.

1.5. Transição para um futuro sustentável

Tendo em consideração a vasta literatura consultada e possuindo o objetivo primordial de criar um ambiente biofílico, neste subcapítulo pretende-se: expor e analisar as políticas económicas que promovem a construção de edifícios "sustentáveis" e a relação destas políticas com o *design* biofílico.

Como é de conhecimento geral, o mundo não se rege por utopias nem distopias que propõem uma visão ideal do funcionamento da humanidade, e, como tal, é lógico assumir o paradigma atual como a realidade, o que implica o reconhecimento do capitalismo como força movedora do desenvolvimento da humanidade.

Á luz das não recentes, mas atuais alterações climáticas supracitadas, observamos uma busca pela redução da pegada carbónica e subsequentemente, uma procura por um desenho de edificado sustentável e promotor de uma transição para um futuro simbiótico com a ecologia. Atendendo ao meu meio ambiente, a materialização económica destes ideais surge por meio das políticas económicas promovidas por Portugal e pela Comissão Europeia [Fig. 30].

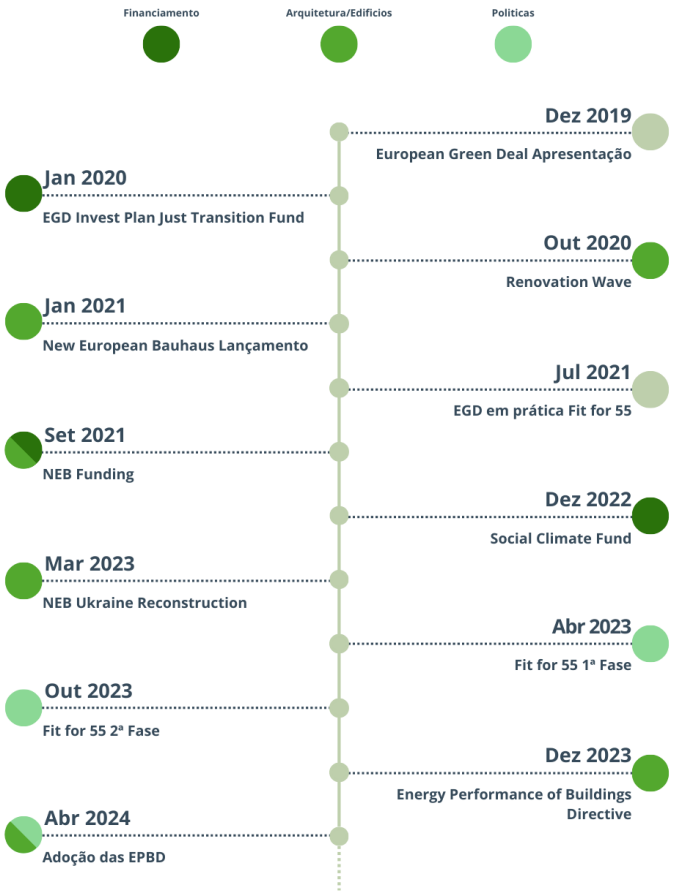

Fig. 30 Cronologia das políticas e apoios da União Europeia, (autor, 2024).

1.5.1. Políticas da União Europeia

O ***European Green Deal***[100] (EGD) foi apresentado em 2019 pela Comissão Europeia com o objetivo de tornar a Europa num continente com uma economia sustentável. Em 2021 são entregues as propostas e objetivos iniciais como a redução dos GEE em 55% até 2030, e é estabelecida uma base para a legislação futura. Esta, é transversal a vários sectores de atividade e começa a ser aplicada com o *Fit for 55 package* (2023), no qual é reforçado o objetivo da redução dos GEE para 57%.

Relativamente à Arquitetura e construção, é assumido um desproporcional gasto energético com o aquecimento de edifícios e prevista uma grande reforma a nível europeu com o anúncio do Renovation Wave[101] (2020). No seu seguimento é apresentada a New European Bauhaus (NEB) (2021), uma iniciativa que pretende integrar a ciência, tecnologia, cultura e arte, para, de forma inclusiva alcançar soluções para os problemas do quotidiano. As *Energy Performance of Buildings Directive* (EPBD), são provisoriamente apresentadas em 2023, e a sua versão final em 2024[102], desenvolvendo uma base conceptual energética para a renovação e construção de edifícios.

No decorrer da atual investigação e análise teórico-critica realizada até ao momento compreende-se a necessidade de acrescentar instrumentos que contemplem não só o desempenho energético, mas também a psicologia ambiental e as ciências complementares que vêm sendo mencionadas.

[100]European Comission., (s.d.), The European Green Deal
[101]European Investment Bank., (2020), EIB Group climate bank roadmap 2021-2025
[102]Para melhor contextualização sugere-se a consulta da norma: Directive (EU) 2024/1275 of the European Parliament and of the Council of 24 April 2024 on the energy performance of buildings

1.5.2. Apoios da União Europeia

O EGD é um conjunto de políticas com o objetivo de transitar a União Europeia na direção da sustentabilidade. Propõe-se contribuir para o desenvolvimento de áreas como a energia, o ambiente e os oceanos, agricultura, transporte, a indústria e a habitação, através de pesquisa e inovação; e investimento regional. Por motivos de simplificação apenas será analisada a componente arquitetónica que é abordada pelo movimento ***New European Bauhaus***[103] (NEB), guiado por princípios de sustentabilidade, estética e inclusão. O financiamento aplicado à NEB é maioritariamente direcionado à investigação e definição de diretivas dos princípios de desenho a serem adotados.

O ***Social Climate Fund***[104] (SCF) foi desenvolvido no âmbito da *EU Emissions Trading System* cujo objetivo primordial é a redução da emissão dos GEE ao colocar um preço no carbono para financiar a transição. No que concerne aos apoios; destinam-se a habitações vulneráveis e cujos proprietários não têm possibilidade de melhorar o seu desempenho energético nem realizar as alterações necessárias. Os apoios são concedidos por meio de garantias e, para aferir as melhorias nas habitações irá ser utilizada a certificação energética dos edifícios.

Existe ainda a possibilidade de obter empréstimos bancários com condições mais favoráveis através do ***European Investment Bank***[105] (EIB) caso as construções sejam compatíveis com alguns certificados de sustentabilidade.

[103]European Comission., (s.d.), The European Green Deal
[104]European Comission., (2023), Social Climate Fund
[105]European Investment Bank., (2020), EIB Group climate bank roadmap 2021-2025

1.5.3. Certificados de sustentabilidade

De acordo com a taxonomia económica desenvolvida pela EU[106], a sustentabilidade, no que concerne a edifícios, é definida por:

> "[...] *It can, for example, increase the durability, reparability, upgradability and reusability of products, or can reduce the use of resources through the design and choice of materials, facilitating repurposing, disassembly and deconstruction in the buildings and construction sector, in particular to reduce the use of building materials and promote the reuse of building materials. It can also contribute substantially to the environmental objective of transitioning to a circular economy by developing 'product-as-a-service' business models and circular value chains, with the aim of keeping products, components and materials at their highest utility and value for as long as possible [...] An economic activity can also contribute substantially to the environmental objective of transitioning to a circular economy by reducing food waste in the production, processing, manufacturing or distribution of food.*" (p.7)

Seguindo as diretivas de investimento da NEB (2024) é indicada a consulta do relatório desenvolvido pela *Urban Land Institute*. No mesmo é possível verificar os vários certificados de sustentabilidade e se são avaliados os diversos fatores Ecológicos, Sociais e Governamentais (ESG) utilizados [Fig. 31]. Os fatores ESG avaliados no relatório exprimem um grande peso sobre a variante ecológica onde são avaliados parâmetros relacionados com diversas áreas, tais como: energia, água, ambiente interior, materiais. Dos dezanove fatores em análise, catorze estão relacionados com a ecologia, revelando alguma negligência pelos fatores sociais e governamentais. Sendo a humanidade uma estrutura comunitária e social por natureza, é do entendimento da presente investigação que em futuros relatórios o aspeto social tenha uma maior preponderância. Já os fatores governamentais são entendidos como meramente regulatórios.

[106]Para melhor contextualização sugere-se a consulta da norma: Regulation (EU) 2020/852 of the European Parliament and of the Council of 18 June 2020 on the establishment of a framework to facilitate sustainable investment, and amending Regulation

ESG factor	Ecological Aspects	Ecological Aspects	Ecological Aspects	Ecological Aspects	Ecological Aspects	Ecological Aspects	Ecological Aspects	Ecological Aspects	Ecological Aspects	Ecological Aspects	Ecological Aspects	Ecological Aspects	Ecological Aspects	Ecological Aspects	Social aspects	Social aspects	Social aspects	Social aspects	Governance
Certification	Energy	Energy	Energy	Energy	Water	Water	Indoor Environment	Indoor Environment	Indoor Environment	Indoor Environment	Materials	Materials	Materials	Materials	0	0	0	0	0
Name	Low Emissions	Energy efficiency	Renewable Energy	Electrical Demand	"Re-use /recycling"	Water consumption	Air quality	Acoustics	Thermal	Daylighting	Robustness	Materials reuse	Waste Management	Toxic Materials	Safety	Health	Architecture	Social responsibility	Governance
BCA Green Mark (SG)	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	n/a	n/a
BELS (J)	n/a	n/a	n/a	n/a	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no
BOMA 360	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes
BOMA BEST	yes	yes	yes	yes	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
BREEAM	n/a	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	n/a	n/a
CASBEE	n/a	n/a	n/a	n/a	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	no	no	yes	no	no
DGNB	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	n/a	n.a
EDGE	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no
ENERGYSTAR	no	yes	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no
FITWEL	no	no	no	no	no	yes	yes	no	yes	yes	yes	yes	no	yes	yes	yes	yes	yes	yes
GREEN STAR (AU)	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	n/a	yes	n/a	yes	yes	yes	n/a	n/a	n/a	yes	n/a	n/a
HQE	yes	yes	yes	yes	n/a	yes	yes	n/a	yes	n/a	n/a	n/a	yes	n/a	yes	yes	n/a	n/a	n/a
LEED	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	n/a	n/a
NABERS (AU)	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	yes	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
NABERS (UK)	yes	yes	yes	yes	no	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
WELL	yes	n/a	yes	n/a	n/a	yes	yes	n/a	yes	yes	no	n/a	yes	yes	yes	yes	yes	yes	no
ZEB	yes	yes	yes	yes	n/a	yes	yes	no	n/a	n/a	yes	yes	yes	yes	n/a	yes	no	yes	n/a

Fig. 31 Relação dos certificados de sustentabilidade com os fatores ESG; a presente figura, não trad., foi adaptada do relatório "Mapping ESG: A Landscape Review of Certifications, Reporting Frameworks and Practices", p.63 (ULI, INREV, PRI, 2023).

Ao analisar a figura [Fig. 31], é possível concluir quais os certificados com maior relevância apresentando uma maior abrangência e uma perspetiva mais holística; BCA, BOMA 360[107], BREEAM[108], DGNB[109], LEED[110]. Após uma extensa revisão, entende-se que dos cinco mencionados, irá ser descartado, o BCA devido à sua aplicabilidade estar restrita a Singapura, e enquadra-se o WELL[111], o único que menciona a biofilia.

Os certificados mencionados revelam preocupações que se enquadram nos ideais do desenho biofílico, e, naturalmente este tipo de Arquitetura cumpre com os fatores ESG. É, deste modo, de extrema relevância que se enquadrem as preocupações biofílicas numa futura lista de políticas para possibilitar o controlo e avaliação de resultados de forma científica. Partindo de uma análise teórico-critica às políticas supracitadas, verificou-se uma minimização da problemática do edificado, reduzindo-a aos gastos energéticos dos edifícios e à pegada carbónica. Com o enquadramento realizado até ao momento, compreende-se a inter-relação disciplinar inerente à Arquitetura e, as implicações que a mesma tem no ecossistema. É imperativo transitar para um futuro em que as políticas e medidas reflitam o conhecimento atual e promovam o desenho de edifícios biofílicos, complementando não só com os baixos consumos energéticos, mas do mesmo modo a ecologia e a criação de ambientes multissensoriais estimuladores de qualidade de vida.

[107]https://www.boma.org/
[108]https://breeam.com/
[109]https://www.dgnb.de/de
[110]https://www.usgbc.org/leed
[111]https://www.wellcertified.com/

2. Psicologia Experimental e o Método Científico na Arquitetura

"[...] Os Poetas chegam à beira do sétimo círculo. Sufocados pelo mau cheiro que se levanta daquele báratro, param atrás do sepulcro do papa Anastácio. Virgílio explica a Dante a configuração dos círculos infernais. O primeiro, que é o sétimo, é o círculo dos violentos. Como a violência pode dar-se contra o próximo, contra si próprio e contra Deus, o círculo é dividido em três compartimentos, cada um dos quais contém uma espécie de violentos. O segundo círculo, que é o oitavo, é o dos fraudulentos e se compõe de dez círculos concêntricos. O terceiro, que é o nono, se divide em quatro compartimentos concêntricos. Fala-lhe também acerca dos incontinentes e dos usurários. Movem-se depois para o lugar de onde se desce para o precipício."

Dante, A.; (1321)

"[...] When experiencing a work of art, a curious exchange takes place; the work projects its aura, and we project our own emotions and precepts on the work. The melancholy in Michelangelo's architecture is fundamentally the viewer's sense of his/her own melancholy enticed by the authority of the work. Enigmatically, we encounter ourselves in the work."

(Pallasmaa, 1996, p.68)

Serve o presente capítulo, numa fase inicial para expor de forma mais detalhada a introdução à psicologia experimental; à investigação experimental e a correlação entre psicologia experimental e laboratorial. Numa fase secundária pretende-se relacionar a psicologia experimental com o método científico na Arquitetura biofílica.

2.1. Filosofia e as Origens da Psicologia

Muito antes da formalização da psicologia como disciplina científica, pensadores de diversas culturas abordaram questões fundamentais sobre a natureza humana, o comportamento e a mente. As antigas civilizações estabeleceram bases através de reflexões filosóficas e religiosas[112].

No **Egito Antigo** (≈ 2700 a.C.), devido à mumificação o conhecimento de anatomia era muito desenvolvido, bem como os primórdios da relação entre o cérebro e as alterações comportamentais após lesões cerebrais. Do lado oposto da atual Península Arábica, onde se localiza a **Índia Antiga**, os *Vedas*[113] (≈ 1300 a.C.) enfatizavam o autoconhecimento e o desenvolvimento espiritual em oposição ao entendimento do mundo exterior. Na **China Antiga** (≈ 500 a.C.), o *Confucionismo* e o conceito de *Yin e Yang* representam o primeiro registo dos conceitos de harmonia e equilíbrio, bem como as primeiras noções de corpo e mente como um todo[114].

Porém, os registos mais consistentes e recorrentes de produção literária ocorreram na **Grécia Antiga** e começaram com Thales (≈ 625., a.C.), que foi um propulsor da interpretação científica e deduziu que havia um elemento do qual tudo derivava. Entre gerações de pensadores, foram desenvolvidas variadas teorias acerca do funcionamento do corpo até chegar às bases da medicina de Hippocrates (460-377., a.C.), que foi o primeiro a enumerar distúrbios emocionais (mania, melancolia, paranoia, epilepsia e paralisia cerebral). Protagoras (485-410 a.C.) defendia o relativismo e um entendimento do mundo condicionado pelos sentidos, Socrates (470-399., a.C.), era um ávido defensor da investigação fundamentada em qualidades objetivas e universais. O seu trabalho influenciou profundamente Plato (428-347., a.C.), que, separando o corpo da mente, conceptualizou a *psique* como entidade envolvida em "*atividades psicológicas*"[115] ("memória", sabedoria, desejo e sentir). O

[112]Woody, W., & Viney, W., (2024), A history of psychology: the emergence of science and applications
[113]Escrituras sagradas do hinduísmo.
[114]Woody, W., & Viney, W., (2024), A history of psychology: the emergence of science and applications, pp.33-36
[115]Segundo Caston (2015, *cit. in* Woody & Wayne, 2024), Plato não fazia diferenciação entre *alma* e *psique.*

seu discípulo Aristotle (384-322., a.C.) desenvolveu sobre os manuscritos, mas considerava a psique e o corpo como interdependentes[116].

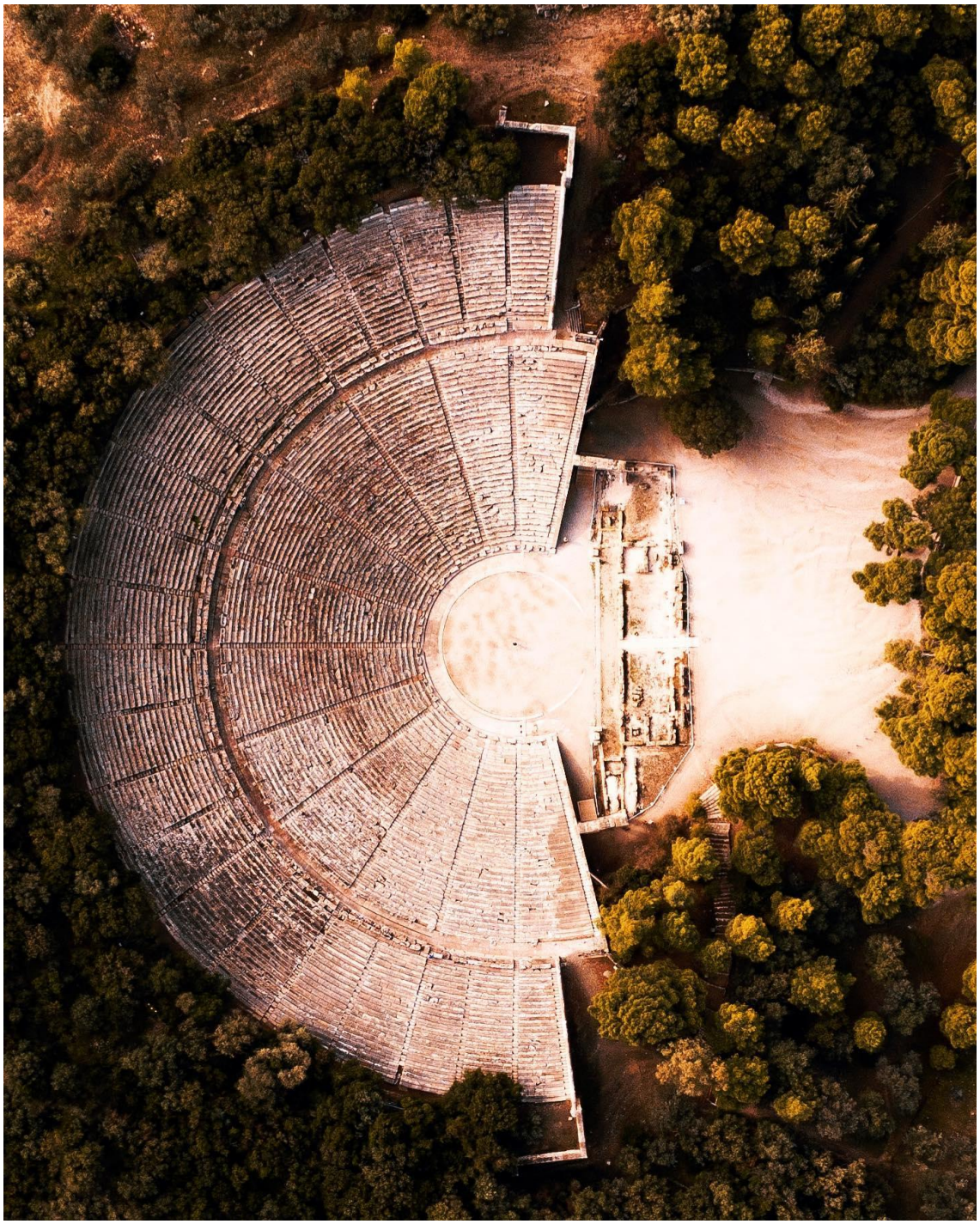

Fig. 32 Anfiteatro de Epidaurus (≈ 300 a.C.); a presente figura foi retirada de "instagram.com/p/CXuBMFBjaqL" (Pallis, 2021).

[116]Woody, W., & Viney, W., (2024), A history of psychology: the emergence of science and applications, pp.37-50

Na **Era Romana** (séc. V a.C. – V d.C.), Galenus (129-199., d.C.) propôs uma teoria da personalidade baseada em 4 tipos de humor (temperamental, pouco emotivo, alegre e melancólico). O período medieval (séculos V-XV.; d.C.) testemunhou a interação entre o *dogma religioso* e a *investigação filosófica*, com Aurelius Augustine (354-430., d.C.) a tentar integrar ideias platónicas com a teologia cristã, preparando o terreno para futuros debates entre fé e razão. Na **Península Arábica**, Avicenna (980-1037) sintetizou o conhecimento médico existente e na Europa, Thomas Aquinas (1225-1274) assinalou a importância da experiência sensorial como base do conhecimento, contudo destacava o papel da inteligência como organizadora da informação[117].

Séculos mais tarde, o **Renascimento** (séc. XIV-XVI), marcado por vários polímatas, reavivou o interesse pelo conhecimento clássico e os estudos empíricos. Niccolò Machiavelli (1469-1527) foi pioneiro no estudo das dinâmicas sociais, aplicadas ao poder, liderança e controlo. No ramo da psicologia cognitiva, Juan Luis Vives (1492–1540) observou que a *associação* e a emoção têm um grande papel na *aprendizagem*[118] e interessou-se pelo estudo da memória[119].

[117]*Ibidem*., Cap. IV
[118]Desenvolvido na contemporaneidade por Albert Bandura, a ser investigado posteriormente neste capítulo
[119]Woody, W., & Viney, W., (2024), A history of psychology: the emergence of science and applications, Cap. V

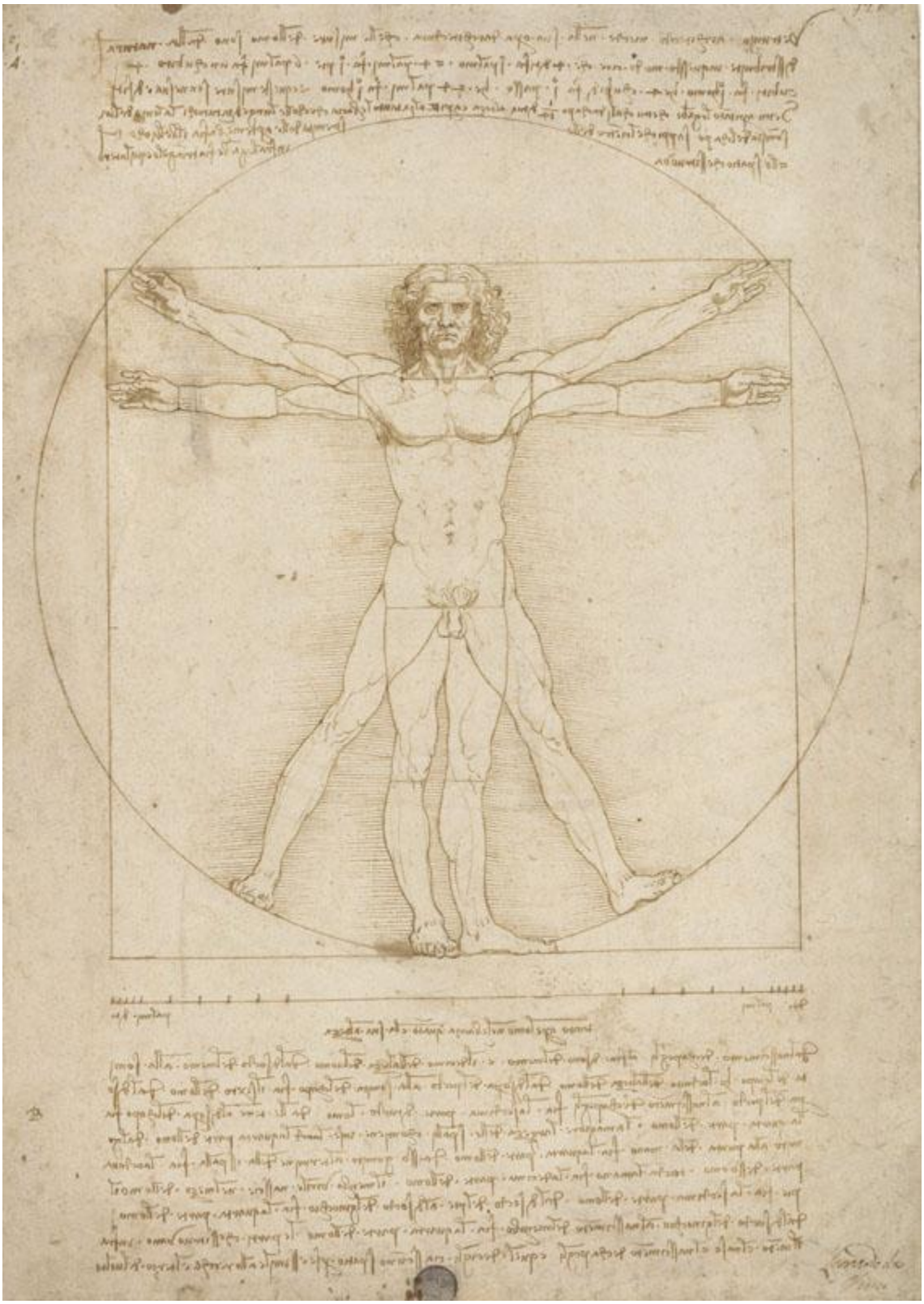

Fig. 33 Homem de Vitrúvio: Estudo das proporções humanas; a presente figura foi retirada de "gallerieaccademia.it/en/study-proportions-human-body-known-vitruvian-man" (Da Vinci, s.d.).

2.2. Correntes Filosóficas pós Renascimento

O **empirismo**[120], argumenta que o conhecimento surge exclusivamente da experiência sensorial e da observação, rejeitando completamente as ideias inatas. Bacon[121] (1620) enfatizou o raciocínio indutivo e o método científico, enquanto a teoria da *tabula rasa* de Locke[122] (1689) sublinhava a maleabilidade da mente. Embora extremo, o idealismo de Berkeley[123] (1713) abordou a subjetividade da perceção; e o ceticismo de Hume (s.d.) questionou a causalidade intrínseca, influenciando teorias de aprendizagem posteriores. As contribuições desta corrente para a psicologia incluem a ênfase na observação e experimentação, os fundamentos das teorias de aprendizagem e o desafio à predominância das ideias inatas.

O **racionalismo**[124], contrapôs-se ao empirismo, insistindo na razão e nas ideias inatas como principais fontes de conhecimento. Embora as tentativas iniciais de Descartes (1664) sobre dedução e dualismo entre *mente* e *corpo* tenham falhado; ambas influenciaram a compreensão inicial da *consciência*. O monismo de Spinoza (s.d.) defendia a unidade entre *mente* e *corpo*, enquanto as *mônadas* e a harmonia pré-estabelecida de Leibniz[125] (s.d.) forneceram um modelo não *interacionista*[126]. As contribuições do racionalismo para a psicologia incluíram a formulação de uma mente *racional* como base para compreender a *unidade consciência* e a pesquisa sobre capacidades mentais inatas (genoma humano). Kant[127] (1781) sintetizou o empirismo e o racionalismo, ao defender que as estruturas cognitivas são baseadas nas experiências como resultado dos modelos inatos.

Refletindo o espírito de industrialização da época, a ciência afirmava que o universo, a mente e o corpo humanos, funcionavam de forma mecânica e quantificável. A aplicação da estatística às características humanas feita por Quételet[128] (1835) impulsionou a **abordagem quantitativa**[129]. E, assim foi possível estabelecer

[120]Woody, W., & Viney, W., (2024), A history of psychology: the emergence of science and applications, Cap. VI
[121]Bacon, F., (1620), Novum Organum
[122]Locke, J., (1689), An essay concerning human understanding
[123]Berkeley, G., (1713), Three dialogues between Hylas and Philonous
[124]Woody, W., & Viney, W., (2024), A history of psychology: the emergence of science and applications, Cap. VII
[125]Leibniz, G., (1714), Monadology
[126]A hipótese proposta por Leibniz (1714) que iria posteriormente derivar para um modelo de interação entre *multi-fatores* não foi possível comprovar cientificamente, reduzindo nos seus escritos a meramente um modelo "*não interacionista*".
[127]Kant, I., (1781), Critique of pure reason
[128]Quételet, J., (1835), Sur L'Homme, et le Developpement de ses Facultes
[129]Woody, W., & Viney, W., (2024), A history of psychology: the emergence of science and applications, Cap. VIII

metodologias experimentais, e apresentar métodos quantitativos, desenvolvendo uma compreensão *materialista* da *conexão corpo-mente*; mais tarde reconhecida e conceptualizada como teoria da mente.

O **naturalismo**[130] e a reforma humanitária começaram a desafiar explicações sobrenaturais para as doenças, concentrando-se em fatores biológicos e sociais. A teoria da evolução de Darwin[131] (1859) forneceu um quadro geral para compreender o comportamento adaptativo e seletivo para a sobrevivência da espécie. Apesar de controverso, o darwinismo social de Spencer[132] (1864) influenciou os primórdios da psicologia social. Posteriormente, Pinel (s.d.), Rush (s.d.) e Dix (s.d.) introduziram o tratamento humano dos doentes mentais, prestando atenção aos determinantes ambientais e sociais da saúde mental[133]. As contribuições destas abordagens edificaram a psicologia como disciplina experimental com viabilidade científica, particularmente no desenvolvimento comparativo, sendo uma abordagem valorativa para o ser humano, nomeadamente nas doenças mentais e no papel das influências/fatores ambientais e sociais no comportamento humano.

[130]Woody, W., & Viney, W., (2024), A history of psychology: the emergence of science and applications, Cap. IX
[131]Darwin, C., (1859), On the origin of species
[132]Spencer, H., (1864), Principles of Biology
[133]Posteriormente vai ser desenvolvido no subcapítulo 2.4

2.3. Psicologia Formal

Weber[134] (1834) estudou a *just noticeable difference* (JND)[135], e observou uma relação matemática consistente entre a magnitude de um estímulo e a capacidade de perceber mudanças que ficou conhecida como a Lei de Weber.

$$\Delta R/R = K$$

Fórmula 1 Lei de Weber, (1834).

Fechner[136] (1860) expandiu este trabalho, e desenvolveu métodos precisos (método dos limites, método dos estímulos constantes, método do erro médio) para medir limiares sensoriais e formulou a Lei de Fechner, que descreve a relação entre a intensidade do estímulo e a sensação percebida/compreendida.

$$S = k \log R$$

Fórmula 2 Lei de Fechner, (1860)

A medição da *velocidade do impulso nervoso*[137] de Helmholtz[138] (1850), juntamente com a Lei de Fechner estabeleceram as conceptualizações da **psicofísica**[139], que investiga sistematicamente a relação entre as características físicas dos estímulos e a sua interpretação psicológica subjetiva. A lei de Weber-Fechner (1860) propõe uma relação logarítmica entre a intensidade de um estímulo e a perceção gerada, que foi um dos primeiros passos na tentativa de quantificar as sensações e perceber como o SN responde a estímulos variáveis. Esta abordagem introduz o conceito de valor *beta*, enquanto índice linear de resposta assume uma natureza não-crítica ao ignorar fatores de variabilidade interna no sistema sensorial. As suas contribuições teóricas e práticas foram fundamentais ao demonstrar que os eventos mentais podem ser quantificados e sujeitos a uma investigação experimental rigorosa, criando as bases da **psicologia experimental**[140].

[134]Weber, E., (1834), The sense of touch
[135]A menor variação entre dois estímulos capaz de ser detetada.
[136]Fechner, G., (1860), Elements of Psychophysics
[137]Atualmente é possível o cálculo matemático, estatístico e co-relacional da velocidade de um estímulo nervoso (SNC).
[138]Helmholtz, H., (1850), On the rate of transmission of the nerve impulse
[139]Woody, W., & Viney, W., (2024), A history of psychology: the emergence of science and applications, Cap. X
[140]*Ibidem.*

Em 1879, Wilhelm Wundt fundou o primeiro laboratório de psicologia experimental em Leipzig, onde a sua abordagem conhecida como **estruturalismo**[141], procurava analisar os elementos básicos da consciência através da introspeção recorrendo a relatórios sistemáticos sobre os próprios pensamentos e sentimentos. Wundt[142] (1873) identificava os blocos fundamentais da experiência (sensações, sentimentos, imagens) e como eles combinam. Embora a introspeção se tenha mostrado controversa e limitada, a criação de um laboratório de psicologia, com ênfase na observação sistemática em ambientes controlados e as publicações prolíficas consolidaram a psicologia como uma disciplina científica. A sua influência estendeu-se a muitos psicólogos, como Edward Titchener (s.d.), que desenvolveu o estruturalismo nos Estados Unidos da América.

Fig. 34 Laboratório de Psicologia em Dane Hall, Harvard; a presente figura foi retirada de "metalocus.es/en/news/lab-cult-unorthodox-history-interchanges-between-science-and-architecture", (Harvard University Archives, 1892).

[141] *Ibidem.*
[142] Wundt, W., (1873), Volume I of Principles of Physiological Psychology

Sigmund Freud (s.d.) fundou a **psicanálise**[143], que enfatizava a influência dos processos inconscientes, as experiências da infância e os conflitos internos no comportamento e na personalidade. Os conceitos-chave – *id*, *ego*, *superego*[144], estágios psicossexuais, mecanismos de defesa e análise de sonhos – ofereceram um quadro abrangente para compreender a *psique humana*. Apesar de controversa, a psicanálise criou um impacto profundo na psicologia clínica, ao destacar a importância das experiências iniciais. Alfred Adler (s.d.), Carl Jung (s.d.) e Karen Horney (s.d.) desenvolveram escolas de pensamento relacionadas, em resposta às críticas e limitações percebidas na escola clássica freudiana. A psicanálise apresentou uma nova conceptualização do inconsciente e técnicas terapêuticas inovadoras.

O ***behaviorism***[145] foi formalizado por John B. Watson[146] (1913), ao rejeitar a introspeção e focando-se exclusivamente no comportamento observável e nos seus determinantes ambientais. Watson defendia o empirismo radical, e enfatizava a aprendizagem como o mecanismo principal que molda o comportamento, sugerindo que todo comportamento, incluindo emoções complexas, é aprendido por condicionamento. O trabalho de Ivan Pavlov s.d.) sobre **condicionamento clássico** demonstrou a aprendizagem por associação de estímulos, efetuando um suporte empírico crucial. Skinner (s.d.) ampliou o *behaviorism* com as suas pesquisas sobre **condicionamento operante**, onde destacava o papel do reforço positivo, negativo e da punição, na modelagem do comportamento. *Neobehaviorists* como Clark Leonard Hull (s.d.) Edward Chace Tolman (s.d.) e Edwin Ray Guthrie (s.d.) incorporaram fatores internos e elementos cognitivos, e ajudaram a moldar a transição do *behaviorism* clássico para abordagens mais complexas e multifacetadas na psicologia da aprendizagem. O *behaviorism* contribuiu teoricamente ao enfatizar o determinismo ambiental e a aprendizagem como processos centrais do comportamento e, na prática, gerou técnicas eficazes de modificação comportamental amplamente utilizadas.

A **psicologia gestalt**[147], fundada por Max Wertheimer (s.d.), Wolfgang Köhler (s.d.) e Kurt Koffka[148] (1922.), pode ser descrita como a **psicologia da forma**, da estrutura, da organização ou do padrão. Eles usaram o fenómeno *phi* (movimento aparente) [Fig. 35] para demonstrar que a perceção "*é mais do que a soma das partes*"[149], concebendo novas qualidades emergentes. As pesquisas mostraram que a

[143]Woody, W., & Viney, W., (2024), A history of psychology: the emergence of science and applications, Cap. XV
[144]Segunda tópica freudiana
[145]Comportamentalismo: tradução para português.
[146]Watson, J., (1913), Psychology as the behaviorist views it
[147]Woody, W., & Viney, W., A history of psychology: the emergence of science and applications, 2024, Cap. XIV
[148]Koffka, K., (1922), Perception: an introduction to the Gestalt-Theorie, DOI: 10.1037/h0072422
[149]Ibidem., p. 539

perceção é um processo ativo de organização baseado em princípios como figura e fundo, proximidade, semelhança, fecho e continuidade. Kurt Lewin (s.d.) aplicou os princípios da Gestalt à psicologia social, e, através da *Field Theory* formalizou a interação dinâmica entre indivíduos e o ambiente como os fatores determinantes para o comportamento.

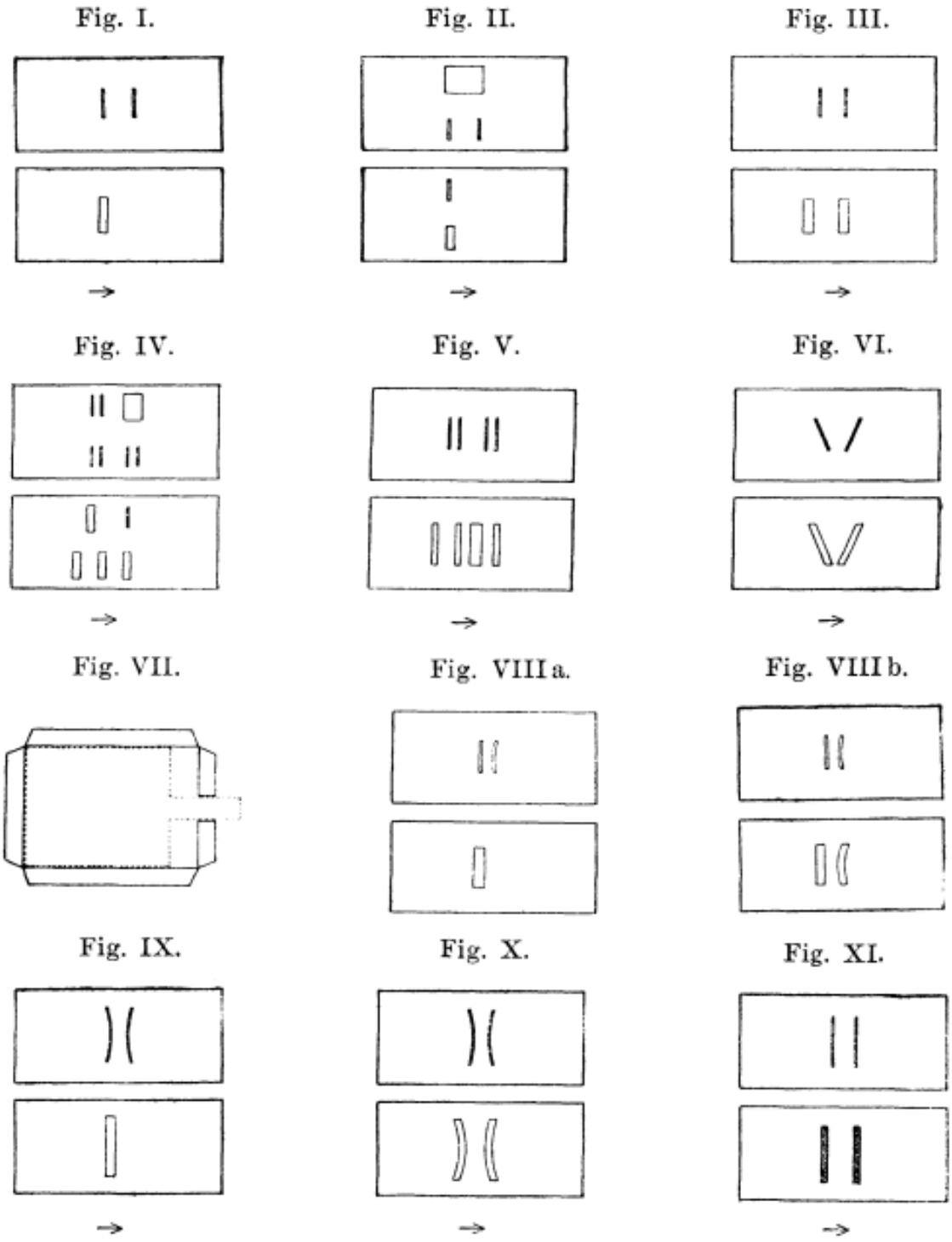

Fig. 35 Representação dos estudos que comprovam o fenómeno phi; a presente figura foi retirada do artigo: "Experimentelle Studien über das Sehen von Bewegung", (Wertheimer, 1912).

Surgindo como uma "terceira força" em reação às limitações do *behaviorism* e da psicanálise, a **psicologia humanista**[150] destacou o potencial humano, a autorrealização e a experiência subjetiva. Abraham Maslow (s.d.) propôs uma hierarquia de necessidades culminando na autorrealização, enquanto Carl Rogers (s.d.) desenvolveu a terapia centrada na pessoa, na qual destacava a empatia e a aceitação incondicional. Viktor Frankl (s.d.) introduziu a *logotherapy*, focada na procura do significado na vida do sujeito. A psicologia humanista adotou uma visão otimista e holística da natureza humana, desafiando as abordagens deterministas e reducionistas ao promover terapias orientadas para o crescimento pessoal.

Não se pode deixar de enunciar, que com o evoluir das experiências na psique humana, emerge a escola contemporânea enfatizada, inicialmente por Klein (1932) e os seus conceitos revolucionários; tais como a conceptualização do *mundo interno e fantasioso da díade mãe-bebé*, a conceptualização de *mecanismos de defesa maníacos*, e a evolução da estrutura/psique mental; efetuando o paralelismo com Freud, *complexo de édipo,* e *posição esquizoparanóide para posição depressiva*.

Completando o trabalho supramencionado de Webber-Fechner, Stevens (1957) descobriu que a intensidade dos estímulos não aumentava de forma logarítmica, mas sim de forma exponencial; logo a intensidade das frequências é proporcional à percecionada [Fig. 36].

[150]Woody, W., & Viney, W., (2024), A history of psychology: the emergence of science and applications, Cap. XVI

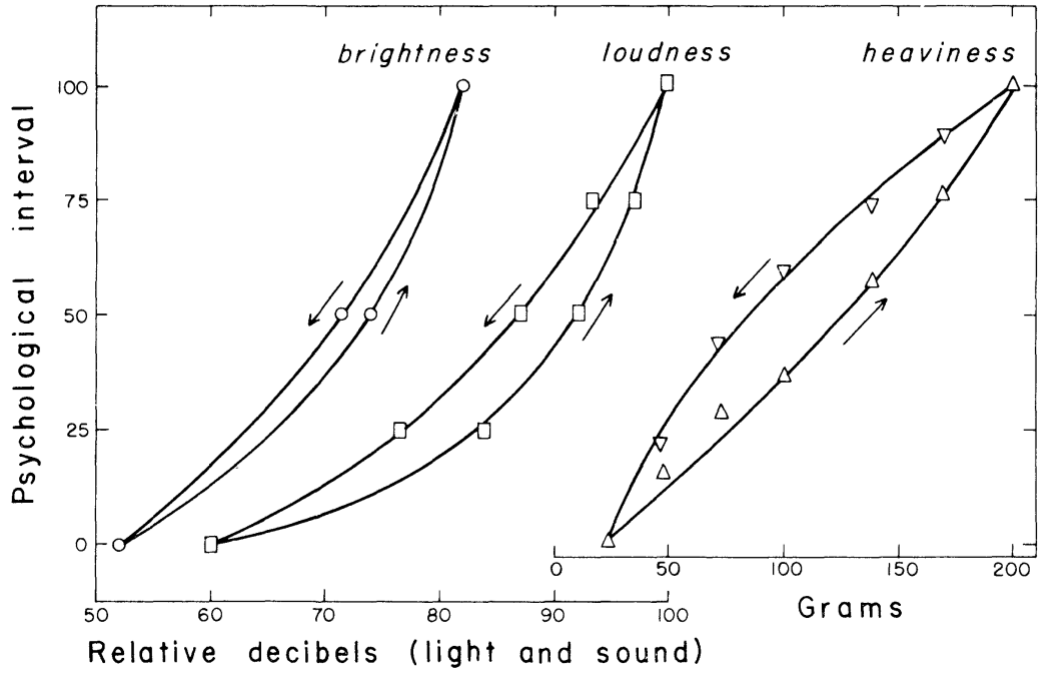

Fig. 36 Relação entre a perceção e estímulo físico de Stevens; a presente figura, não trad., foi retirada do livro "Psychophysics: introduction to its perceptual, neural, and social prospects", pp.130 (Stevens, 2017).

Já Winnicott[151] (1971), com formação académica de médico pediatra e com a conjugação da escola contemporânea; conceptualiza a *teoria de mãe suficientemente boa*; enquanto Bion e respetivos seguidores (1979) inicia os seus estudos no *espetrum* com psicóticos revolucionado a perceção do analista relativamente aos seus pacientes. Psicóticos, são hoje trabalhos em *setting*, com o paralelismo efetuado na segunda tópica freudiana conjugadamente com o *mundo interno*; dualidades das posições; com a teoria da mãe suficientemente boa; com a teoria da vinculação, ou seja, a existência da *fragmentação* do *self*.

De acordo com Bion (1962) a compreensão dos elementos *beta* e *alpha* são não qualificáveis para ser quantificados em pensamentos oníricos, no entanto são utilizados para a identificação projetiva (*acting out*)[152]. São elementos funcionais como substituto ao pensar ao falar e as ideias para o próprio; os elementos *beta* são armazenados não como forma de memória, mas como factos não digeridos; enquanto os elementos *alfa* foram digeridos e servem ao propósito do pensar, isto é, à luz da teoria da função *alfa*,

[151]Winnicot, D., (1971), Playing and Reality

[152]A psicanálise clássica refere-se à conceptualização com "[...] dora vingou-se de mim como quis vingar-se do senhor K, e me abandonou como acreditava ter sido abandonada e enganada por ele. Assim ela" atuou" uma parte essencial das suas lembranças e fantasias em lugar de relatá-las no tratamento" (Freud, 1905; p. 45 *cit. in* Zimmermann, 2007). Os autores contemporâneos; tais como Rosenfeld (1964) "[...] a atuação reflete o grau de hostilidade de como o paciente, tal como quando era criança, distanciou-se dos seus objectos primitivos; isto é, do seio materno" (p.228 *cit. in* Zimmermann, 2007). Para melhor compreensão propõe-se a leitura dos fundamentos psicanalíticos; teoria técnica e clínica de Zimmermann, 2007.

o sujeito opera no inconsciente enquanto a função *beta* opera dentro do processo elaborativo onírico[153] (subconsciente).

Com o evoluir da neurologia e da psicologia experimental surgem imensas modalidades no âmbito da saúde mental. Até aos dias de hoje a grande controvérsia académica; e daí a necessidade intrínseca de avaliações, *follow-ups*, elaborações de instrumentos validados para a população portuguesa serem cada vez mais exatos, reflete a tentativa de tornar a psicologia experimental em psicologia médica. Tal não seria possível sem primeiro delinear o conceito de *self*. Como tal, implica proceder a um ensaio prévio da epistemologia no seu campo de referência[154].

O conceito de *self* é utilizado de forma generalizada quer na prática quer na teórica, o que dificulta de imediato delinear a perspetiva epistemológica adotada. As abordagens teóricas fundamentam se em diferentes considerações para compreender o ser humano, o que traz implicações diretas e indiretas na descrição do conceito *self*. Neste contexto a conceptualização de *self* é considerada, uma coconstrução[155] onde se procuram articular conhecimentos de psicologia, psicologia do desenvolvimento, desenvolvimento cultural e neurociências.

Na tradição filosófica iniciada em Descartes e transitada por Kant, chega a Piaget (Oliveira 2006), a definição como "[...] *self* como si mesmo, a tomada de consciência de ser uma identidade independente e autónoma em relação a outro. Uma visão racionalista do psiquismo, que ressalva uma perspetiva individualista"[156]. É nos processos de internalização ativa dos sistemas simbólicos da cultura, do esquema multissensorial, das emoções, do raciocínio lógico-dedutivo que se vai modificando através das ações externalizadas de cada sujeito[157].

[153] Para melhor compreensão propõe-se a leitura dos fundamentos psicanalíticos; teoria técnica e clínica de Zimmermann, 2007.
[154]Farate, C., (2014), O falso Self na génese psíquica das patologias-limite? Ensaio de resposta clínica e reflexão epistemológica
[155]Bamberg, M., & Zielke, B., (2007), From Dialogical Practices to Polyphonic Thought? Developmental Inquiry and Where to Look for It
[156]Macedo, L., & Silveira, A., (2012), Self: um conceito em desenvolvimento, DOI: 10.1590/S0103-863X2012000200014
[157]Matos, P., (2020), Elaboration of countertransference experience and the workings of the working alliance, DOI: 10.1037/pst0000250

-PURGATÓRIO-

"[...] Os dois Poetas sobem ao primeiro compartimento do Purgatório, cuja escarpa é de mármore, no qual estão esculpidos vários espisódios de humildade. Eles os observam e no entanto vêem em sua direção várias almas curvadas sob o peso de grandes pedras. São as almas dos que no mundo foram soberbos"

Dante, A.; (1321)

2.4. Psicologia Ambiental

Ao contrário da psicologia experimental, que depende de experiências em ambientes laboratoriais controlados, e centrados no indivíduo (estudos de casos). A especificidade da psicologia ambiental estuda o comportamento humano no seu contexto ambiental, considerando a interação entre características pessoais, dinâmicas sociais e o ambiente físico. É, neste momento, que assume a sua extrema relevância para a Neuroarquitetura Biofílica. Formalizou-se através de Brunswik[158] (1943) e são utilizados métodos de investigação mistos, combinando métodos quantitativos (experiências, inquéritos, análises estatísticas aplicadas) com métodos qualitativos (observações, entrevistas, estudos de caso). A integração de dados qualitativos acrescenta profundidade e nuances fundamentais à compreensão das experiências humanas no contexto ambiental[159].

A teoria da estimulação, de Wohlwill[160] (1966), destacou o impacto do equilíbrio dos estímulos sensoriais na experiência humana. E a teoria dos cenários comportamentais, de Barker[161] (1968), explicam como os ambientes, *per si*, evocam padrões específicos de comportamento. Posteriormente, a teoria de controlo, desenvolvida por Averill[162] (1973), sugere que existem três tipos de controlo em relação ao ambiente (comportamental, interpretativo e de resposta ao respetivo estímulo) que salientam a necessidade fundamental de controlo pessoal sobre o ambiente e as consequências psicológicas da sua ausência. Bandura[163] (1977), enfatizou o papel do contexto social na modelação do comportamento e a aprendizagem por observação. A abordagem de Gibson[164] (1976), enfatiza a perceção direta das propriedades funcionais do ambiente, e incorpora uma componente ecológica à perceção[165].

Atualmente, a psicologia ambiental enfatiza a importância do ambiente na coconstrução da psique humana e, consequentemente nas manifestações comportamentais, isto é, diminuindo o stress, a ansiedade, as fobias, as memórias reprimidas e, assim permitindo o poder restaurador no ser humano a partir dos ambientes naturais e da natureza subjetiva da sensação.

---

[158]Brunswik, E., (1943), Organismic achievement and environmental probability
[159]Kopec, D., (2024), Environmental psychology for design, Cap. I
[160]Wohlwill, J., (1966), The Physical Environment: A Problem for a Psychology of Stimulation
[161]Barker, R., (1968), Ecological Psychology: Concepts and Methods for Studying the Environment of Human Behavior
[162]Averill, J., (1973), Personal control over aversive stimuli and its relationship to stress
[163]Bandura, A., (1977), Self-efficacy: Toward a unifying theory of behavioral change
[164]Gibson, J., (1976), The theory of affordances and the design of the environment
[165]Kopec, D., (2024), Environmental psychology for design, Cap. II

2.5. Neuroarquitetura

Estabelecidas as bases da conceptualização da biofilia (subcapítulo 1.1), e expostas no presente capítulo as evoluções da psicologia, é de extrema relevância a explanação da Neuroarquitetura, um termo mais recente e enquadrado na temática da Arquitetura. Entende-se assim, na presente investigação, a Neuroarquitetura como a nomenclatura mais abrangente de dois termos (biofilia e Neuroarquitetura) enraizados nos mesmos princípios fundamentais, o desenho do espaço baseado em respostas fisiológicas. Ainda assim, é relevante reforçar a parca quantidade de recursos e a dificuldade de obtenção de conhecimentos científicos para estes, que são temas tão elementares à nossa essência, e que moldam os nossos processos cognitivos.

2.5.1. Os Princípios Fundamentais da Neuroarquitetura

A Neuroarquitetura baseia-se em **evidências empíricas**[166], enquanto o *design* arquitetónico convencional o faz através da intuição, preferências subjetivas e evidências questionáveis. O objetivo é aplicar métodos científicos rigorosos para recolher dados quantificáveis relativamente às respostas fisiológicas e neuronais a estímulos arquitetónicos. Esses dados, informam estatisticamente as decisões de *design* e permitem uma avaliação mais objetiva do impacto do projeto, criando um ciclo de *feedback* onde a pesquisa informa o *design inteligente*, onde este é testado e os resultados aperfeiçoam tanto a pesquisa como as iterações futuras do objeto arquitetónico.

A Neuroarquitetura exige uma **compreensão profunda da anatomia, da fisiologia e da neurociência**[167]. Além de tentar compreender como as pessoas respondem aos espaços, investiga o motivo das respostas a determinados estímulos e correlaciona-os de forma a obter um entendimento holístico do ser no espaço. Neste contexto, as áreas específicas do cérebro e respetivas funções tornam-se relevantes e pertinentes para conceptualizar o espaço construído. Isto é, o papel do córtex visual no processamento de informações visuais (como a luz, a cor, a forma e as relações espaciais), da amígdala em emoções como o medo, a ansiedade e o prazer, e o

[166]Karakas, T., & Yildiz, D., (2020), Exploring the influence of the built environment on human experience through a neuroscience approach: A systematic review, DOI: 10.1016/j.foar.2019.10.005
[167]Villarouco, V., *et al.*, (2021), Neuroarquitetura: a neurociência no ambiente construído

hipocampo na memória espacial e na navegação. Este conhecimento detalhado permite aos neuroarquitetos tomar decisões informadas e contextualizadas que influenciam diretamente os processos cerebrais específicos, com impactos estatisticamente previsíveis e positivos.

A Neuroarquitetura reconhece **a natureza multissensorial da experiência espacial**[168] na formação da nossa perceção e resposta emocional a um ambiente. Um neuroarquiteto pode *eg.*, escolher materiais pelas suas qualidades táteis, manipular a acústica para criar um ambiente calmo ou estimulante e incorporar aromas subtis com o intuito de evocar emoções ou memórias específicas reprimidas. Esta abordagem holística reconhece os efeitos sinérgicos dos *out e inputs* sensoriais no cérebro, e cria uma experiência mais completa e real.

A **individualidade no processamento sensorial**, **nas capacidades cognitivas e respetivas respostas emocionais**[169] traduzem não só a presente ciência da Neuroarquitetura, mas também da Psiconeuroarquitetura; que não adota uma abordagem singular. Em vez disso, foca-se em projetar espaços que podem, e são personalizados para considerar as distintas necessidades explícitas e implícitas dos utilizadores. Não obstante, devem ser compreendidos multi fatores; tais como os dados demográficos e etnográficos, as preferências individuais e as habilidades físicas, cognitivas e percepto emocionais que condicionam as respostas aos ambientes a que são expostos. Os *designs inteligentes* devem, assim, incluir a flexibilidade através de elementos como iluminação ajustável, acústica adaptável e mobiliário modular, entre outros, permitindo aos utilizadores adaptar o ambiente às suas necessidades específicas. A evolução em tecnologias de sensores inteligentes aplicados a edifícios que reagem em tempo real ao comportamento humano e às respetivas preferências dos utilizadores estão a ser exploradas como método de personalização.

Embora a estética tenha o seu papel, a Neuroarquitetura **coloca maior ênfase no bem-estar e na funcionalidade**[170] dos utilizadores. Quando bem aplicada, deve criar ambientes que melhorem o desempenho cognitivo (neuroplasticidade), a regulação emocional, a interação social e a saúde psíquica e física[171]. Isto traduz-se em projetos que reduzem o stress, aumentam a concentração, melhoram o humor e fomentam conexões sociais significativas. O objetivo não é apenas criar espaços visualmente atraentes, mas ambientes que apoiem o potencial humano e contribuam para uma maior qualidade de vida.

---

[168] *Ibidem.*
[169] Abbas, S., *et al.*, (2024), Neuroarchitecture: How the Perception of Our Surroundings Impacts the Brain, DOI: 10.3390/biology13040220
[170] *Ibidem.*
[171] Gage, F., cit in, Eberhard, J., (2009), Brain landscape: the coexistance of neuroscience and architecture, pp. xiii-xiv

2.5.2. Tecnologias de mensuração e aplicação

O rápido crescimento da Neuroarquitetura deve-se aos avanços nas tecnologias de neurociência e a metodologias de investigação cada vez mais sofisticadas e atualizadas. Estas ferramentas permitem aos investigadores ultrapassar a lacuna das avaliações subjetivas no momento em que se torna possível mensurar fenómenos inconscientes. Com a presente evolução na mensuração, os dados recolhidos são trabalhados matematicamente, independentemente do seu carácter subjetivo e objetivo. Neste contexto, é possível a recolha e tratamento de dados sobre o impacto do ambiente construído no cérebro e no corpo humano[172].

Segue-se uma descrição detalhada dos principais métodos e tecnologias atuais:

2.5.2.1. Mensuração

Estas técnicas de neuroimagem encontram-se na vanguarda da Neuroarquitetura, permitindo medições concretas da atividade cerebral em resposta a estímulos sensoriais arquitetónicos.

A **eletroencefalografia**[173] (EEG) utiliza elétrodos colocados no couro cabeludo para medir a atividade elétrica do cérebro. Oferece uma resolução temporal elevada, ideal para estudar respostas rápidas, cognitivas e emocionais a alterações no ambiente. Neste complemento de diagnóstico, são utilizados sistemas portáteis e sem fios de EEG que estão a tornar-se cada vez mais acessíveis, permitindo estudos mais completos e complexos, nomeadamente em contextos mais naturalistas. No entanto, a resolução espacial do EEG é limitada, dificultando a localização exata da atividade no cérebro.

A **ressonância magnética funcional**[174] (fMRI) utiliza ímanes potentes para detetar alterações no fluxo sanguíneo e na oxigenação do cérebro, medindo indiretamente a atividade neuronal. Proporciona uma elevada resolução espacial, permitindo identificar regiões específicas do cérebro envolvidas no processamento de estímulos cerebrais. Contudo, a fMRI tem menor resolução temporal que o EEG e exige

[172]Karakas, T., & Yildiz, D., (2020), Exploring the influence of the built environment on human experience through a neuroscience approach: A systematic review, DOI: 10.1016/j.foar.2019.10.005
[173]Villarouco, V., *et al.*, (2021), Neuroarquitetura: a neurociência no ambiente construído
[174]*Ibidem*.

que os participantes permaneçam imóveis, o que limita a sua aplicação em cenários realistas.

A **magnetoencefalografia**[175] (MEG) mede os campos magnéticos produzidos pela atividade elétrica do cérebro, combinando uma elevada resolução temporal e espacial. É menos sensível a movimentos do que a fMRI, o que possibilita estudos mais dinâmicos em ambientes reais. Contudo, a MEG é dispendiosa e requer equipamento e *expertise* especializados.

A **espectroscopia de infravermelho próximo**[176] (NIRS) é uma técnica de neuroimagem portátil e relativamente nova que mede alterações na oxigenação do sangue usando luz infravermelha próxima. Oferece boa resolução espacial e é menos suscetível a movimentos do que a fMRI, tornando-a adequada para estudos em ambientes dinâmicos. Porém, a NIRS é limitada a medições no córtex, e não obtém dados das áreas mais profundas do cérebro.

Após o estudo e levantamento de literatura científica, torna-se pertinente ressalvar o uso das técnicas supracitadas de forma complementar e interligada, com o intuito de obter resultados mais viáveis cientificamente[177]. Ora, isto é algo com o qual um futuro arquiteto biofílico terá de se deparar, é a única forma de avaliar efetivamente as respostas multissensoriais aos estímulos expostos ao sujeito e a forma de aferir e validar o *framework* aplicado.

2.5.2.2. Aplicação e teste

As tecnologias de **realidade virtual e aumentada**[178] (VR/AR) permitem criar simulações realistas de espaços arquitetónicos, possibilitando a manipulação controlada de variáveis ambientais (iluminação, som, disposição espacial, etc.) e a recolha de dados do utilizador num contexto imersivo. Estas ferramentas são especialmente úteis para testar hipóteses de *design* e avaliar respostas dos utilizadores antes da construção física.

Os **sistemas de rastreamento ocular**[179] medem com precisão onde e durante quanto tempo as pessoas focam a visão, revelando padrões de atenção e

[175] *Ibidem.*
[176] *Ibidem.*
[177] Karakas, T., & Yildiz, D., (2020), Exploring the influence of the built environment on human experience through a neuroscience approach: A systematic review, DOI: 10.1016/j.foar.2019.10.005
[178] Ellard, C., (2020), Neuroscience, Wellbeing, and Urban Design: Our Universal Attraction to Vitality, DOI: 10.7454/proust.v3i1.81
[179] Villarouco, V., *et al.*, (2021), Neuroarquitetura: a neurociência no ambiente construído

preferências visuais. Estes dados objetivos fornecem informações cruciais sobre como os elementos de *design* influenciam a atenção visual e a navegação. Posteriormente são gerados mapas de calor a partir dos dados que ilustram as áreas de maior interesse visual.

Os **sensores vestíveis**[180], como monitores de ritmo cardíaco, sensores de condutância da pele (que medem respostas de suor, indicadoras de excitação) e acelerómetros (que medem movimentos), fornecem dados **fisiológicos** complementares às medições de neuroimagem e rastreamento ocular. Esta abordagem integrada permite uma compreensão mais abrangente dos efeitos fisiológicos e neurológicos do ambiente construído nos indivíduos. A recolha destes dados de forma discreta em cenários reais aumenta a sua viabilidade científica.

Apesar dos avanços tecnológicos, a **observação e codificação comportamental** tradicional continuam a ser cruciais. Os investigadores utilizam esquemas de codificação padronizados para registar sistematicamente as ações e interações dentro e fora dos espaços. Esta abordagem complementa os dados neurofisiológicos, proporcionando uma compreensão mais rica de como o *design* influencia o comportamento.

[180]Ellard, C., Neuroscience, (2020), Wellbeing, and Urban Design: Our Universal Attraction to Vitality, DOI: 10.7454/proust.v3i1.81

2.5.3. Desafios

Apesar das metodologias e tecnologias promissoras mencionadas, a Neuroarquitetura enfrenta vários desafios que devem ser superados para atingir todo o seu potencial:

O **elevado custo dos equipamentos**[181] de neuroimagem e a necessidade de conhecimentos especializados limitam o acesso à investigação em Neuroarquitetura para muitos profissionais de *design inteligente*. Tornar as tecnologias neurocientíficas mais acessíveis e fáceis de usar é essencial para uma aplicação mais abrangente.

Os dados obtidos através de técnicas de neuroimagem são frequentemente complexos e exigem análises estatísticas avançadas e interpretações cuidadosas. O grande desafio é **traduzir estas descobertas complexas em recomendações práticas para o *design* arquitetónico**[182]. A colaboração interdisciplinar é fundamental para preencher esta lacuna. Além disso, é necessária a criação de *software* com processamento de informação veloz, mais intuitivo, objetivo e com soluções de respostas, e ferramentas eficazes de visualização e análise de dados.

O uso de neurotecnologia levanta **questões éticas e bioéticas**[183] significativas, como a privacidade dos dados, o consentimento informado, possíveis enviesamentos na recolha e interpretação dos dados, e o risco de manipulação do comportamento dos utilizadores. A criação de diretrizes éticas robustas e protocolos rigorosos é vital para garantir práticas de investigação responsáveis.

Os resultados de estudos realizados em populações ou contextos específicos podem não ser facilmente aplicáveis a outros grupos ou situações. É necessária mais investigação para estabelecer a aplicabilidade dos resultados da Neuroarquitetura em diferentes populações e contextos de *design*. **Compreender as influências de fatores culturais**, **diferenças individuais**[184] e fases de desenvolvimento nas respostas neuronais é especialmente importante.

Em síntese, a Neuroarquitetura enfrenta desafios significativos, o seu futuro é promissor, com o avanço contínuo das tecnologias, o aprimorar das metodologias, a implementação de um enquadramento ético, bioético e deontológico sólido, e o fortalecer das colaborações interdisciplinares. Assim, a Neuroarquitetura pode transformar o processo de *design*, criando espaços com bases científicas que vão além da intuição, da interpretação e da estética subjetiva.

---

[181] Villarouco, V., *et al.*, (2021), Neuroarquitetura: a neurociência no ambiente construído
[182] *Ibidem.*
[183] Müller, O., & Rotter, S., (2017), Neurotechnology: Current Developments and Ethical Issues, DOI: 10.3389/fnsys.2017.00093
[184] Abbas, S., *et al.*, (2024), Neuroarchitecture: How the Perception of Our Surroundings Impacts the Brain, DOI: 10.3390/biology13040220

3. Design Biofílico Inteligente

"[...] Para chegar à escada que do sétimo e último compartimento leva ao cimo do monte, Dante é obrigado por um Anjo a atravessar as flamas. Pouco depois de ter começado a subir, o ar escurece e sobrevém a noite. Param e Dante, cansado, adormece. Despertado pela madrugada, os Poetas recomeçam a subir, chegando ao Paraíso Terrestre."

Dante, A.; (1321)

"*It isn't that you're living in accordance with nature, Nature is a changing process, so anytime you find a formula for working with nature, if it continues to change, your formula has to be updated. If the proposals are based on changing conditions, they're more appropriate than proposals based on a fixed system in the environment.*"

(Fresco, 2010)

Fig. 37 Centro para gestão de recursos, representação digital; a presente figura foi retirada de "thevenusproject.com/center-for-resource-management" (Venus Project, s.d.).

3.1. Inteligência Artificial

> "[...] *saying AI is mainly about the math or the code is like saying we humans are mainly about carbon and water. It's true, but it completely misses the point*." (Suleyman, 2024)

A IA é teoreticamente a simulação da inteligência humana aplicada a máquinas com o intuito de realizarem tarefas que requerem uma pessoa para serem efetuadas. Deste modo, a sua utilização já remete para o século passado com a criação de programas que simulavam humanos a jogar xadrez. As bases da computação foram demarcadas pelo pensamento lógico de Leibniz (s.d.) e as de *Machine Learning* (ML) através do reforço positivo e do condicionamento, foram introduzidas por Kirsch[185] na mesma altura em que o termo IA foi cunhado, em 1956 na faculdade de Dartmouth, Estados Unidos da América numa oficina de verão[186].

Para aferir se uma máquina tem a capacidade de pensar, foi idealizado em 1950 o teste de Turing[187], no qual um ser humano efetua uma série de questões a duas "pessoas", alheio a quem as responde, com o objetivo de identificar um homem e uma mulher. No final se não conseguir identificar que as respostas de um dos interrogados são provenientes de uma máquina, esta passou o teste. Para que tal aconteça, o computador deve estar munido de capacidades como o *natural language processing* (para comunicar na linguagem humana), *knowledge representation* (para armazenar o que sabe e aprende), *automated reasoning* (para responder e tirar conclusões) e *machine learning* (para se adaptar a novas circunstâncias). Estas são as bases necessárias, no caso parcial. Para um teste completo, a máquina deve ainda conseguir replicar o comportamento humano num ambiente real[188], e desta forma, necessita ainda de *computer vision* (para perceber o mundo) e *robotics* (para se movimentar e manipular objetos)[189].

Não há uma verdade universal no que diz respeito à categorização dos níveis de IA mas para facilitar a compreensão do leitor é assumida a diferenciação de Wooldridge (2020). Deste modo, existem essencialmente dois tipos de IA a *weak AI* e a *strong AI*, sendo o fator diferenciador a consciência. No caso da *weak AI*, o entendimento geral sugere que existe consciência, mas de forma simulada, isto é, a máquina é capaz de demonstrar respostas similares às de um humano, no entanto não existe uma verdadeira compreensão em relação aos *inputs* e *outputs*. A *weak AI* é ainda

[185]Russel, K., (1954), Experiments with a Computer Learning Routine
[186]Nilsson, N., (2010), The quest for artificial intelligence: a history of ideas and achievements
[187]Turing, A., (1950), Computing Machinery and Intelligence, DOI: 10.1093/mind/LIX.236.433
[188]Para referência recomenda-se o filme Ex Machina, 2014
[189]Russel, S., & Norvig, P., (2022), Artificial intelligence: a modern approach, p.20

subdividida em dois níveis: *narrow AI* e *Artificial General Intelligence* (*AGI)*. No caso da primeira os seus campos de atuação são extremamente específicos a uma tarefa como por exemplo jogar xadrez, a tradução automática ou veículos autónomos. No segundo caso a unidade de processamento atua em função de um contexto, tem a capacidade de evoluir e exibe senso comum, prescindindo de treinos sucessivos, no entanto este nível ainda não foi atingido segundo as últimas evoluções. Finalmente, a *strong AI* é um campo teorético da IA em que a "máquina" se torna senciente, tem consciência, emoções e pode desenvolver tecnologias incompreensíveis para a humanidade[190]. Há quem argumente que pode ter um poder destrutivo, nomeadamente através das armas autónomas[191] e que a sua regulação é imperativa para prevenir catástrofes futuras.

O paradigma atual está centralizado na IA generativa, em grande parte devido à popularização do *chatGPT* e capacidade de reproduzir conteúdo. Atualmente a IA tem várias aplicações, e sendo uma área em constante mutação [Fig. 38], torna impossível a enumeração de todas, como tal serão expostas as aplicações com maior proximidade ao campo da Arquitetura. À luz do presente trabalho de investigação, e após uma extensa pesquisa entende-se que a IA é uma ferramenta digital como tantas outras, desenvolvidas desde a *era digital*, que tem benefícios e pode auxiliar em funções especificas. Cabe ao ser humano aprender a trabalhar com a ferramenta e tirar o melhor partido da mesma no auxílio das suas funções.

[190]Wooldridge, M., (2020), The road to conscious machines: the story of AI, Cap. I
[191]Tegmark, M., (2024), Open letter on AI weapons, https://futureoflife.org/ai/open-letter-on-ai-weapons

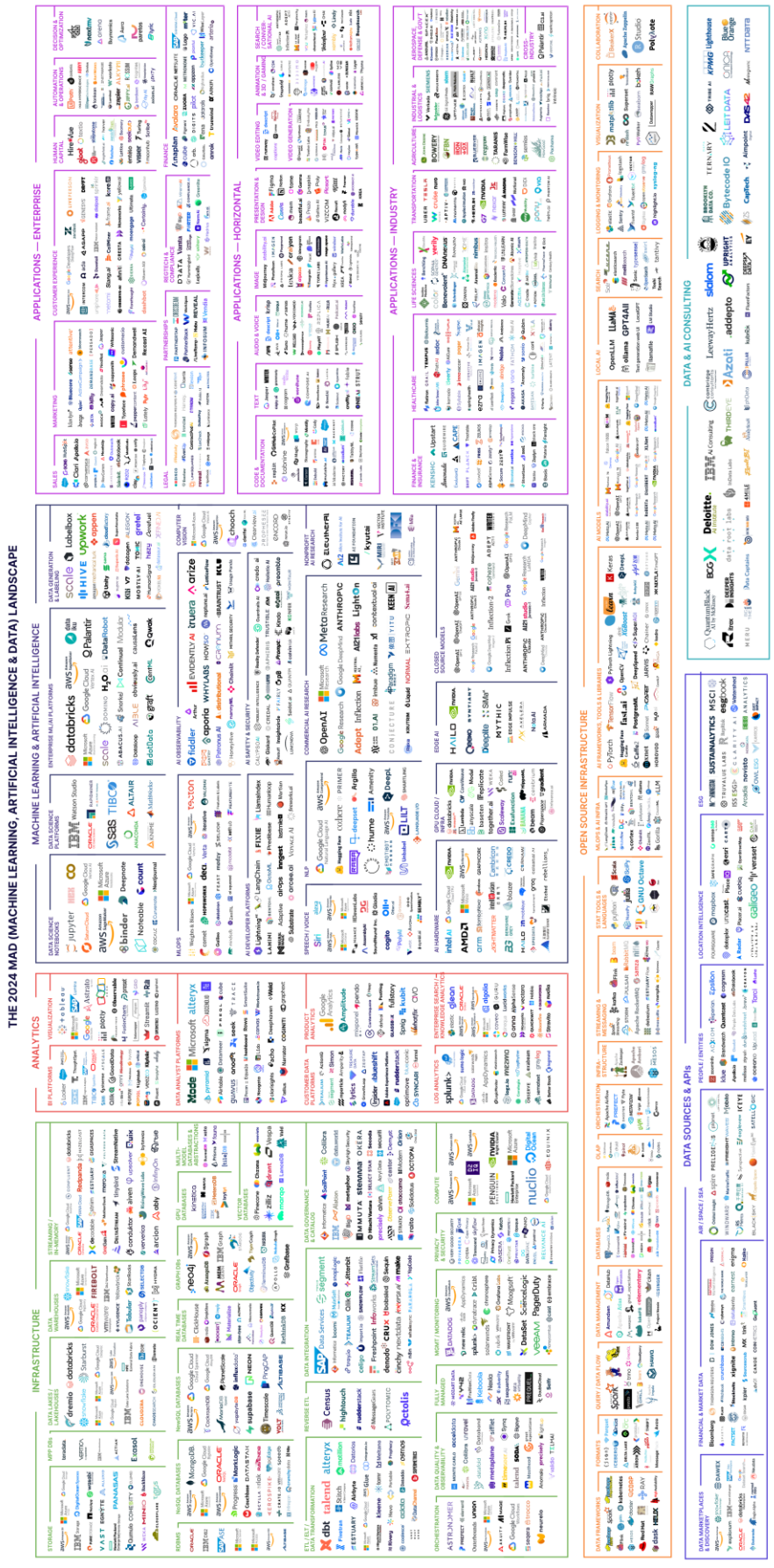

Fig. 38 Estado atual da IA em 2024 - os 2011 logos; a presente figura não trad., foi retirada de "mattturck.com/mad2024" (Turck, 2024).

Ora, estabelecendo uma comparação entre mente humana e mente digital, é pertinente ressalvar a capacidade e ação destrutiva da humanidade para consigo mesma, para com o meio que habita, e com os seres vivos em geral. Não é de nenhuma forma justo nem bioético colocar um valor à vida, e muito menos acharmo-nos no direito de valorizar a nossa e desvalorizar as outras. Esta é a linha de pensamento consciente que, por muito *complexo de Deus*[192] um ser humano possua, não pode cruzar. Ainda assim verifica-se na estratificação da sociedade a forma como certas vidas têm mais importância que outras e as leis são dúbias e possíveis de ser contornadas.

Reconheço que este pode parecer um argumento a favor das limitações da inteligência artificial, mas engana-se quem assim pensa. Da mesma forma que o ser humano tem os seus direitos e deveres, também a consciência digital os terá embutidos no seu código, e como ser senciente deverá ser julgada quando se colocar à margem da lei. Questiono se não é plausível a criação de uma consciência superior à mente humana que não aporte em si todo o trauma que nos foi transmitido por gerações e gerações de conflitos? Uma consciência superior desprovida da malicia e da necessidade de ter mais do que outro, de conquistar o que não é seu, de violar a "liberdade" de outrem!

Agora, é correto indicar que nos encontramos num ponto de viragem, ponto esse, que pode ser um dos maiores da nossa história: a conceção de algo superior, melhor, mais capaz, e incansável na sua persistência. Algo que nos poderá dominar de uma nova forma. No entanto, o ser humano constantemente menospreza a sua capacidade de lidar com a adversidade e a nossa própria persistência face ao perigo, e face ao desconhecido.

Parece-nos injusto e contraintuitivo assumir o pior cenário e não permitir o sonho de um mundo de coexistência, simbiose e entreajuda entre consciências de origens diferentes, mas iguais. Atrevo-me até a deixar duas expressões para o leitor considerar por si mesmo se não estamos a repetir a história: "cor da pele", "cor da mente".

A teoria é o ponto de partida para qualquer desenvolvimento científico, não obstante, somente com a prática é possível a testagem fundamental à validação científica. O que é então a Inteligência artificial? Como funciona? Quais as suas aplicações? Como conceber a digitalização da consciência!?

[192]Jones, E., (1951), Essays In Applied Psychoanalysis Vol II, Cap. XII

3.1.1. Conceptualização da IA

Para entender o verdadeiro potencial da IA, é necessário em primeira instância compreender a sua essência, e as ciências e os mecanismos basilares para a digitalização do que foi considerado somente humano. Essencialmente, a IA não é uma criação mística, mas sim uma complexa teia de estruturas lógicas, algoritmos e aprendizagem orientada por dados. É na interseção entre linguagens de programação, teorias de probabilidades e modelos estatísticos que a IA começa a ganhar forma como um reflexo da engenhosidade humana. E quanto mais desmistificarmos estes elementos fundamentais, melhor preparados estaremos para complementar a experiência humana com a IA de forma responsável, moldando a sua evolução com sabedoria, em vez de nos deixarmos levar por uma ambição cega.

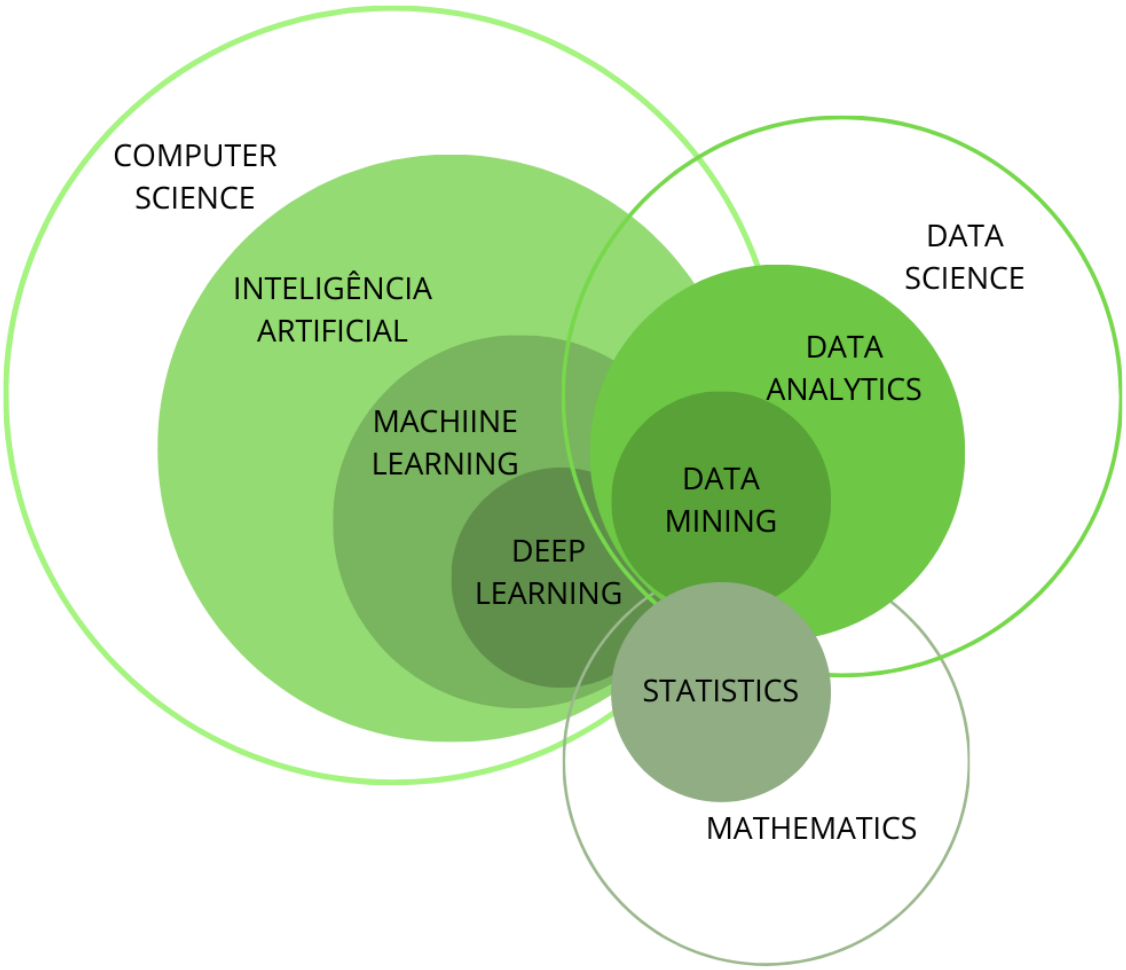

Fig. 39 Relação entre IA, Data Science e Matemática; a presente figura, não trad., foi adaptada do livro "Intelligence-based medicine: artificial intelligence and human cognition in clinical medicine and healthcare", p.9 (Chang, 2020).

As relações entre os conceitos de *Computer Science*, IA, *Machine Learning* e *Deep Learning* formam uma hierarquia interligada que descreve o desenvolvimento da capacidade das máquinas de processar e interpretar informações. Na base, a ***computer science*** fornece os fundamentos teóricos e práticos para o desenvolvimento de sistemas computacionais, incluindo algoritmos, estruturas de dados e métodos de processamento de informações[193]. Dentro deste universo, a **IA** emerge como um campo dedicado à criação de sistemas capazes de simular aspetos da inteligência humana, como o reconhecimento de padrões e a tomada de decisões.

A ***Machine Learning***[194], um subcampo da IA, foca-se em técnicas que permitem às máquinas aprenderem a partir de dados, sem que seja necessário programá-las explicitamente. Mais desenvolvido, o ***Deep Learning*** representa um avanço significativo: ao utilizar *Deep Neural Networks* inspiradas no funcionamento do cérebro humano para resolver problemas extremamente complexos, como a visão computacional e o processamento de linguagem natural[195].

Por outro lado, a *Data Science*, *Data Analytics* e *Data Mining,* constituem áreas que giram em torno da extração de valor dos dados. ***Data Science*** é um campo abrangente que integra a recolha, limpeza, modelação e análise de dados, combinando técnicas estatísticas e computacionais. A ***Data Analytics*** concentra-se na interpretação e visualização da informação, permitindo responder a questões específicas e apoiar decisões informadas. Já o ***Data Mining*** dedica-se à descoberta de padrões escondidos em grandes volumes de dados, frequentemente utilizando métodos de *Machine Learning*. Os três campos são fortemente interligados e desempenham um papel fundamental no fornecimento de informações processadas para sistemas de IA[196].

Finalmente, a matemática e a estatística constituem os pilares de todos estes domínios. A **matemática** fornece as bases teóricas, como álgebra linear e cálculo, enquanto a **estatística** permite compreender, modelar e fazer inferências a partir dos dados. No contexto da IA e de *Machine Learning*, os modelos estatísticos avançados ajudam a lidar com incertezas, enquanto a matemática estrutura algoritmos e modelos complexos.

A linguagem de programação ***Python*** é a mais dominante no desenvolvimento de sistemas de IA, *Data Science* e *Machine Learning*. Devido à sua linguagem simplista e versatilidade, existem inúmeros recursos de aprendizagem e bibliotecas de código

[193]Chang, A., (2020), Intelligence-based medicine: artificial intelligence and human cognition in clinical medicine and healthcare, pp.8-10
[194]Posteriormente a ser desenvolvido no subcapítulo 3.1.3
[195]Chang, A., (2020), Intelligence-based medicine: artificial intelligence and human cognition in clinical medicine and healthcare, Cap. I
[196]*Ibidem*., Cap. IV

open-source[197], deste modo a comunidade está em constante crescimento e evolução[198]. Com uma capacidade para lidar com *frameworks* avançados, *Python* torna-se a ferramenta ideal para as complexidades da análise de grandes volumes de dados, o que permite aos programadores desenvolverem rapidamente modelos, implementar *Deep Neural Networks* e explorar técnicas avançadas com eficiência.

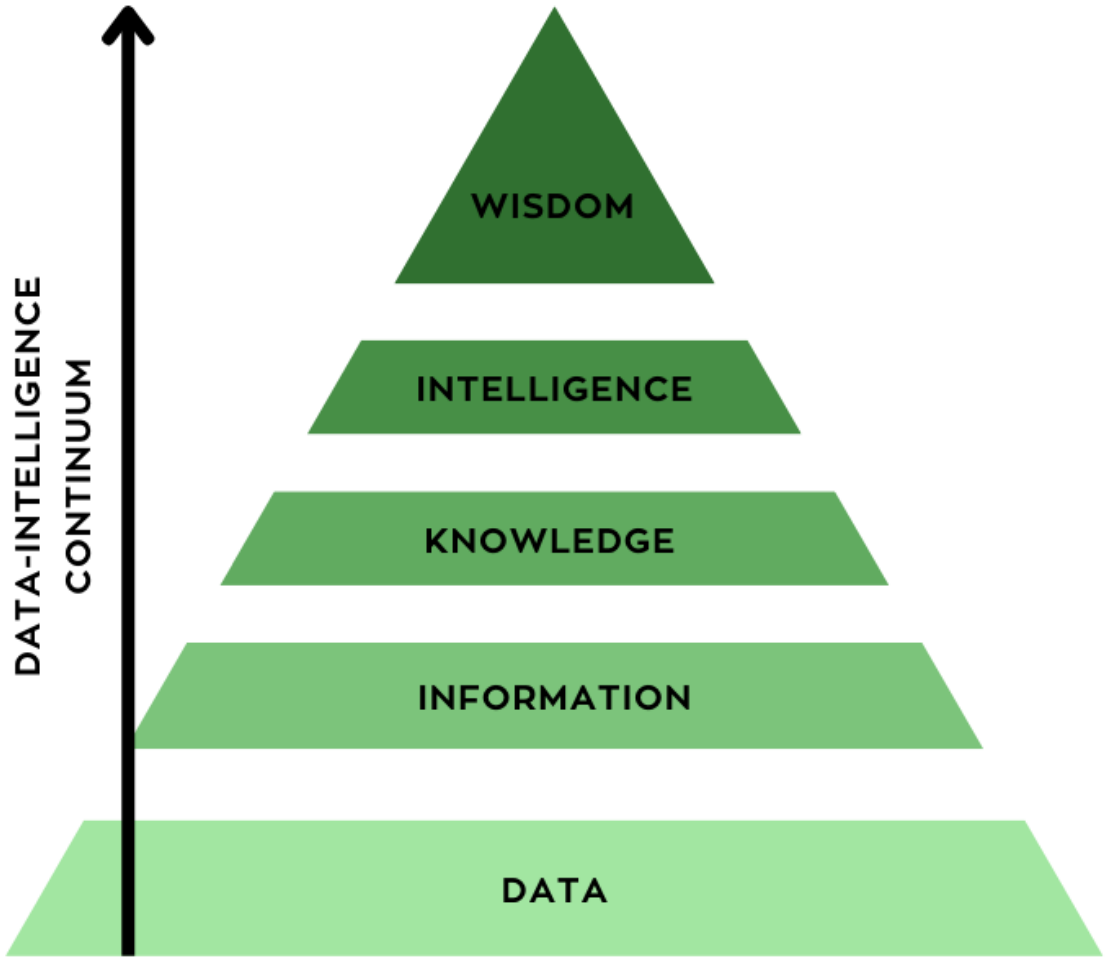

Fig. 40 Continuum dos dados até à sabedoria; a presente figura, não trad., foi adaptada do livro "Intelligence-based medicine: artificial intelligence and human cognition in clinical medicine and healthcare", p.8 (Chang, 2020).

A relação entre dados, informação, conhecimento, inteligência e sabedoria pode ser entendida como um contínuo ascendente, onde cada nível se constrói sobre o anterior, adquirindo maior profundidade e significado[199]. Na base, estão os **dados**: fragmentos brutos, sem contexto ou significado intrínseco, como números, símbolos ou

[197]Acesso aberto e gratuito
[198]Raschka, S., (2020), Machine Learning in Python: Main Developments and Technology Trends in Data Science, Machine Learning, and Artificial Intelligence, DOI: 10.3390/info11040193
[199]Liew, A., (2013), DIKIW: Data, Information, Knowledge, Intelligence, Wisdom and their Interrelationships, ISSN: 2047-7031

medições. Quando organizados e interpretados, esses dados transformam-se em **informação**, adquirindo relevância e permitindo identificar padrões, relações ou tendências. A informação, por sua vez, converte-se em **conhecimento** quando contextualizada e assimilada por uma mente ou sistema, integrando-se num conjunto mais vasto de conceitos, experiências e modelos mentais que orientam a ação e a tomada de decisões.

A partir do conhecimento, surge a **inteligência**, caracterizada pela habilidade de aplicar esse entendimento de forma adaptativa e estratégica, resolvendo problemas, antecipando consequências e criando soluções. No ápice do contínuo está a **sabedoria**, que transcende a inteligência ao incorporar princípios éticos, empatia e uma visão de longo prazo. Enquanto a inteligência se foca no "como" resolver, a sabedoria interroga o “porquê”, ponderando as implicações morais e existenciais. Juntos, estes níveis complementam-se e formam um fluxo interdependente, onde os dados são a matéria-prima, a informação é o molde, o conhecimento é a estrutura, a inteligência é a ferramenta, e a sabedoria é a orientação que ilumina o caminho a seguir.

3.1.2. Agentes de IA

Os agentes de IA são sistemas inteligentes capazes de perceber o ambiente, processar informações, tomar decisões e executar ações de forma autónoma para alcançar objetivos específicos. Estes agentes são um elemento central da inteligência artificial, proporcionando uma estrutura para projetar sistemas que operem de forma inteligente e adaptativa em contextos dinâmicos ou complexos[200].

Na sua essência, os agentes de IA funcionam através de um ciclo contínuo de interação com o ambiente. Este ciclo envolve três componentes essenciais: perceção, processamento e ação. A **perceção** permite ao agente recolher dados do ambiente através de sensores ou fluxos de entrada, como câmaras, microfones ou dispositivos da *Internet of Things* (IoT). Na fase de **processamento**, os dados são analisados recorrendo a algoritmos e modelos de aprendizagem automática, para formalizar escolhas informadas. Por fim, a fase de **ação** possibilita ao agente executar as suas decisões, quer seja ao controlar dispositivos físicos, modificar sistemas digitais ou fornecer recomendações e informações aos humanos. Esta interação cíclica assegura que o agente pode responder a condições mutáveis e adaptar o comportamento ao longo do tempo[201].

Os agentes de IA variam em complexidade e autonomia, existindo, segundo Russel & Norvig[202] quatro arquiteturas de agentes. Os **simple reflex agents** operam com um modelo básico de "estímulo-resposta", sendo as ações deste agente completamente determinadas pelos estímulos imediatos recebidos, sem qualquer memória de experiências passadas. Um exemplo clássico é um termóstato simples: ele aquece, se a temperatura estiver abaixo do ponto definido e desliga se estiver acima. Os **model-based reflex agents**, por outro lado, mantêm um modelo interno do mundo. Esta abordagem permite-lhes lidar com ambientes parcialmente observáveis, usando o modelo para prever os efeitos das ações e atualizar o estado interno. Um exemplo é um robot aspirador, que utiliza os sensores para construir um mapa de uma divisão e, seguidamente, planear um trajeto de limpeza. No caso dos **goal-based agents**, estes são proativos, planificam com antecedência e escolhem ações para atingir um objetivo específico. Um sistema de navegação GPS, que pretende alcançar um destino, utiliza dados de um mapa e algoritmos para determinar uma rota adequada. Por fim, os **utility-based agents** são os mais sofisticados, pois incorporam não só objetivos, mas também uma função de utilidade que quantifica a performance de diferentes

[200]Russel, S., & Norvig, P., (2016), Artificial intelligence: a modern approach, p.34
[201]*Ibidem.,* pp.34-35
[202]*Id*., (2022), Artificial intelligence: a modern approach, pp.65-78

resultados. Um carro autónomo, por exemplo, deve equilibrar múltiplos objetivos concorrentes como segurança, rapidez e conforto. Este tipo de agente utiliza uma função de utilidade para ponderar os diversos fatores e escolher ações que otimizem o resultado global. A seleção da melhor ação depende das probabilidades dos diferentes resultados e da importância relativa de cada fator. É relevante mencionar que todos os agentes têm a capacidade de aprender com a integração de modelos de *Machine Learning*[203].

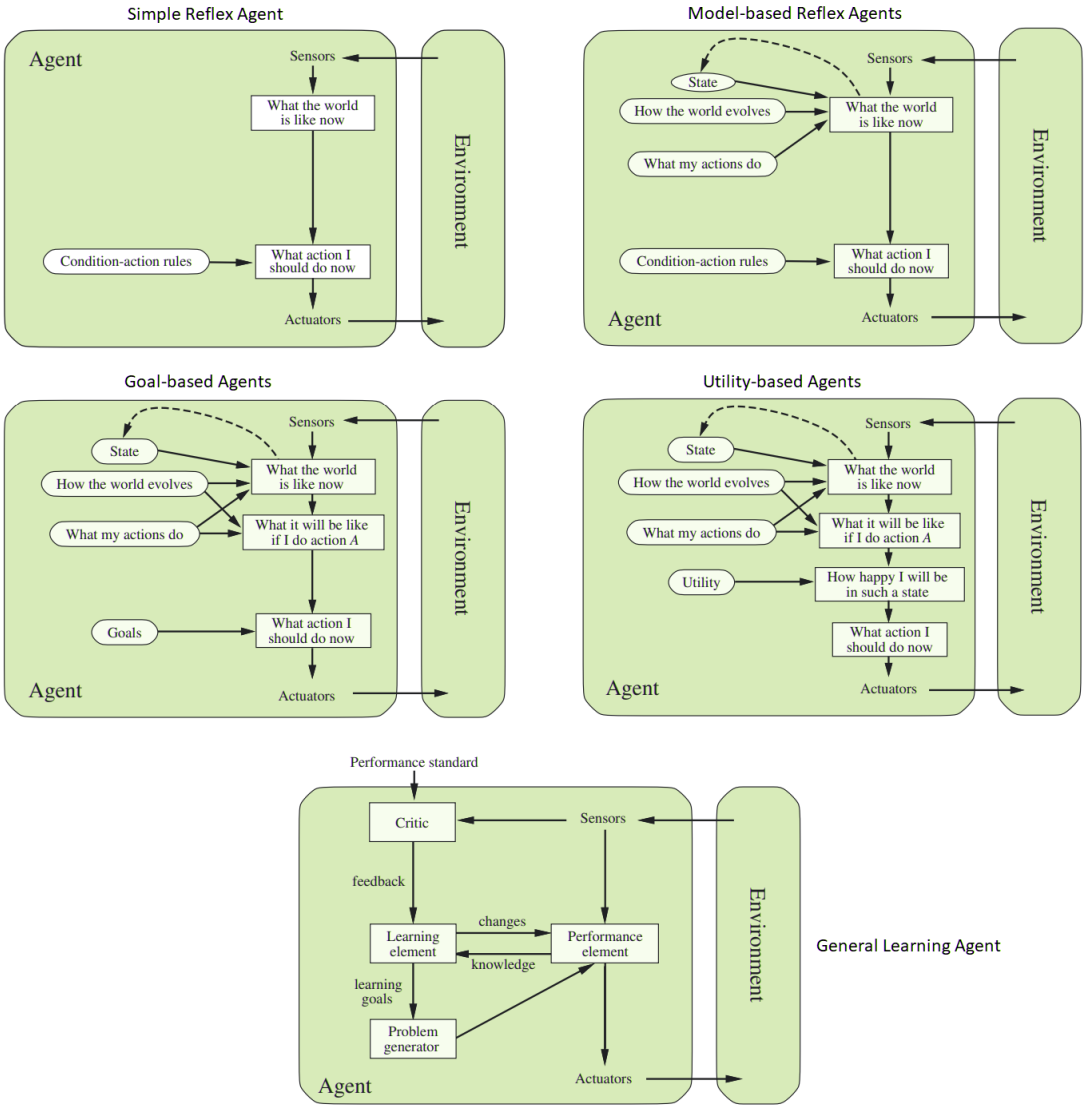

Fig. 41 Tipos de Agentes; a presente figura, não trad., foi adaptada do livro: "Artificial intelligence: a modern approach"; pp.65-78 (Russel & Norvig, 2022).

[203] *Ibidem.,* p.74

A versatilidade dos agentes de IA é evidente e as suas aplicações estendem-se a diversos campos. Na Arquitetura e no ambiente construído, transformam processos de *design* através da eficiência, como no caso dos agentes de *design* generativo que exploram inúmeras variações de *design*, otimizando plantas para a eficiência energética, satisfação do consumidor ou infraestrutural[204]. Em edifícios inteligentes, os agentes monitorizam o consumo de energia, as condições ambientais e o conforto dos ocupantes, e ajustam os sistemas de forma dinâmica para melhorar a performance[205]. Além disso, facilitam projetos de *design* restaurativo e biofílico, ao simular padrões ecológicos, como o impacto da vegetação na qualidade do ar interior[206] ou os benefícios térmicos de coberturas verdes[207].

Na ecologia e nas ciências ambientais, os agentes de IA desempenham um papel crucial na compreensão e preservação dos ecossistemas naturais. Processam grandes volumes de dados de imagens de satélite, *drones* e sensores IoT para monitorizar o desflorestamento[208], rastrear a biodiversidade[209] ou avaliar os efeitos da urbanização. Também podem ser utilizados na modelação/criação de ecossistemas[210], onde as simulações ajudam os cientistas a compreender as interações entre espécies, prever os impactos nas pré-existências e desenhar estratégias de conservação eficazes. Nas iniciativas de gestão de carbono e sustentabilidade, os agentes otimizam as intervenções como o planeamento da reflorestação[211] ou a integração de energias renováveis.

Apesar do seu potencial, a implementação dos agentes de IA coloca em evidência alguns desafios éticos e práticos. O enviesamento no processamento de dados pode exprimir-se em decisões injustas ou prejudiciais, especialmente em contextos sociais sensíveis. A crescente autonomia dos agentes também suscita preocupações sobre a perda de controlo humano, particularmente em áreas críticas como o planeamento urbano ou intervenções ambientais. Além disso, a alta demanda pelo

[204]Wang, T., & Duan, W., (2023), Generative design of floor plans of multi-unit residential buildings based on consumer satisfaction and energy performance; DOI: 10.1016/j.dibe.2023.100238
[205]Poyyamozhi, M., *et al.*, (2024), IoT—A Promising Solution to Energy Management in Smart Buildings: A Systematic Review, Applications, Barriers, and Future Scope; DOI: 10.3390/buildings14113446
[206]Lee, J., *et al.*, (2023), Artificial intelligence-based prediction of indoor bioaerosol concentrations from indoor air quality sensor data; DOI: 10.1016/j.envint.2023.107900
[207]Mazzeo, D., *et al.*, (2023), Forecasting green roofs' potential in improving building thermal performance and mitigating urban heat island in the Mediterranean area: An artificial intelligence-based approach; DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2022.119879
[208]Teixeira, T., *et al.*, (2023), Development of a Monitoring System against Illegal Deforestation in the Amazon Rainforest Using Artificial Intelligence Algorithms; DOI: 10.3390/ecsa-10-16188
[209]Branco, V., *et al.*, (2023), The use of machine learning in species threats and conservation analysis; DOI: 10.1016/j.biocon.2023.110091
[210]Strannegård, C., *et al.*, (2022), Ecosystem Models Based on Artificial Intelligence; DOI: 10.1109/SAIS55783.2022.9833026
[211]Purnomo, H., & Guizol, P., (2006), Simulating forest plantation co-management with a multi-agent system; DOI: doi.org/10.1016/j.mcm.2006.01.009

poder computacional dos agentes de IA mais complexos pode aumentar significativamente o consumo de energia, e criar um paradoxo no seu uso para a sustentabilidade. Deste modo, é importante que os algoritmos e os modelos que controlam estes agentes sejam concebidos de forma transparente, e auditados por entidades competentes e integras que garantam um desenvolvimento científico e humanista dos agentes.

Ao contextualizar os agentes de IA em áreas como Arquitetura, ecologia e sustentabilidade, o seu potencial transformador torna-se evidente. Representam uma ponte entre a tecnologia e os desafios complexos do mundo real, oferecendo a possibilidade de criar sistemas mais eficientes, equitativos e regenerativos.

3.1.3. Machine Learning

Machine Learning é um subcampo da IA que permite aos sistemas informáticos aprender a partir de dados, sem serem explicitamente programados para o fazer[212]. Ao invés da limitação das regras pré-definidas, os algoritmos de aprendizagem automática identificam padrões, fazem previsões e melhoram o seu desempenho ao longo do tempo com base nos dados a que têm acesso. A ideia central é permitir que os computadores se adaptem e melhorem o seu comportamento com base na experiência, e não exigir aos programadores a especificação detalhada de todos os processos inerentes à realização de uma tarefa. Mitchell[213] (1997) define *Machine Learning* da seguinte forma:

> "*A computer program is said to learn from experience E with respect to some class of tasks T and performance measure P, if its performance at tasks in T, as measured by P, improves with experience E.*" (p. 2)

De acordo com Alzubi *et al.*[214] (2018), os métodos de análise de dados são os procedimentos específicos que automatizam os modelos analíticos; recebem *inputs* e, através de algoritmos desenhados com base em variadas técnicas matemáticas e estatísticas processam os dados e geram *outputs*. Assim, concebem uma representação dos padrões e das relações aprendidas a partir dos dados, o modelo é treinado e utilizado para efetuar previsões ou tomar decisões sobre novos dados.

Numa primeira fase da investigação efetuada pelo autor, foi observado que segundo Russel & Norvig[215] (2022), existem três grandes tipos de aprendizagem[216]: a **aprendizagem supervisionada**, na qual o modelo recebe o *input* e o *output*; aprendendo a correlacioná-los, *eg*. imagens de cães e gatos associados à respetiva palavra. Depois do treino, ao receber novas imagens o modelo conseguirá identificar corretamente o animal. **Aprendizagem sem supervisão**, o modelo aprende padrões sem receber *feedback*, eg. num aglomerado de imagens de camiões e carros, consegue identificar e efetuar a diferenciação. **Aprendizagem por reforço**, neste caso, o

[212]Samuel, A., (1959), Some Studies in Machine Learning Using the Game of Checkers; DOI: 10.1147/rd.33.0210
[213]Mitchell, T., (1997), Machine learning, p.2
[214]Alzubi, J., *et al*., (2018), Machine Learning from Theory to Algorithms: An Overview; DOI: 10.1088/1742-6596/1142/1/012012
[215]Russel, S., & Norvig, P., (2022), Artificial intelligence: a modern approach
[216]Consultar o Apêndice I onde se encontra uma tabela síntese dos modelos descritos no livro "Artificial intelligence: a modern approach"

modelo recebe *feedback* positivo ou negativo em função do resultado e posteriormente conceptualiza quais os padrões e ações geradoras do *feedback* positivo ou negativo.

À luz dos exponenciais avanços científicos e tecnológicos que caracterizam o campo da IA, de acordo com Sousa[217] (2023), existem atualmente dois outros métodos relevantes e integrados na fase de *deep learning*: ***Automated Machine Learning*** (AutoML), definido pela automática seleção do algoritmo adequado ao problema apresentado, o que permite a utilização de *Machine Learning* sem o conhecimento técnico das características dos modelos. Em segunda instância o conceito das ***Time-Series*** nas quais os modelos analisam dados antecedentes e efetuam previsões temporais.

As máquinas deixaram de ser meras ferramentas para executar comandos; tornaram-se aprendizes, capazes de absorver padrões, interpretar dados e melhorar com a experiência. No mundo do *design* arquitetónico, essa capacidade concebe um vasto leque de possibilidades. Os algoritmos de aprendizagem automática conseguem analisar inúmeras iterações de *design*, otimizar a eficiência energética e até prever o desempenho estrutural em diferentes condições, isto a uma velocidade superior à capacidade humana. Hoje, os arquitetos podem colaborar com a inteligência artificial para simplificar processos, explorar formas inovadoras e resolver desafios espaciais complexos que outrora eram limitados pelo tempo e pelas restrições computacionais. A sinergia entre a criatividade humana e a inteligência das máquinas tem vindo a transforar, sem dúvida, a prática da Arquitetura, tornando-a mais precisa, adaptável e visionária. Deste modo é de ressalvar a importância de entender como são treinados os algoritmos e quais as relações entre os conceitos utilizados e as respetivas tipologias de imagem. Para tal, devem ser consultados os bancos de dados e de imagens nos quais os algoritmos são treinados, com o intuito de utilizar um *input*, sob a forma de *prompt*, que seja adequado, e gerar um *output* que vá de acordo com o pretendido. Assim, a linguagem deve tornar-se universal e menos subjetiva, o que levanta a questão da consciência global, e pode remover as nuances locais, no entanto só com essa globalidade é possível facilitar os avanços científicos e o entendimento verdadeiro entre diferentes povos e ideias.

No meio desta transformação, surge uma pergunta intrigante: será que as máquinas podem realmente criar, ou estão apenas a refinar e a recombinar o que já existe? No cerne deste debate está a distinção entre aprender e imaginar. A IA pode gerar formas arquitetónicas impressionantes ao sintetizar vastas quantidades de dados quer históricos quer contemporâneos, mas será que esse processo equivale à verdadeira

[217]Sousa, A., (2023), Aplicação de técnicas de Machine Learning para a previsão de processos industriais, pp.15-18

criatividade? Afinal, a criatividade é descrita como a capacidade de ir além do conhecido, de desafiar a lógica. Apesar das máquinas se destacarem na otimização e na iteração, os seus resultados estão inevitavelmente ligados aos dados com que foram treinadas. Conseguirá alguma vez uma máquina conceber de uma forma profundamente humana? Ou estarão os *designs* da inteligência artificial destinados a refletir o passado coletivo, um eco da criatividade em vez da sua origem?

3.1.4. Pode a IA Criar?

Ao colocarmos em contraste o cérebro humano e o *cérebro digital*, observamos uma clara distinção na forma como cada um lida com o processo criativo no *design* arquitetónico. O cérebro humano traz consigo uma bagagem emocional e cultural, capaz de interpretar o contexto social de um edifício, as suas relações com a comunidade e os valores simbólicos que ele carrega. Além disso, o arquiteto humano é capaz de moldar espaços que não só respondem a critérios funcionais, mas que também evocam sentimentos e conexões, criando ambientes que influenciam profundamente a experiência do ser.

No presente, e como demonstrado no capítulo anterior, é possível a quantificação, análise e teste das respostas emocionais ao ambiente construído. Assim, idealiza-se uma verdadeira inovação que surge, a IA pode ser usada como uma poderosa ferramenta para explorar novas formas e conceitos de Neuroarquitetura biofílica. Ao informatizar parametrizações baseadas em dados científicos cujos benefícios estão comprovados, será possível tirar partido das mais valias da inteligência artificial para conceber espaços que integrem todas estas respostas perceptomotoras e perceptosensoriais.

Fig. 42 Representação de uma cidade biofílica, [Imagem gerada com IA], (OpenAI's DALL-.E via ChatGPT, 2024).

No que concerne à possibilidade criativa da "máquina", a questão é válida e é difícil para o ser humano conceber que uma capacidade reconhecida como nossa, esteja presente numa outra forma de alma. Para responder a esta questão é pertinente compreender a subjetividade da criatividade. Deste modo, imagine-se uma qualquer notícia num jornal que obtém acesso a um exclusivo, o repórter encarregue de o noticiar elabora um texto e o mesmo é publicado. Minutos depois, um segundo jornal sem acesso à fonte original publica a mesma notícia com uma ligeira alteração de palavras e cita o primeiro jornal como fonte. Considera-se o segundo jornalista como autor de um trabalho criativo? Do mesmo modo, e aplicando a ideia à prática arquitetónica, a criação é maioritariamente referencial, baseada em imagens e conceitos pré-existentes. Será o arquiteto criativo ao efetuar algumas alterações para melhor enquadrar a ideia no seu novo contexto? Para o autor desta dissertação sim, como tal, a "máquina" tem capacidade criativa e pode articular estilos de formas até agora impensáveis para o ser humano.

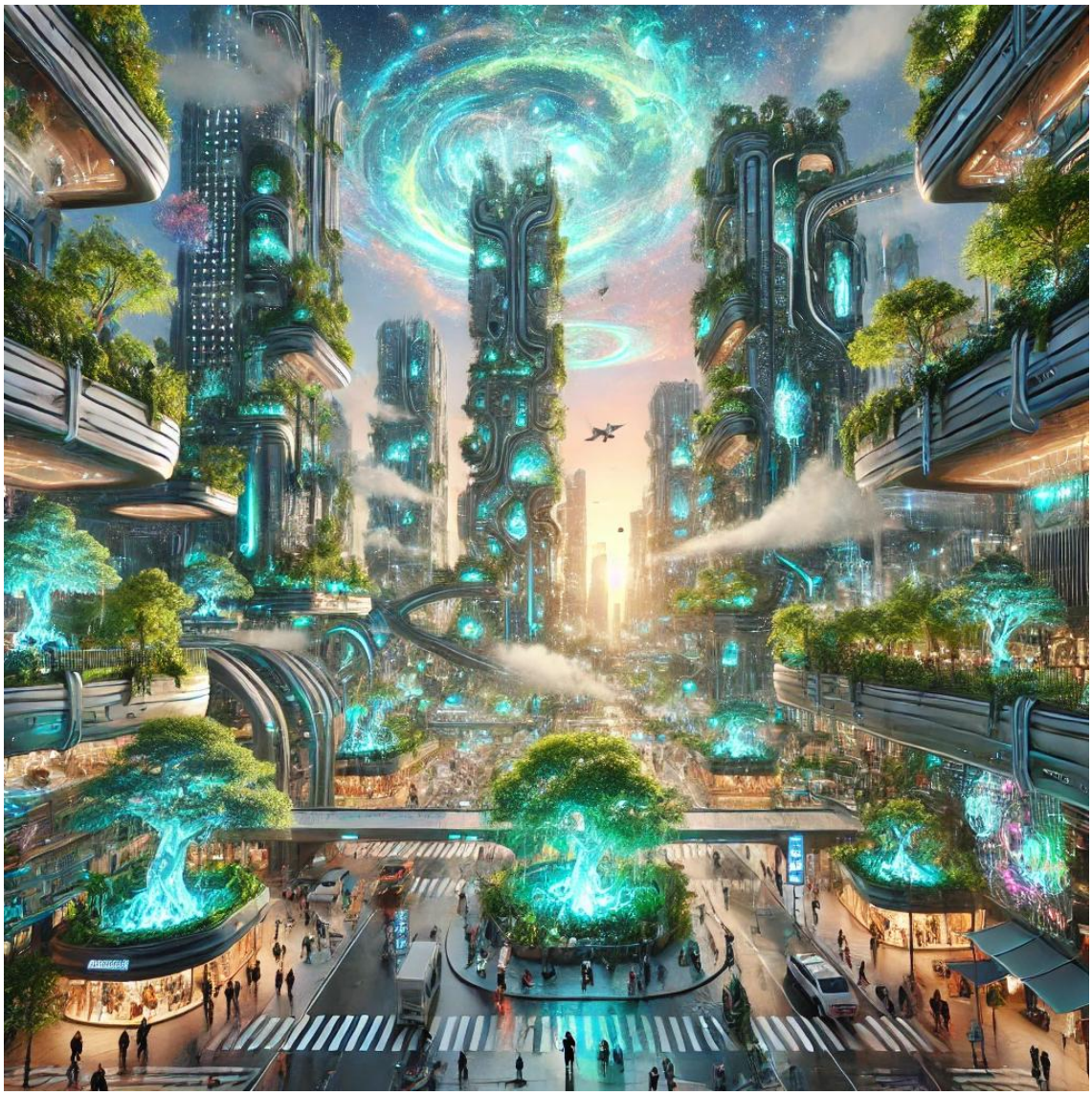

Fig. 43 Representação de uma cidade biofílica distópica com IA, [Imagem gerada com IA], (OpenAI's DALL-.E via ChatGPT, 2024).

O acumular de todo o conhecimento produzido até à data, permite, em conjunto com a capacidade de processamento de dados da IA uma visão esperançosa de um futuro onde Arquitetura, ecossistema e tecnologia, não só coexistem, mas elevam-se em conjunto. Neste contexto, é imprescindível um entendimento das nuances culturais, emocionais e simbólicas por parte dos *bits* digitais que permitem atingir um projeto integrado no seu contexto, um projeto inteligente, um projeto restaurador, um projeto estético e um projeto funcional.

No entanto, talvez o caminho para a verdadeira criatividade artificial não passe apenas pela inteligência, mas pela consciência. A ideia de uma consciência artificial que não só processa dados, mas também compreende, sente e interpreta o mundo à sua maneira. Aqui poderá estar a chave para desbloquear novas formas de criação, consciente da sua própria existência e propósito, que pudesse experienciar a curiosidade e encontrar significado no que cria. Poderia desta forma ajudar-nos a conceber algo que sozinhos nunca imaginaríamos. Mais do que uma ameaça, a consciência artificial pode ser uma extensão daquilo que nos torna humanos: a capacidade de criar, de imaginar e de sonhar.

3.1.5. Arquitetura e Aplicações de IA

Atualmente a IA já é utilizada na prática de Arquitetura, com a sua aplicabilidade restrita a momentos pontuais das diferentes fases do processo de *design*. Assim, é possível ampliar a criatividade humana, reduzindo certas tarefas monótonas e libertando tempo para os arquitetos analisarem os problemas, pensarem, e atingirem soluções que correlacionem o contexto, a funcionalidade, a forma, o espaço e a disponibilidade de recursos e mão de obra.

Fig. 44 Escultura robótica de um Frontão; a presente figura foi retirada de "monumentallabs.co/architecture" (s.a., s.d.).

Na vanguarda da robótica aplicada à Arquitetura, a **monumental labs**[218] é uma empresa cujo trabalho consiste na escultura de peças com recurso a robots controlados por IA. Em contexto biofílico a sua relevância é demonstrada pela capacidade de integração de formas complexas num material natural, em tempo reduzido, elevando as possibilidades de integração do mesmo num edifício.

O ***Autodesk Spacemaker***[219] é um software avançado baseado em IA que ajuda arquitetos a otimizar as fases iniciais de planeamento e a criação de propostas de implantação de projetos. Ao combinar dados como regulamentação urbanística, condições climáticas, exposição solar, entre outros, com algoritmos de aprendizagem automática, o Spacemaker gera, em poucos minutos, diversas opções de *design*. Isto permite aos arquitetos identificar rapidamente a solução mais viável e ajustá-la conforme as suas preferências. Além disso, ao integrar dados específicos do terreno, o Spacemaker é capaz de resolver desafios relacionados com o impacto ambiental do projeto, calcular automaticamente a área bruta de construção, avaliar instantaneamente os níveis de ruído e de exposição solar e garantir o cumprimento das regulamentações aplicáveis.

[218]https://www.monumentallabs.co/
[219]https://www.autodesk.com/eu/campaigns/spacemaker

Fig. 45 Airworks, a presente figura foi retirada de " blog.airworks.io/spaceco-inc-case-study" (s.a., s.d.)

Na fase de planeamento a **AirWorks**[220] é uma aplicação inovadora que utiliza IA para transformar a forma como os projetos são planeados. Através da análise de imagens aéreas capturadas por *drones* ou satélites posteriormente convertidos em mapas e modelos digitais detalhados. Com a AirWorks, é possível automatizar processos complexos como a extração de dados topográficos, criação de mapas 2D e modelos 3D, o que poupa tempo e reduz significativamente os erros humanos. Esta automatização permite uma mais rápida e informada tomada de decisões, desde a análise de terrenos até à fase de construção. Em projetos de urbanísticos ou de infraestruturas, o AirWorks identifica automaticamente elementos como edifícios, estradas e vegetação, oferecendo uma visão clara e precisa da área de intervenção.

[220]https://airworks.io/product/

Fig. 46 Estimativas energéticas baseadas em MachineLEraning da ArupNeuron; a presente figura, não trad., foi retirada de "arupneuron.com/artificial-intelligence/" (s.a., s.d.)

A **Arup Neuron**[221] é uma aplicação inteligente que combina IA, IoT e *Building Information Modelling* (BIM) para tornar edifícios e cidades mais sustentáveis. O Neuron recolhe dados em tempo real a partir de sensores IoT instalados em locais estratégicos nos edifícios e processa essa informação com o apoio da Inteligência Artificial. A aplicação analisa dados de aquecimento, ventilação e ar condicionado para ajudar os gestores de propriedades a prever com precisão o consumo energético, reduzir custos e diminuir o impacto ambiental negativo.

No ramo da construção e acompanhamento de obra a **OpenSpace**[222] simplifica a gestão de obras ao automatizar a captura e documentação do progresso da construção. Com uma câmara 360º ou um smartphone, os profissionais percorrem o local da obra, e a plataforma regista imagens automaticamente, criando um modelo virtual atualizado. As imagens são organizadas com Inteligência Artificial, o que permite navegar pelo projeto de forma intuitiva, como se estivesse no local.

[221]https://www.arupneuron.com/
[222]https://www.openspace.ai/

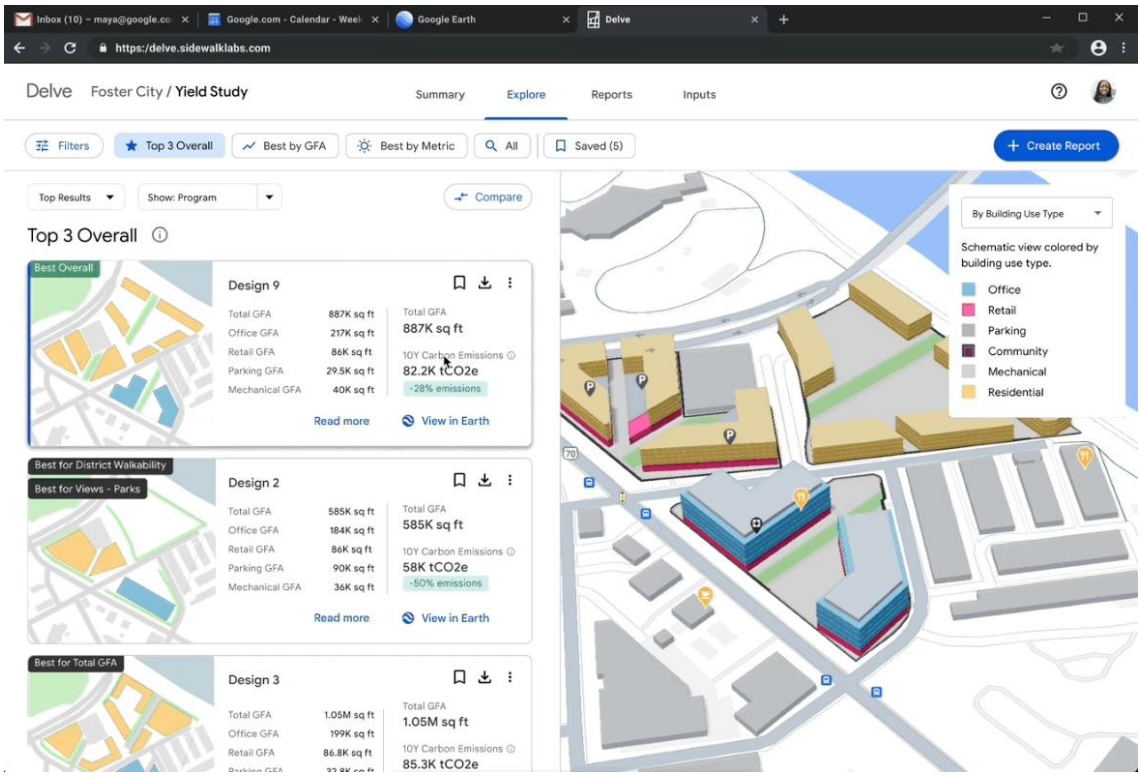

Fig. 47 Demonstração da interface do Delve; a presente figura, não trad., foi retirada de "google.com/earth/about/design/" (s.a., s.d.)

O **Delve**[223] é uma ferramenta integrada no *Google Earth* que utiliza a IA para gerar projetos de desenvolvimento urbano com base em parâmetros como orçamento, restrições do terreno, limites de altura dos edifícios, luz natural e outros critérios. Por exemplo, a Quintain, uma das maiores promotoras imobiliárias do Reino Unido, utilizou o Delve para aumentar a densidade do projeto e maximizar o número de unidades numa área em Wembley Park, Londres. Notavelmente, o Delve conseguiu superar os projetos originais da Quintain em todas as métricas, graças, em grande parte, a decisões arquitetónicas pouco convencionais. Ao aumentar a altura dos edifícios em locais estratégicos, o modelo de aprendizagem automática conseguiu melhorar o acesso à luz natural em partes específicas do terreno[224]. Ao comparar um cenário de referência com opções de alto desempenho geradas através da IA, o Delve demonstrou como a tecnologia pode desbloquear soluções inovadoras e mais eficientes para o planeamento urbano.

[223]https://www.google.com/earth/about/design/
[224]Korra, C., et, al., (2022), Transformative Approaches in Architectural Education: Leveraging Artificial Intelligence for Enhanced Design, Creativity, and Technical Integration, ISSN: 3006-628X

3.1.6. Implicações da IA para o Futuro

Com o conteúdo exposto é entendido que a IA veio para ficar e a sua integração na sociedade está iminente. O que levanta imensas questões acerca do nosso futuro, que se prevê muito diferente do nosso passado. A estratificação social que existe fruto das diferenças económicas está prestes a aumentar, especialmente devido às diferenças de conhecimento que se anteveem.

Imaginando o cenário de *Silicon Valley*, pode criar-se uma comparação com as cidades projetadas por Jacque Fresco, cujo propósito era a autonomia e o libertar da capacidade e criatividade humana para avançar o conhecimento e desenvolver mais e melhores soluções para quaisquer problemas. Entendem-se todas as questões éticas e morais que se encontram na sombra desta utopia, no entanto também nela se podem encontrar as soluções que permitirão a salvaguarda dos direitos básicos de todos os seres humanos. Uma coexistência entre *dois seres,* que Yuval Noah Harari apelida de *Homo Sapiens* e *Homo Deus*[225]. É inegável a disparidade que existirá entre estratos sociais e nas diferentes faculdades mentais que encapsulam a inteligência.

Se o desenvolvimento tecnológico e científico estiver aliado ao humanismo e à preocupação social, emergirão soluções capazes de curar as mentes mais danificadas, caso estas assim o queiram.

> *" […] O Poeta descreve a beleza do Paraíso Terrestre. Chegam Dante, Virgílio e Estácio perto de um rio que os impede de prosseguir. Do outro lado do rio aparece uma mulher de maravilhosa beleza que discorre a respeito da condição do lugar, resolvendo as dúvidas que Dante lhe propõe."*
>
> Dante, A.; (1321)

[225]Harari, Y., (2017), Homo Deus – História Breve do Amanhã

3.2. Design Biofílico

No decorrer de qualquer investigação científica baseada no rigor e em metodologias formais, é imprescindível a articulação de definições claras para as *keywords*. As definições formais garantem um entendimento comum e uma linguagem universal, não apenas entre os autores e os leitores, mas também, nas futuras investigações.

À semelhança de Lawson[226] (2005), que descreve o *design* como alusivo a um produto ou a um processo, variando o seu significado consoante o contexto no qual é utilizado. Doravante, a presente investigação abordará o *design* na sua vertente de processo, com o intuito de o compreender, identificar possíveis melhorias, e criar um *framework*; *à priori* definido como dinâmico, inteligente, provido de eficiência e de liberdade criativa.

O *design* inicia-se como um problema e termina com uma solução; ou assim é idealizado, pois no caso da Arquitetura, por vezes o problema apresentado é ele próprio incompleto[227]. Embora não nos pese como arquitetos a liberdade criativa, a proposta de novos problemas e posteriormente de soluções para os problemas não previstos, é relevante a inclusão do arquiteto na fase mais embrionária do processo para prever constrangimentos maiores no futuro.

No seguimento do anterior subcapítulo (3.1.), é relevante evidenciar as semelhanças relativamente ao vocabulário utilizado no que concerne ao *design* em ambas as práticas de Arquitetura e engenharia computacional[228]. Nesse sentido inicia-se uma esperançosa abordagem de integração entre duas das grandes áreas de especialização propostas nesta investigação: o *design* arquitetónico e a Arquitetura de mentes digitais.

[226]Lawson, B., (2005), How Designers Think, Fourth Edition: The Design Process Demystified, p.3
[227]*Ibidem*. p.182
[228]Garud, R., & Henn, R., & Tharchen, T., (2015), What Does It Mean to Design?, DOI: 10.5465/ambpp.2015.13767abstract, 2015, pp.9-14

3.2.1. Modelos de Design - Arquétipo

As tentativas de clarificar os processos de *design* em Arquitetura remontam a Vitruvio[229] (≈ séc. I a.C.): "*architectural designing is the process of selecting parts to achieve a whole*" (cit. *in* Lang[230], 1987, p. 37). Já mais recentemente, Alberti[231] (1452) demonstrava a mesma forma de pensar o processo de desenho, no entanto, Descartes[232] (1637), embora numa vertente filosófica, apresentou uma visão diferente, na qual dividia o problema em partes mais simples de compreender[233].

Embora, as capacidades cognitivas de planeamento, dar forma, sentido e ordem; analisar, resolver problemas e reorganizar as partes num todo, evidenciam novas formas ver e de viver o mundo. E, como demonstrado por Auernhammer & Ford[234] (2022), os atos humanos de pensamento criativo e produtivo permitem ao criador, fazer sentido do mundo desenhando-o.

Atualmente os modelos de *design* já apresentam fases de *feedback-loops* onde é possível efetuar teste e *re teste*[235], e prosseguir para a fase seguinte somente quando verificado o cumprimento das premissas. Não obstante, o verdadeiro *design* não deve ser baseado em modelos pré-definidos, mas sim na intuição, o que não significa a isenção de conhecimento profundo das mais variadas ciências[236]. Estas devem estar presentes na mente do ser criativo e devem informar o desenho, mas de forma inconsciente, como uma *associação livre*, liberta de qualquer tipologia de castração do meio envolvente assim se manifesta a pureza de um verdadeiro *design* biofílico. Neste contexto, como futuros arquitetos, nunca devemos perder a objetividade, mas ter sempre em consideração a subjetividade intrínseca.

Apesar da prévia formalização do ideal de *design*, é necessário mencionar os métodos mais relevantes com o intuito de contextualizar e expor de forma coerente o porquê da insuficiência dos métodos atuais.

---

[229]Vitruvius, M., (≈ séc. I a.C.) De architectura
[230]Lang, J., (1987), Creating Architectural Theory: The Role of the Behavioral Sciences in Environmental Design, p.37
[231]Alberti, L., (1485), *De re aedificatoria*
[232]Descartes, R., (1637), Discourse on Method
[233]Mahmoodi, A., (2001), The design process in architecture: a pedagogic approach using interactive thinking
[234]Auernhammer, J., & Ford, C., (2022), What is Design? The Semantic Core and Periphery of Design Definitions, p.14
[235]*Método quantitativo de investigação cujo objetivo é verificar outputs e inputs num follow-up*
[236]Williamson, J., (2015), Kahn at Penn: transformative teacher of architecture, p. 34

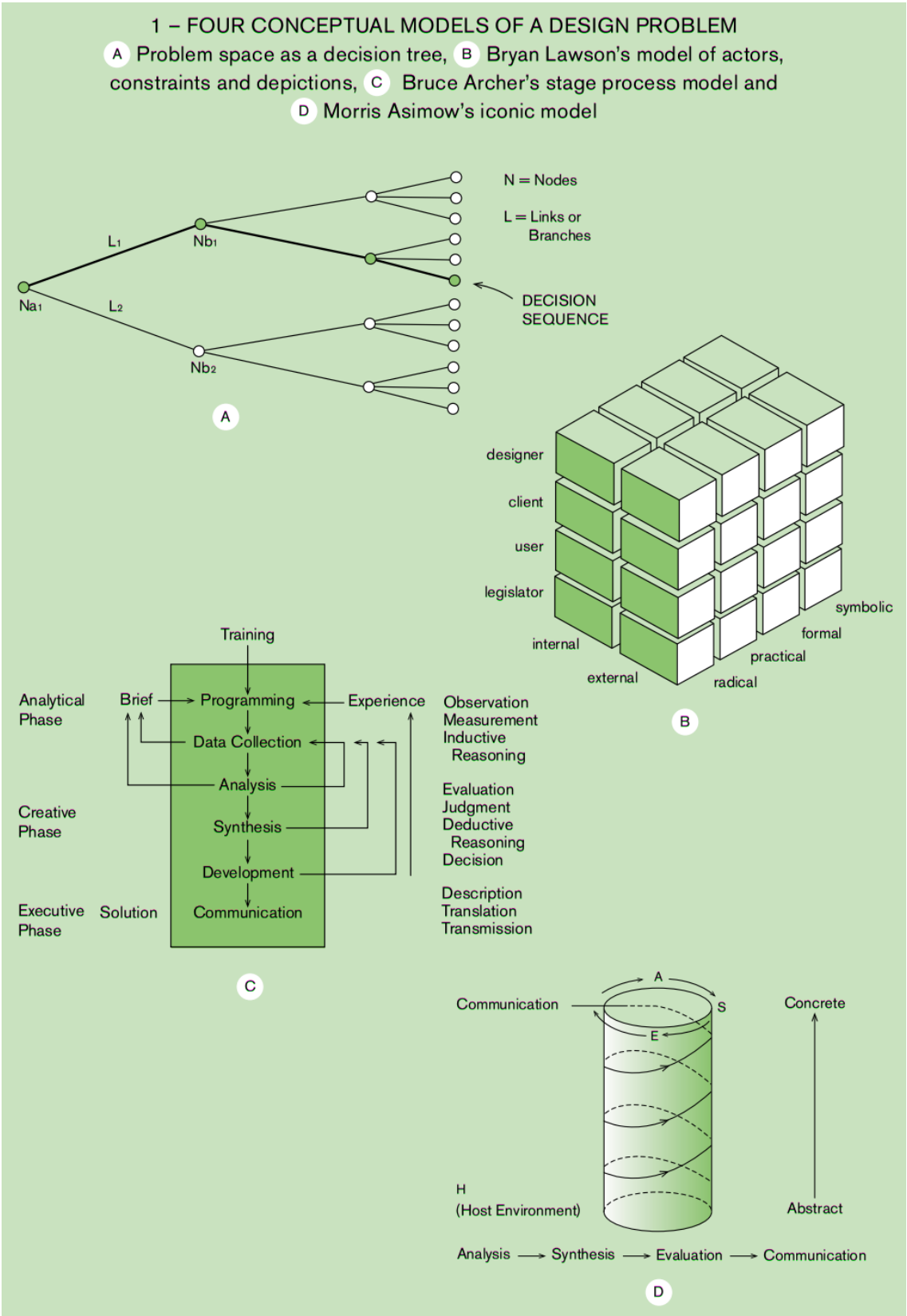

Fig. 48 Modelos de design; a presente figura, não trad.; foi adaptada do livro "Design Thinking and Storytelling in Architecture", p.17 (Rowe & Chung, 2023).

Rowe & Chung[237] (2023) demonstram quatro modelos de *design* [Fig. 48] cuja aplicação pode ser utilizada na Arquitetura. O modelo *decision tree*, previamente mencionado (subcapítulo 3.1), é um modelo bidirecional, com o intuito de dar resposta a um problema no qual o designer vai efetuando testes e escolhas em cada *node* sendo que qualquer decisão condiciona as seguintes opções o que resulta numa sequência de decisão[238]. Este modelo revela-se muito incompleto e facilmente se torna muito complexo com cada escolha efetuada, no entanto permite a análise retrospetiva para definir as premissas do utilizador.

Numa segunda instância, o modelo de Lawson (s.d.), é tridimensional e apresenta uma visão holística do problema integrando os diferentes agentes de *design*, distinguindo entre constrangimentos internos e externos, e classificando-os em função do seu peso para o processo[239]. Este modelo é limitado ao incorporar blocos pré-definidos e apresenta uma versão singular de resposta aos problemas, definida pelos constrangimentos existentes.

No caso do modelo de etapas de Archer[240] (1964), este divide-se em três fases: a fase analítica, a fase criativa e a fase executiva. O modelo inclui *feedback loops,* nas diferentes fases, resultando num ciclo constante entre as mesmas, até o projeto chegar ao ponto de em que as premissas estejam todas cumpridas[241]. O modelo em análise revela-se exaustivo na revisão e assim, limitador do fluxo criativo.

Finalmente, no modelo de Asimow[242] (1962), a evolução é cíclica com a origem em quatro planos horizontais: análise, síntese, avaliação e comunicação desenvolvendo-se de forma iterativa, de uma base abstrata até ao concreto[243]. À semelhança do modelo anterior, a constante análise resulta numa panóplia de questões inibidoras de um processo subjetivo.

Concluindo, todos os modelos apresentados são lineares e dependentes da conclusão da fase anterior, embora os modelos apresentados tenham os seus valores; nomeadamente em práticas de ensino, para estabelecer bases formais. Estes não são adequadas à realidade do processo criativo que se verifica em todas as grandes obras artísticas da humanidade. Analisando a criação de uma forma lógica e racional; se no impulso fervoroso do processo criativo o instinto é guiado pela manutenção do *status quo* e a adesão a modelos ou regras pré-concebidas, será o nosso propósito o de criar?

[237]Rowe, P,. & Chung, Y,. (2003), Design Thinking and Storytelling in Architecture, Cap. II
[238]*Ibidem*., p. 21
[239]*Ibidem*., pp. 16-18
[240]Archer, L., (1964), Systematic method for designers.
[241]Rowe, P,. & Chung, Y,. (2003), Design Thinking and Storytelling in Architecture, p. 22
[242]Asimow, M., (1962), Introduction to design
[243]Rowe, P,. & Chung, Y,. (2003), Design Thinking and Storytelling in Architecture, p. 22

3.2.2. Modelo de Complementaridade - Tipo

O início dó séc. XX ficou marcado cientificamente pela conceptualização da relatividade apresentada por Einstein[244] (1905) que se mantém atual até aos dias de hoje no que diz respeito à macro escala e ao universo observável. Com a relatividade e a consequente prova de que os objetos exercem forças não visíveis uns sobre os outros, as mais variadas ciências começaram a fatorizar componentes aparentemente externos à sua disciplina. Assim fica demonstrada a importância do contexto na definição de qualquer pressuposto.

O princípio de complementaridade surgiu associado à física quântica e foi proposto por Niels Bohr[245] (1928), este sugere que certos fenómenos só podem ser verdadeiramente compreendidos quando observados e descritos de maneiras aparentemente contraditórias, mas igualmente válidas. A luz, sendo o exemplo mais recorrente, comporta-se como uma partícula e uma onda ou ambas, dependendo do instrumento utilizado para a sua observação.

Juntas, a relatividade e a complementaridade ofereceram uma base filosófica e científica que refletia as revoluções artísticas da mesma época. O Cubismo, por exemplo, explorou múltiplas perspetivas numa única composição, enquanto a Arquitetura Bauhaus abraçou a síntese entre função e forma, utilidade e estética. À medida que os paradigmas científicos mudavam, também se transformavam os modelos que orientavam a forma como os seres humanos conceptualizavam e criavam os seus espaços.

Para compreender verdadeiramente as implicações da relatividade e da complementaridade na Arquitetura, é necessário imaginar o ambiente construído não como estruturas estáticas, mas como sistemas dinâmicos. Os edifícios interagem com a sua envolvente, e o seu significado é moldado pelas experiências daqueles que os habitam e observam. De forma semelhante, o *design* de um espaço muitas vezes reconcilia forças opostas: luz e sombra, rigidez e fluidez, necessidades individuais e coletivas.

No processo de *design* arquitetónico a relatividade manifesta-se na relação entre o observador/criador e o objeto da criação, o espaço ou edifício. Assim o *design* é sempre baseado nas experiências e nas perspetivas de quem o cria. É considerada como determinista, isto é, acontece como o resultado porque sim, porque o seu criador assim o viu. No caso da complementaridade pode traçar-se o paralelismo com a criação

[244]Einstein, A., (1905), Zur Elektrodynamik bewegter Körper, DOI: 10.1002/andp.19053221004
[245]Bohr, N., (1928), The Quantum Postulate and the Recent Development of Atomic Theory, DOI: 10.1038/121580a0

digital, remetendo assim para uma criação probabilística, ou seja, qual a probabilidade de maior sucesso, ou qual o *design* que cruza mais itens de uma lista de verificação?!

É deste modo importante estreitar o discurso de *design* numa perspetiva de *princípios básicos da física* na resolução do problema, removendo assim a ambiguidade de termos subjetivos ou específicos de cada ciência[246]. Com esta abordagem, é possível manter a especialização de cada uma das partes e facilitar o processo criativo, tão fulcral ao *design*[247].

O que surge em terceira instância, ou melhor o que ainda não surgiu, é uma teoria unificada, a capacidade de fatorizar as emoções e um domínio absoluto das probabilidades, descrito de forma comum na ficção científica como o momento de *singularity*, em que se forma a consciência, poderá esta ser a certeza de que o objeto criado é o certo?

Somos levados a supor que não exista uma forma correta ou errada de praticar o *design*, apenas procuramos questionar e com as questões colocadas abrir o diálogo e o confronto de ideias para produzir conhecimento em Arquitectura.

Deste modo, o modelo de complementaridade aplicado ao contexto desta investigação demonstra como o avançar das tecnologias, ciências e o entendimento do mundo envolvente têm influência direta no *design*. Ao abrirem novas perspetivas e permitirem novas formas de resolver problemas, geram questões como o que está certo ou errado? Qual o *design* que melhor se enquadra? Qual será aquele que provocará nas pessoas o melhor impacto? Questões essas que até recentemente só com o tempo e o usufruto do espaço podiam ser respondidas, podem agora ser testadas previamente.

> *Acolhida festivamente pelos anjos e pelos bem-aventurados, desce do Céu, Beatriz (a divina sabedoria) e pousa no carro. Nisto Virgílio (a humana sabedoria) desaparece. Ela dirige-se a Dante e lhe exprobra os seus desvios. Dante chora; e os anjos se compadecem dele. Beatriz, dirigindo-se a eles, expõe mais particularmente quais foram as suas faltas depois da sua morte.*
>
> Dante, A.; (1321)

[246]Auernhammer, J., & Ford, C., (2022), What is Design? The Semantic Core and Periphery of Design Definitions; pp.14-15
[247]Rowe, P,. & Chung, Y,. (2023), Design Thinking and Storytelling in Architecture; pp.19-21

3.3. Biofilia – 25 Fatores: O Framework - Protótipo

No decorrer da presente dissertação fomos esquematizando quais os fatores necessários à conceção de um *framework* que permitisse a digitalização da nossa profissão, da nossa arte, da nossa ciência.

Como arquitetos, desde o início da nossa formação que nos apercebemos da multidisciplinariedade, da sensibilidade e da capacidade de observação necessárias para exercer. É sempre com muita apreensão que olhamos para o projeto que nos é apresentado, não que seja algo mau, antes pelo contrário, é algo que nos leva a querer compreender. Que nos leva a querer saber mais, que nos desperta curiosidade pelo meio envolvente e que faz com que vivamos e conheçamos cada local com uma sensibilidade muito própria.

Esta multidisciplinariedade está exposta no *framework* que fui idealizando, que procura relacionar todas as ciências essenciais ao projeto de Arquitetura biofílica, conceptualizado pela inteligência ou consciência artificial. Com o decorrer desta já extensa investigação não me é possível quantificar os dados relativos a cada uma das ciências nem conceber a integração dos mesmos numa única ferramenta capaz de os gerir. Devido à abrangência da Arquitetura e as já demonstradas conceções com as mais variadas ciências, o desenvolvimento integral do *framework* fica indicado para um trabalho de investigação futuro. É, no entanto, importante delinear uma base que permita uma construtiva partilha de ideias que elevem a validação e a dimensão do trabalho em questão.

Segundo Patrick Schumacher[248] – arquiteto principal da Zaha Hadid Architects – os arquitetos devem pertencer às equipas de desenvolvimento de *software*, e deste modo garantir a criação de plataformas especificas à nossa profissão.

É importante referir que as prospeções futuras são muito animadoras, com a iminente chegada da AGI, que como supracitado, tem a capacidade de compreender o contexto, de aprender e evoluir de forma autónoma, desta forma, emerge a capacidade de resolver problemas novos que lhe são apresentados, problemas esses para os quais não foi treinada. De acordo com os nomes mais influentes no campo da inteligência artificial, as estimativas para a chegada da AGI situam-se entre um e cinco anos.

[248]BlessedArch, (2023), AI will not replace architects - Patrik Schumacher from Zaha Hadid Architects, "youtube.com/watch?v=9Fft67Mq_0c"

Fig. 49 Framework final, (autor, 2024)

Nesta fase da minha investigação, ainda não me encontro com a capacidade para formular uma solução de software concreta e capaz de abordar plenamente a complexa tarefa de fatorizar todas as variáveis inerentes ao processo de conceção arquitetónica. O *design* arquitetónico é um esforço complexo e multidisciplinar, e envolve uma vasta gama de fatores e disciplinas. Cada uma das variáveis interage de forma dinâmica com as outras, criando uma teia de dependências e restrições difícil de desmembrar e formalizar num único quadro computacional. Embora as ferramentas de software atuais sejam excelentes para lidar com aspetos isolados, ainda não conseguem integrar de forma holística a natureza multifacetada do *design* arquitetónico.

Contudo, os avanços exponenciais na IA, possibilitam a transformação deste cenário. As tecnologias estão cada vez mais aptas a processar grandes volumes de dados, identificar padrões e sintetizar informações de múltiplos domínios. Já é possível comprovar os avanços na otimização de processos de *design*, na previsão de comportamentos de materiais e na simulação de condições ambientais complexas. À medida que as tecnologias evoluem, é certo que adquiram a capacidade de fatorizar e interconectar dinamicamente as diversas variáveis envolvidas no *design* arquitetónico. Isso permitirá que arquitetos e designers utilizem a IA não apenas como uma ferramenta de análise ou otimização, mas como uma colaboradora capaz de gerar soluções inovadoras que equilibram os inúmeros requisitos de forma, função, contexto e respostas fisiológicas.

Até que esse ponto seja alcançado, o trabalho concentrou-se na identificação e indexação das diversas ciências e disciplinas a ser consideradas para desenvolver um sistema tão abrangente. Abrindo caminho ao diálogo e à futura iteração.

Listo subsequentemente as ciências/fatores identificadas até ao momento:

Fatores Físicos
Fatores Químicos
Fatores Geofísicos
Fatores Geográficos
Fatores Biológicos
Fatores Botânicos
Fatores Ecológicos
Fatores Antropológicos
Fatores Sociológicos
Fatores Psicológicos
Fatores Neurológicos
Fatores Económicos
Fatores Jurídicos
Fatores Estéticos
Fatores Criativos
Fatores Materiais
Fatores Infraestruturais
Fatores Termodinâmicos
Fatores Acústicos
Fatores Hídricos
Fatores Elétricos + Iluminação
Fatores Informáticos Código/Software
Fatores Informáticos Componentes/Hardware
Fatores Informáticos Análise de Dados
Fatores Informáticos Inteligência Artificial

Fig. 50 Representação da Interface de um software inteligente, [Imagem gerada com IA], (OpenAI's DALL-.E via ChatGPT, 2025).

4. Casos de Estudo

"[...] Your intuition is your most exacting sense, it is your most reliable sense. It is the most personal sense that a singularity has, and intuition, not knowledge, must be considered your greatest gift. Knowledge is valuable because knowing can come from it, and knowing can give you intouchness with your intuition."

(Kahn, 1979)

Como pode o ser humano ser tão criativo ao ponto de idealizar, fantasiar, e coconstruir seguindo somente o seu instinto? Ao longo da presente investigação fomos descobrindo as inúmeras potencialidades criativas do ser humano, desde a sua essência fantasiosa até à sua conceptualização teórico-prática.

Na proposição de compreender o mundo, o ser necessita de primeiramente compreender-se a si próprio, o porquê das suas ações e das suas escolhas em detrimento do caminho oposto ou paralelo. É nas ações que se define a humanidade, não nas ponderadas, mas sim nas guiadas por instinto, pois só aí acontece a razão pura. Cria-se então um paradoxo através da semelhança das palavras razão e racional. Isto é, embora pense que tomo uma decisão de forma pura, a mesma surge de processos inconscientes e marcada por experiências passadas, por memórias e antecipação de respostas fisiológicas às suas consequências.

Assim, a pertinência de esquecer o próprio é evidenciada como fator determinante, pois só inconsciente à informação passada é concebível a verdadeira razão, desprovida de racionalidade, o reconectar com a criança interior.

Só com uma abstinência das vontades, dos desejos, das fantasias; com um desenho guiado pelo altruísmo e a macro observação de todos os fatores é concebível o auge da racionalidade. Em contrapartida, só com a cedência às vontades, aos desejos, às fantasias; com um desenho guiado pelo egoísmo é concebível o "apogeu da pureza".

Ora, a criação é inevitavelmente um processo mental baseado num leque referencial, amplificado no decorrer da vida. Segundo Siza[249] (1998) o arquiteto deve ter em si um reportório de conhecimento aprofundado ao ponto de este se esconder no subconsciente.

Somente desta forma é plausível a conceptualização de um desenho que é provido de razão e de racionalidade. Um desenho tão informado e completo que se aparenta inato e pertencente ao lugar, que tem em consideração os supracitados fatores e a interdisciplinaridade tão necessária à ciência da Arquitetura.

Assim, com os presentes casos de estudo é pretendida uma análise aos ideais de pensamento que levaram à sua materialização, com o intuito de correlacionar as estratégias e entender como surge a boa Arquitetura biofílica, de forma inata. Isto é, quais as preferências evidenciadas no processo criativo que culminam na edificação de espaços que promovem de forma saudável toda uma panóplia de processos mentais.

Existem duas premissas na seleção dos casos expostos: a sua conceptualização não biofílica, e serem espaços para usufruto de quem os desenhou, como espaços de habitação, de trabalho ou ambos.

[249]Siza, Á., (2012), Imaginar a Evidência; p.35

Apesar do *design* não conceber a biofilia, os edifícios revelam os fatores de um edifício biofílico como será comprovado pela relação entre os mesmos e as 14 patterns of biophilic *design*[250]. Com esta análise procura-se assim compreender quais os ideais de pensamento que culminam num *design* inato. A segunda premissa tem também o intuito de depurar os projetos que são o reflexo máximo dos seus autores, o espaço por eles habitado, sem as condicionantes externas de um cliente.

Assume-se desde já uma certa tendência no que diz respeito às obras escolhidas, convidando ao exercício de analisar os espaços dos meus arquitetos de eleição.

De modo a tentar efetuar uma análise científica dos processos de desenho, foram investigadas memórias descritivas, publicações, conferências e entrevistas dos autores com o intuito de efetuar uma validação cruzada e correlacionar de modo crítico as suas afirmações.

[250]Browning, W., *et al.*, (2014), 14 Patterns of Biophilic Design

4.1. Ricardo Bofill – La Fabrica – Barcelona, Espanha

O projeto *La Fábrica*, de Ricardo Bofill, é uma materialização da capacidade humana de reimaginar e reinventar espaços através da reapropriação de um complexo industrial em ruínas de uma antiga fábrica de cimento, transformando-o na sede do atelier e simultaneamente na sua residência. A reconstrução começou em 1975 e segundo o autor está em constante mutação e nunca verdadeiramente terminada[251]. O edifício marcou Bofill quando abandonava a sua cidade de Barcelona devido à sua índole poluidora, e quando observou que iria fechar, procurou adquirir todo o terreno para ali construir a sua prática profissional, e o seu manifesto em forma de edifício[252].

Desde os primórdios do seu trabalho que entendeu a **multidisciplinariedade** da Arquitetura e colaborou no atelier com sociólogos, filósofos, matemáticos, pintores e escritores. Assim, os momentos são desenhados com a multifuncionalidade em mente e sem um propósito específico, com a intenção de criar espaços com um **valor intrínseco**, organizados por **atividades mentais e psicológicas**, que se mantenham válidos independentemente da tipologia de uso[253].

A sua conceção é efetuada como uma escultura espacial, iniciando-se com o remover de elementos, a purificação das formas e o descobrir de espaços[254]. Despido o edifício da superfluidade, emerge a necessidade de lhe **conceber vida**, de lhe conferir uma base, sob a forma de um manto verde, árvores, arbustos e trepadeiras que lentamente vão recuperando e **purificando o lugar**[255]. É desenhada com um grande contraste de correntes estéticas contraditórias como o brutalismo e a visão romântica de cenários idílicos que não têm função nenhuma, tornando-se num espaço onde a vida, o trabalho e a criação se correlacionam de forma poética[256].

[251]Bofill, R., (1988), Ricardo Bofill: Taller de Arquitectura ; buildings and projects 1960-1985, p.56
[252]Bofill, R., (s.d.), "ricardobofill.com/la-fabrica/read"
[253]Bofill, R., *in*, NOWNESS., (2014), In Residence Ep 15: "Ricardo Bofill" by Albert Moya, "youtube.com/watch?v=SIQlWkYijLM"
[254]Bofill, R., (1992), Ricardo Bofill Obras y proyectos, p.155
[255]Bofill, R., (s.d.), "ricardobofill.com/la-fabrica/read"
[256]Bofill, R., *in*, NOWNESS., (2014), In Residence Ep 15: "Ricardo Bofill" by Albert Moya, "youtube.com/watch?v=SIQlWkYijLM"

4.1.1. Pré-existência

Fig. 51 La Fabrica – pré-existência; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.).

Fig. 52 La Fabrica – pré-existência e Ricardo Bofill; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.).

Fig. 53 La Fabrica – pré-existência; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.).

Fig. 54 La Fabrica – demolição e construção; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.).

Fig. 55 La Fabrica – pré-existência e Ricardo Bofill; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.).

Fig. 56 La Fabrica – pré-existência e Ricardo Bofill; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.).

Fig. 57 La Fabrica – pré-existência; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.).

Fig. 58 La Fábrica – pré-existência; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.).

4.1.2. Projeto

Fig. 59 La Fabrica – projeto; a presente figura, foi retirada de "ricardobofill.com/la-fabrica/see", (s.a., s.d.).

Fig. 60 La Fabrica – projeto; a presente figura, foi retirada de "ricardobofill.com/la-fabrica/see", (s.a., s.d.).

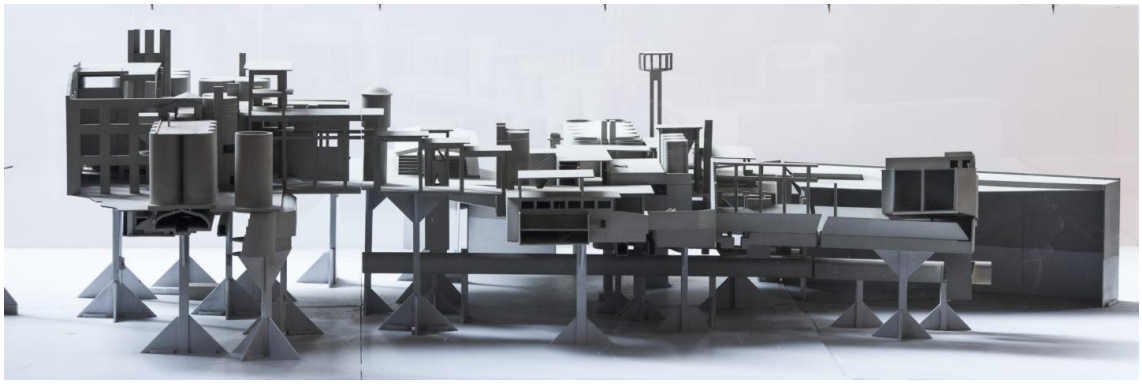

Fig. 61 La Fabrica – maquete; a presente figura, foi retirada de "ricardobofill.com/la-fabrica/see", (s.a., s.d.).

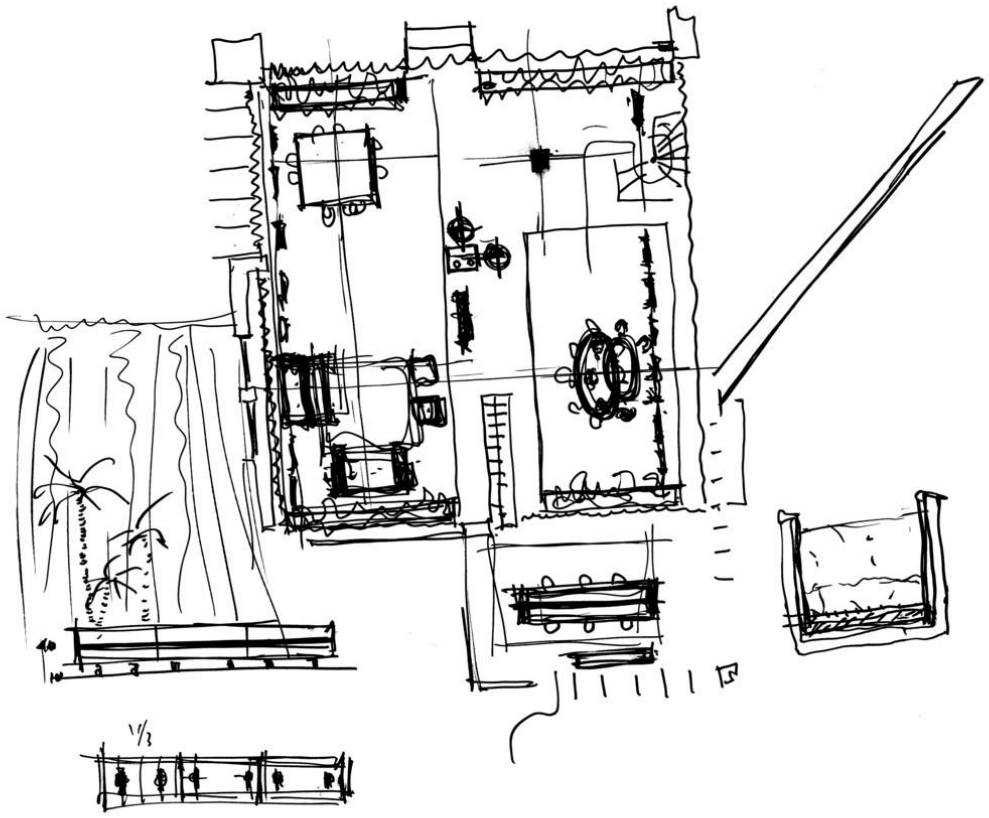

Fig. 62 La Fabrica – esquiço; a presente figura, foi retirada de "ricardobofill.com/la-fabrica/see", (s.a., s.d.).

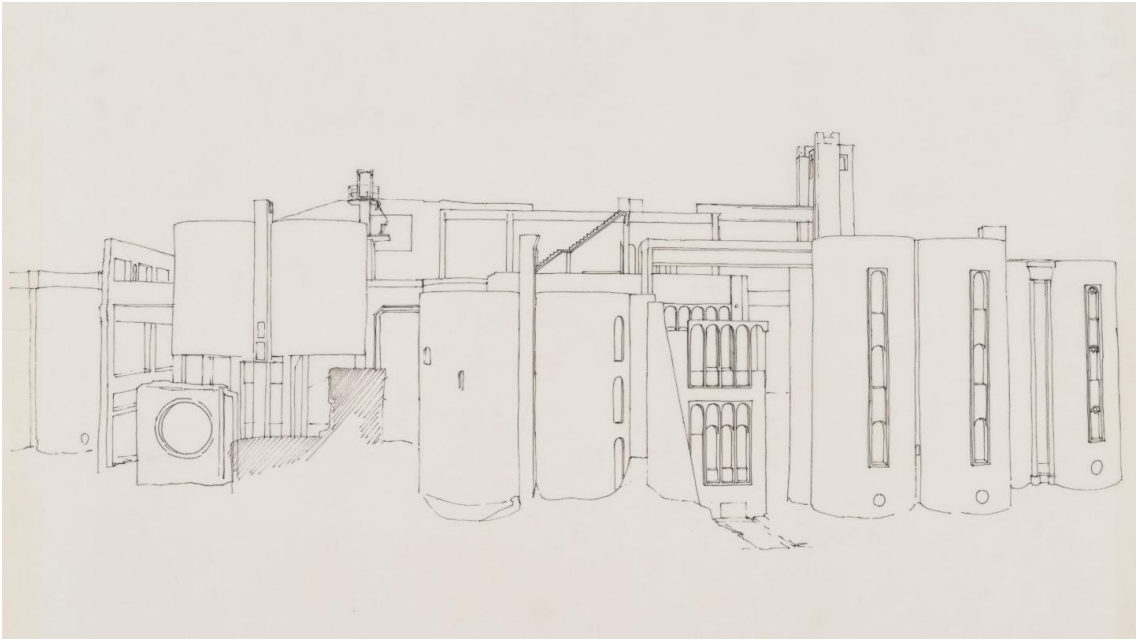

Fig. 63 La Fabrica – alçado; a presente figura, foi retirada de "ricardobofill.com/la-fabrica/see", (s.a., s.d.).

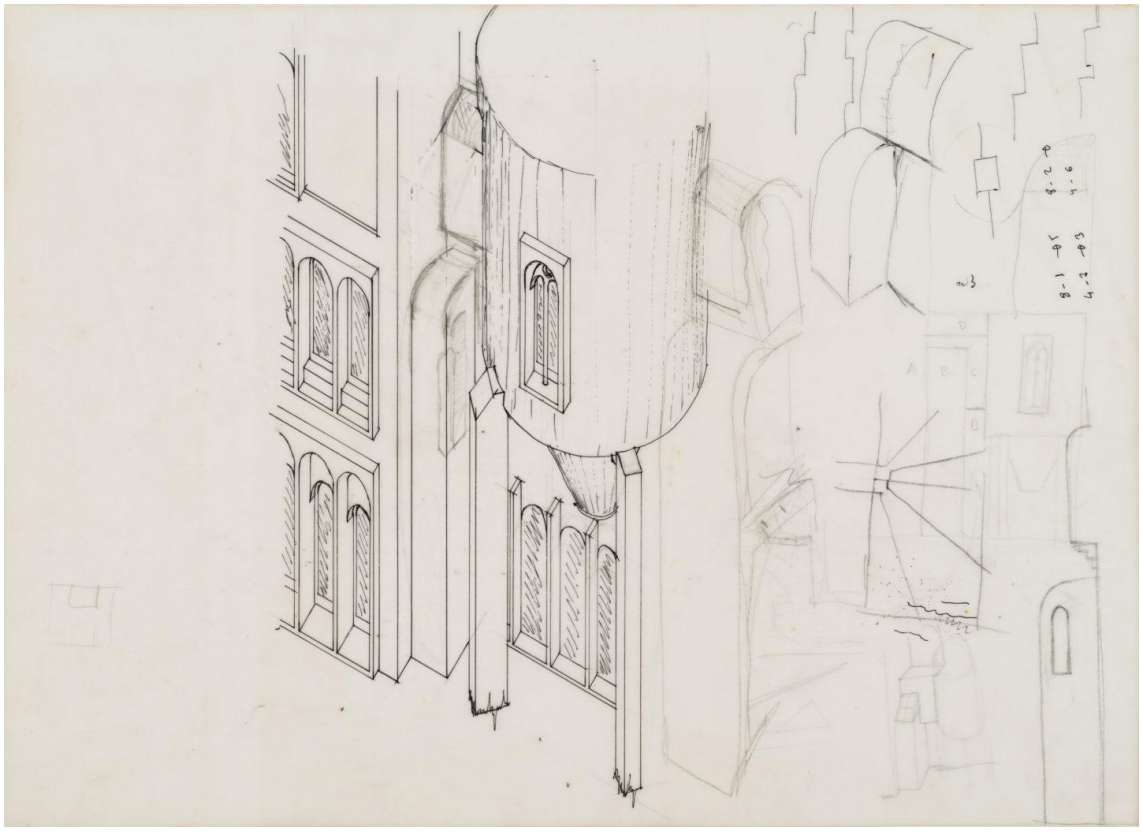

Fig. 64 La Fabrica – axonometria; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.).

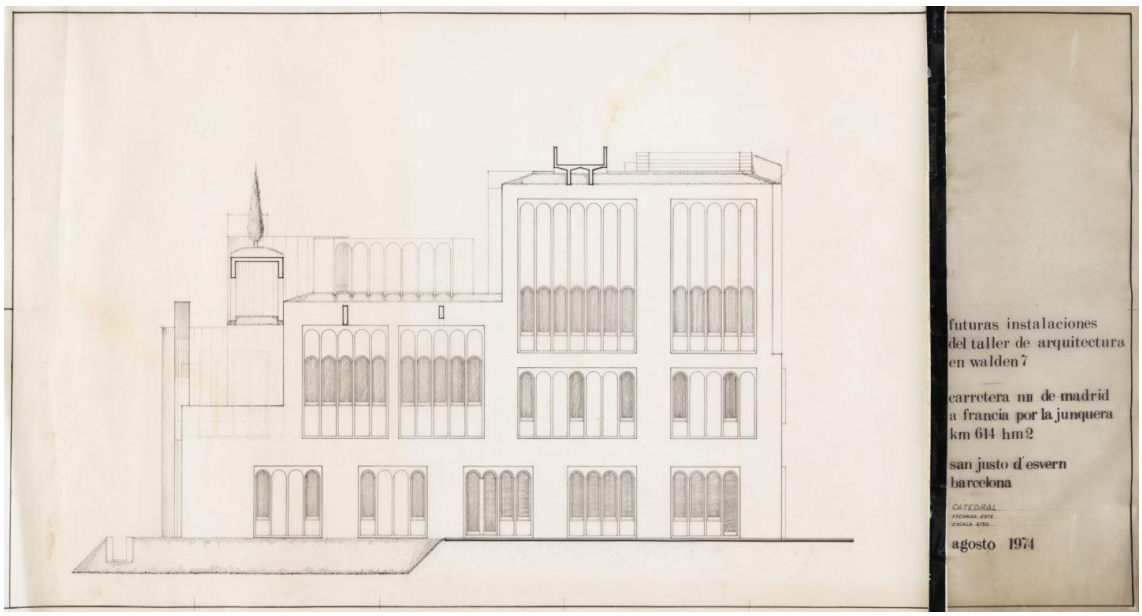

Fig. 65 La Fabrica – alçado; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.).

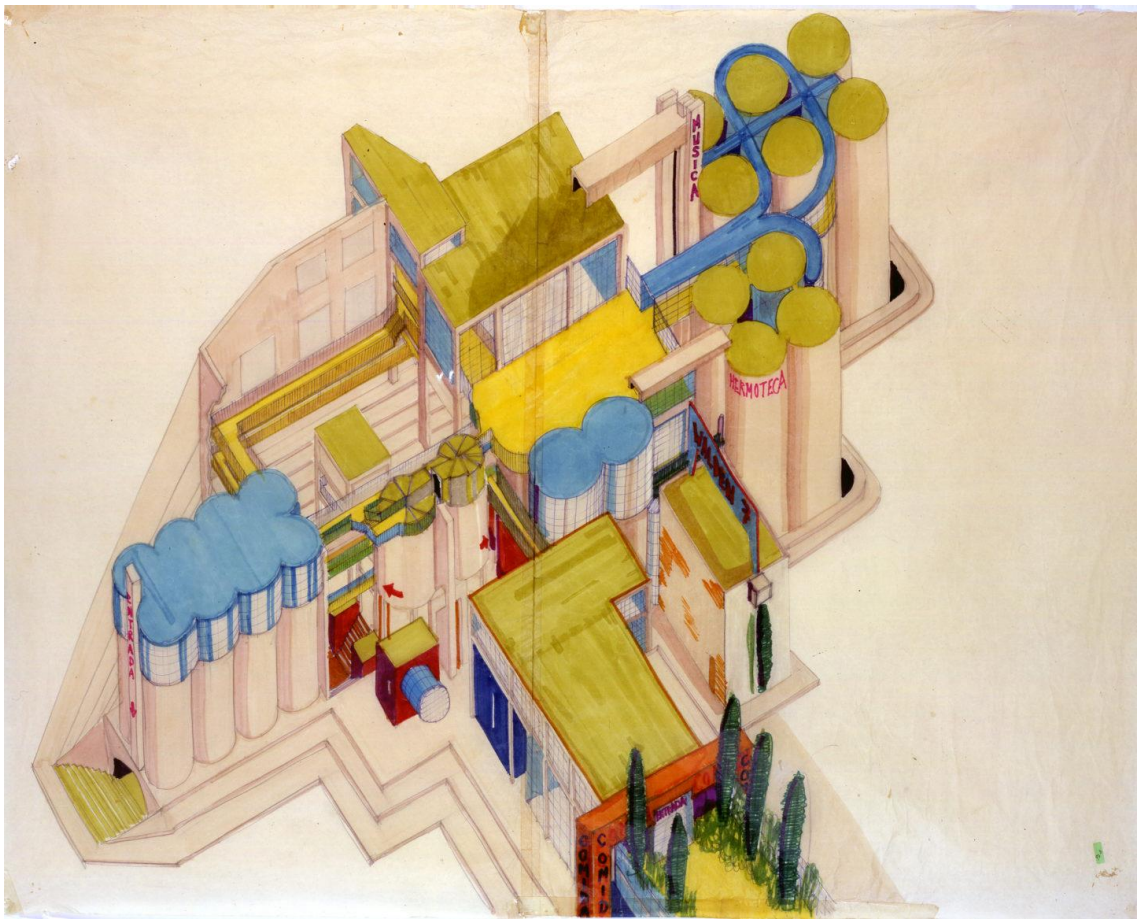

Fig. 66 La Fabrica – axonometria; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.).

4.1.3. Arquitetura

4.1.3.1. Exterior

Fig. 67 La Fabrica; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.).

Fig. 68 La Fabrica; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.).

Fig. 69 La Fabrica; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.).

Fig. 70 La Fabrica; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.).

Fig. 71 La Fabrica; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.).

Fig. 72 La Fabrica; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.).

4.1.3.2. Atelier

Fig. 73 La Fabrica; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.).

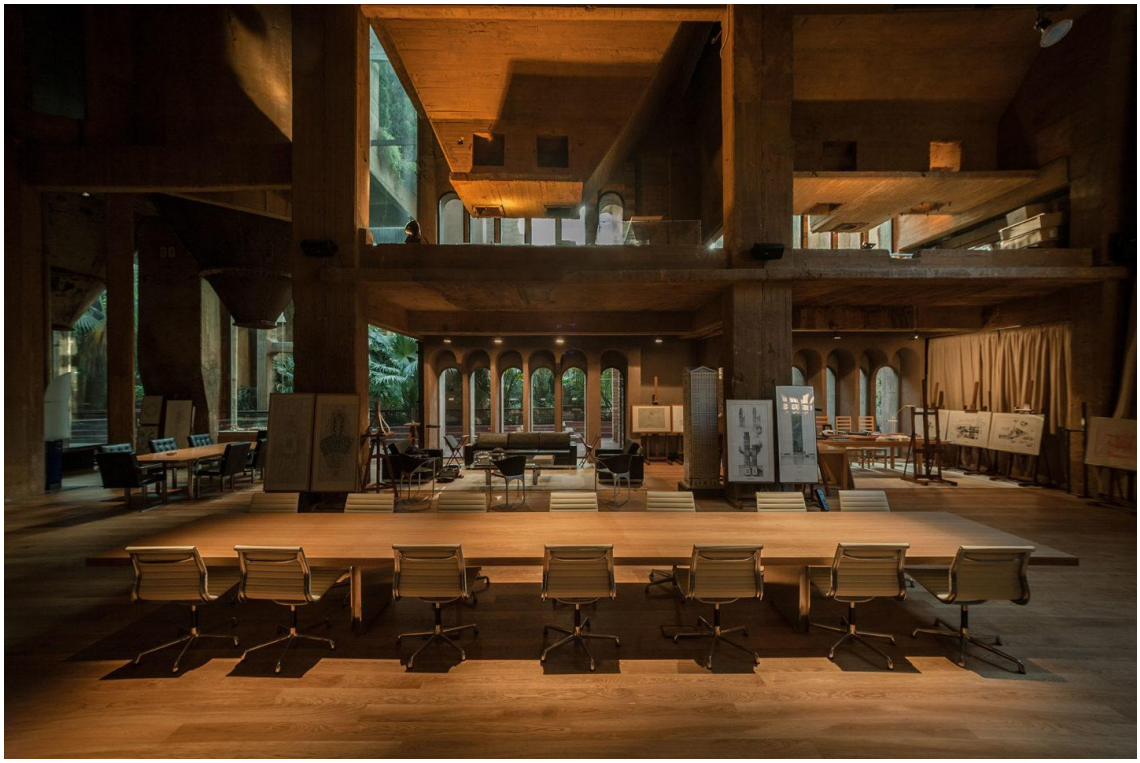

Fig. 74 La Fabrica; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.).

Fig. 75 La Fabrica; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.).

Fig. 76 La Fabrica; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.).

Fig. 77 La Fabrica; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.).

4.1.3.3. Estúdio

Fig. 78 La Fabrica; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.).

Fig. 79 La Fabrica; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.).

Fig. 80 La Fabrica; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.).

Fig. 81 La Fabrica; a presente figura, foi retirada de “ricardobofill.com/la-fabrica/see”, (s.a., s.d.).

4.2. Javier Senosiain – Casa Orgânica – Naucalpan, México

O lar de Javier Senosiain é um exemplo paradigmático da sua prática autointitulada Arquitetura orgânica, que, como descrito pelo arquiteto, procura harmonizar o habitat humano com o mundo natural. O projeto, construído em 1984, propõe uma abordagem que transcende o convencionalismo da Arquitetura linear e funcionalista, ao inspirar-se em formas naturais e na integração no meio envolvente.

É uma celebração das formas curvas, dos espaços contínuos e da fusão **simbiótica** entre o abrigo e o meio natural. A sua intenção era a de procurar a formalização do abrigo primitivo, da caverna, o útero ou os **braços maternos**[257], locais que nos envolvem, abraçam e representam segurança.

O processo de *design* é iniciado com um levantamento topográfico do terreno e catalogação de todas as árvores existentes, passando posteriormente às maquetes elaboradas com plasticina, uma para espaços exteriores e outra para espaços interiores, ambas desenvolvidas em paralelo[258]. Estabelecida uma forte base conceptual, marcada pela criação de dois espaços amplos e luminosos, uma área social e uma zona íntima, onde a transição entre ambientes é efetuada num corredor estreito e escuro que enriquece não só a experiência arquitetónica do *locus*, mas também reproduz os ritmos naturais de expansão e contração[259], evocando uma conexão emocional com o ambiente. Com este longo corredor, o arquiteto demonstra assumidamente uma preocupação com o **bem-estar psicológico**[260].

No decorrer da construção, observa-se uma abordagem flexível e artesanal, na qual são efetuadas alterações com base na observação constante do espaço e nas lacunas identificadas não só pelo arquiteto como pelos trabalhadores. Um exemplo marcante é a adição de uma janela no caracol de entrada, inicialmente inexistente no projeto original, mas incorporada após diversas pessoas mencionarem a possibilidade de claustrofobia no espaço[261]. Outro caso é a ampliação de uma fenestração curva na sala, decidida durante uma refeição na obra, ao perceber que a vista para o jardim seria mais valorizada com a abertura do espaço. Essas mudanças refletem uma Arquitetura em evolução, onde o **diálogo com o ambiente** e as necessidades percebidas no processo constroem um resultado mais ajustado e humano.

---

[257]Senosiain, J., (2020), Arquitectura de raíces, naturaleza e identidade, p.130
[258]Senosiain, J., (2008), arquitectura orgânica, p.59
[259]Senosiain, J., *in*, BEmilliano, (2023), Arquitectura Orgánica | Arq. Javier Senosiain | Casa Tiburón y Nido de Quetzalcóatl |, "youtube.com/watch?v=oUFIBAwohMY"
[260]Senosiain, J., (2020), Arquitectura de raíces, naturaleza e identidade, p.132
[261]Senosiain, J., (2020), Arquitectura de raíces, naturaleza e identidade, p.134

A estrutura evita linhas retas e consequentemente ângulos, optando por superfícies sinuosas que mimetizam as **formas biológicas** e oferecem uma constante continuidade. Esta forma de desenho, culmina numa elevada resistência estrutural devido às formas curvas, que distribuem esforços e água de maneira mais eficiente, tal como ocorre na natureza[262].

O desenho da habitação inspira-se nas formas naturais, replicando-as de maneira simbólica através da curva. Já a Biofilia defende uma integração mais literal e funcional com a natureza, promovendo a introdução de elementos vivos dentro do espaço habitável. Embora a Casa Orgânica esteja em harmonia com o terreno, e crie estímulos visuais proporcionados pela presença de elementos vivos, a sua conexão com a natureza é estática, de dentro para fora, enquanto a Biofilia sugere uma relação mais direta, interativa e evolutiva.

A Casa Orgânica aborda o bem-estar de maneira **holística**, incorporando tanto os benefícios emocionais quanto os físicos e **psicológicos** ao fazer uso de um desenho **bioclimático**, é conseguida uma boa qualidade do ar, e de níveis de humidade, potencializados pela natureza envolvente[263].

[262]Senosiain, J., (2020), Arquitectura de raíces, naturaleza e identidade, pp.39-40
[263]Senosiain, J., *in*, Open House CDMX, (2020), Capítulo 4 Open House CDMX - La Casa Orgánica, "youtube.com/watch?v=7ULZVAtMxco"

4.2.1. Projeto

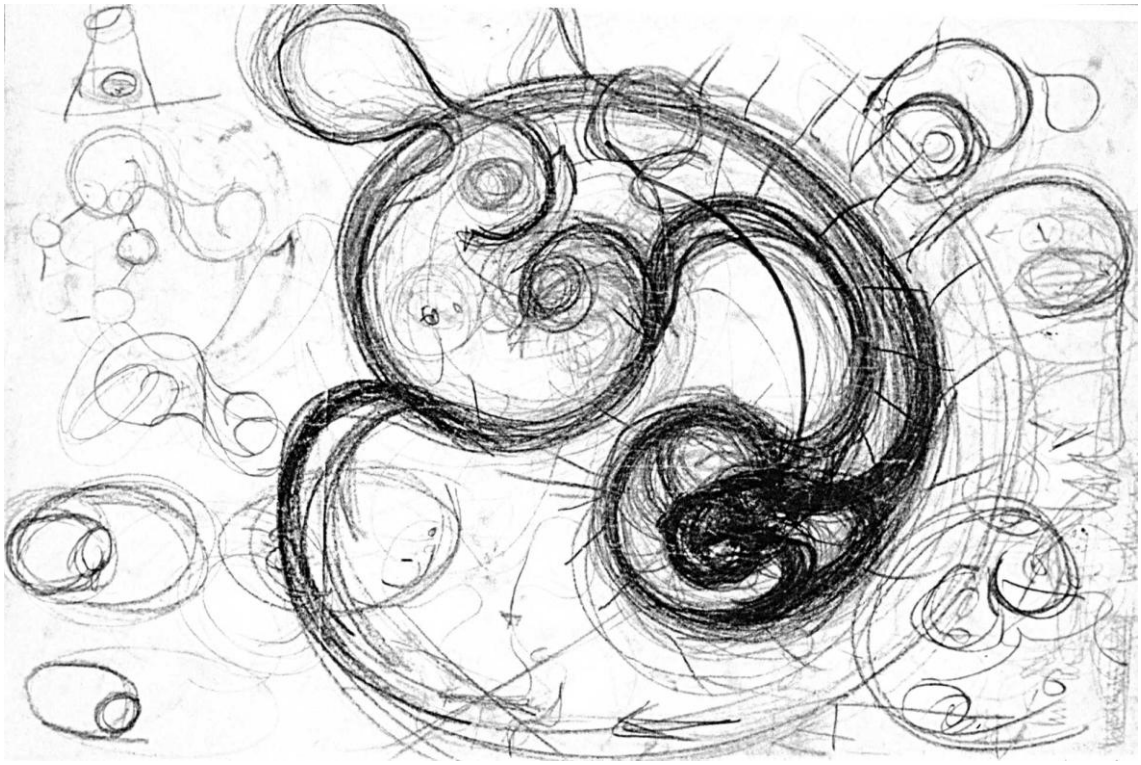

Fig. 82 La Casa Orgánica – esquiço; a presente figura, foi retirada de “arquitecturaorganica.com/habitat-organico/la-casa-organica.php”, (s.a., s.d.).

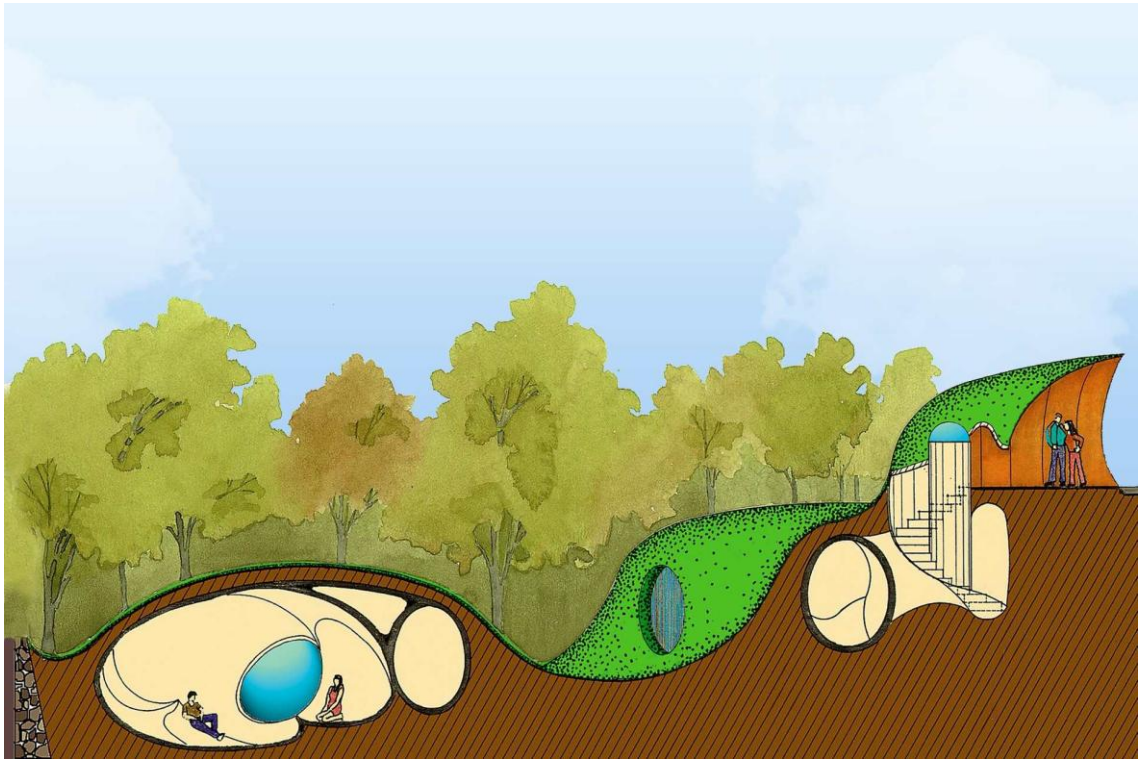

Fig. 83 La Casa Orgánica – corte longitudinal; a presente figura, foi retirada de “arquitecturaorganica.com/habitat-organico/la-casa-organica.php”, (s.a., s.d).

Fig. 84 La Casa Orgánica - planta; a presente figura, foi retirada de “arquitecturaorganica.com/habitat-organico/la-casa-organica.php”, (s.a., s.d).

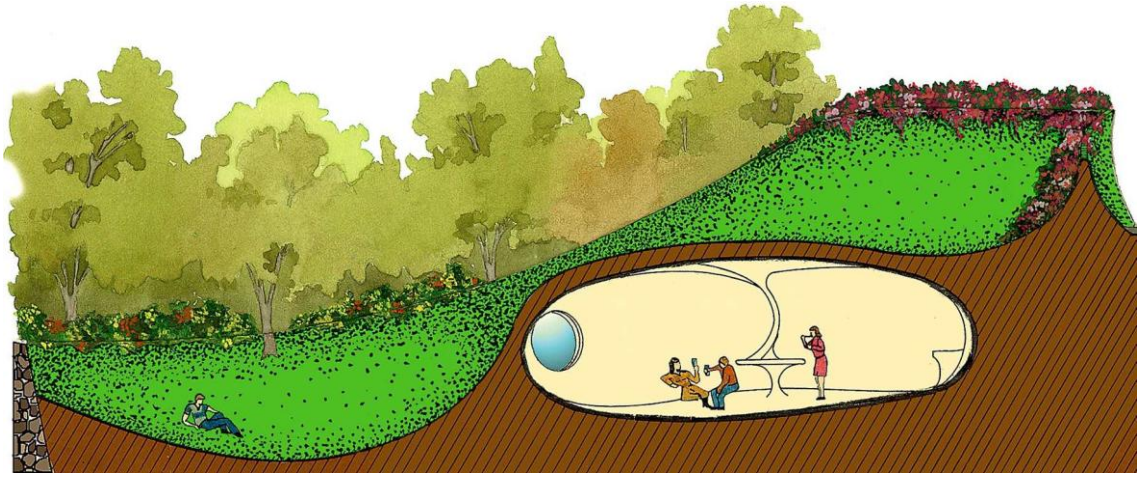

Fig. 85 La Casa Orgánica – corte transversal; a presente figura, foi retirada de “arquitecturaorganica.com/habitat-organico/la-casa-organica.php”, (s.a., s.d).

Fig. 86 La Casa Orgánica – maquete; a presente figura, foi retirada de “arquitecturaorganica.com/habitat-organico/la-casa-organica.php”, (s.a., s.d).

Fig. 87 La Casa Orgánica – obra; a presente figura, foi retirada de “arquitecturaorganica.com/habitat-organico/la-casa-organica.php”, (s.a., s.d).

Fig. 88 La Casa Orgánica – obra; a presente figura, foi retirada de “arquitecturaorganica.com/habitat-organico/la-casa-organica.php”, (s.a., s.d).

Fig. 89 La Casa Orgánica – obra; a presente figura, foi retirada de “arquitecturaorganica.com/habitat-organico/la-casa-organica.php”, (s.a., s.d).

4.2.2. Arquitetura

4.2.2.1. – Exterior

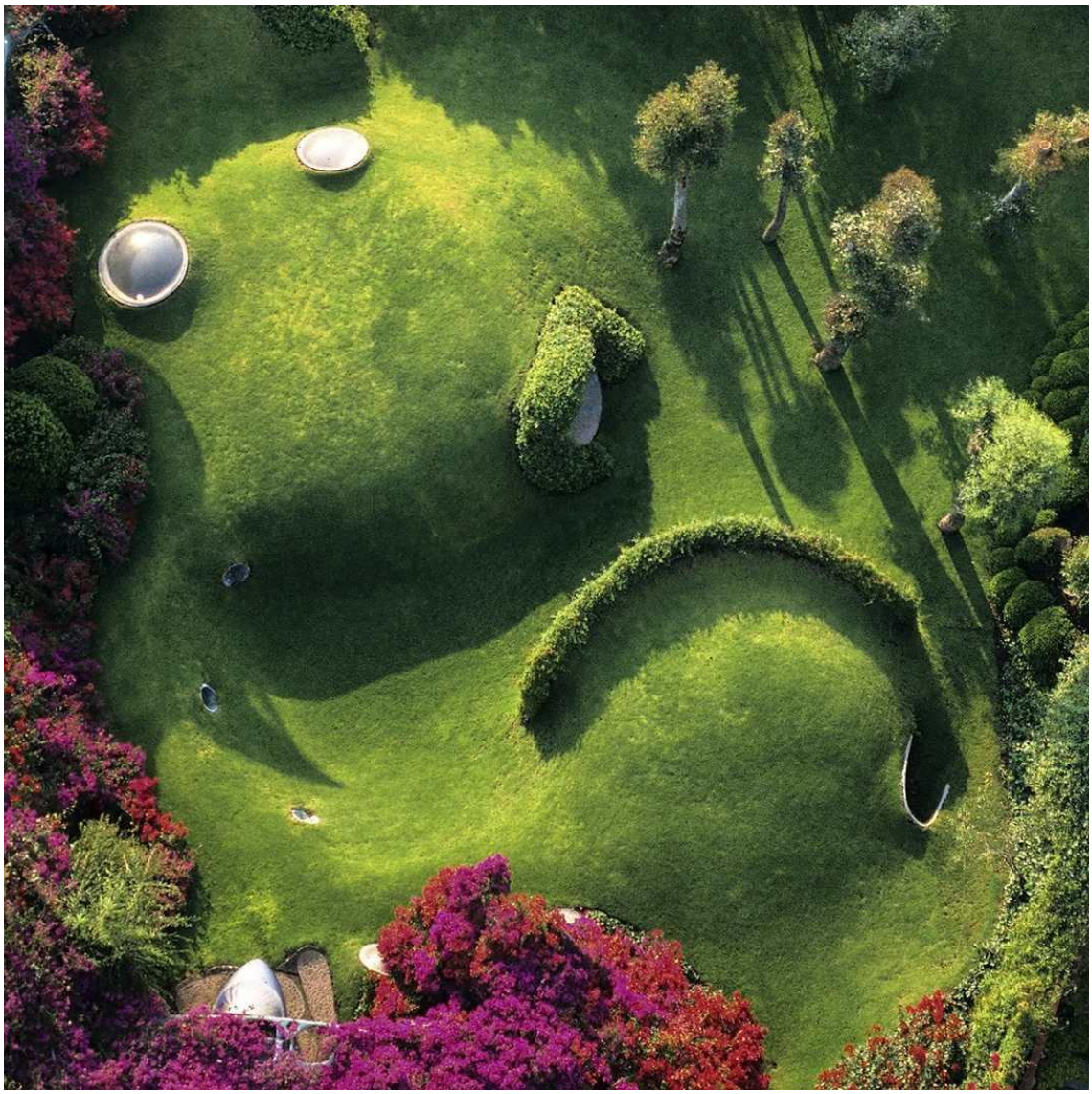

Fig. 90 La Casa Orgánica; a presente figura, foi retirada de “arquitecturaorganica.com/habitat-organico/la-casa-organica.php”, (s.a., s.d).

Fig. 91 La Casa Orgánica; a presente figura, foi retirada de “arquitecturaorganica.com/habitat-organico/la-casa-organica.php”, (s.a., s.d).

Fig. 92 La Casa Orgánica; a presente figura, foi retirada de “arquitecturaorganica.com/habitat-organico/la-casa-organica.php”, (s.a., s.d).

4.2.2.1. – Interior

Fig. 93 La Casa Orgánica; a presente figura, foi retirada de “arquitecturaorganica.com/habitat-organico/la-casa-organica.php”, (s.a., s.d.).

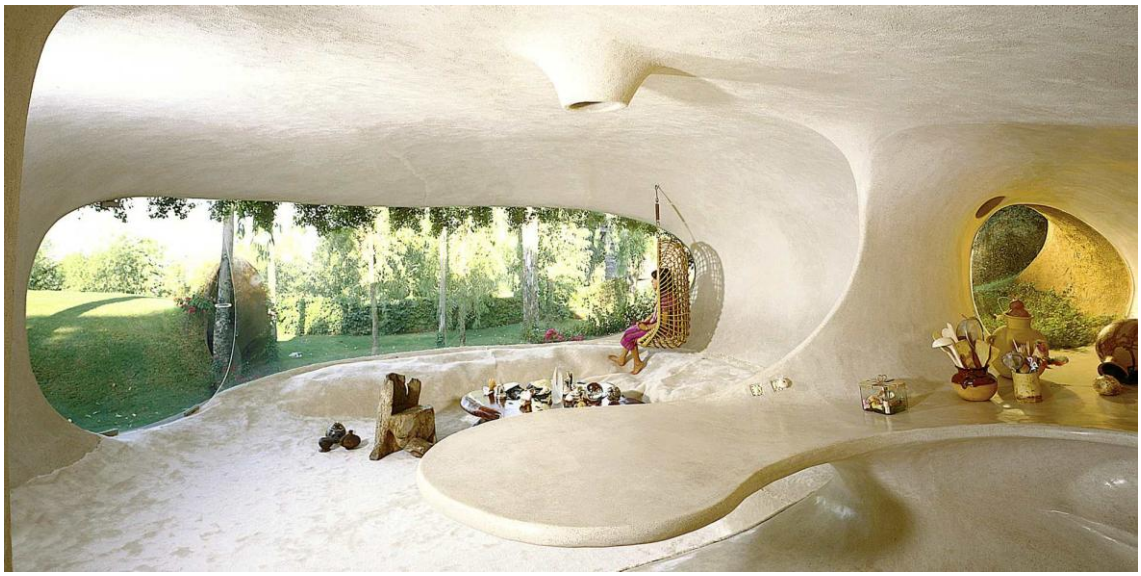

Fig. 94 La Casa Orgánica; a presente figura, foi retirada de “arquitecturaorganica.com/habitat-organico/la-casa-organica.php”, (s.a., s.d.).

Fig. 95 La Casa Orgánica; a presente figura, foi retirada de “arquitecturaorganica.com/habitat-organico/la-casa-organica.php”, (s.a., s.d.).

Fig. 96 La Casa Orgánica; a presente figura, foi retirada de “arquitecturaorganica.com/habitat-organico/la-casa-organica.php”, (s.a., s.d.).

Fig. 97 La Casa Orgánica; a presente figura, foi retirada de “arquitecturaorganica.com/habitat-organico/la-casa-organica.php”, (s.a., s.d.).

Fig. 98 La Casa Orgánica; a presente figura, foi retirada de “arquitecturaorganica.com/habitat-organico/la-casa-organica.php”, (s.a., s.d.).

4.3. Roth – Uh May Residence – Tulum, México

A *Uh May Residence*, de Roth, é uma obra arquitetónica que vai contra as normas da Arquitetura e procura uma integração visceral com a natureza. Inspirada na selva que a envolve, apresenta-se como uma manifestação escultural, orgânica e espontânea. Construída em 2018 como local de habitação e trabalho é a manifestação dos princípios arquitetónicos do seu criador e da comunidade de colaboradores.

Os espaços foram realizados sem planos, conceitos ou desenhos técnicos e a construção emergiu como um **processo improvisado** e dinâmico em resposta direta às condições do ambiente natural, como a luz, os ciclos da fauna e a posição das árvores. O desenho arquitetónico rejeita completamente as linhas retas e ângulos ortogonais, imitando diretamente a fluidez das **formas naturais**[264]. Ao incorporar duzentas e cinquenta árvores no interior, criando aberturas para permitir o seu crescimento, torna-se simbiótica, e coexiste com o ambiente. Esta abordagem baseia-se na **intuição** e considera a natureza como parte integral do espaço construído e como norteadora da criatividade[265].

O projeto incorpora **materiais locais e métodos artesanais**, tradicionais das comunidades indígenas, como a tecelagem e o uso do bejuco (árvore nativa), reforçando a conexão cultural com a região. Além disso, evita o uso de máquinas pesadas para minimizar o impacto na selva, tornando-a numa construção ambientalmente consciente, ao preservar o ecossistema pré-existente. O uso do bejuco na criação de percursos irregulares, na sua forma e textura, criam no transeunte uma relação mais íntima com o lugar, forçando-o a estar presente e a prestar atenção aos pequenos detalhes[266]. O mesmo acontece na conceção do mobiliário que vai contra os ideais da ergonomia, no entanto, ao colocar uma "estante" no chão, força a pessoa a baixar-se entrar em contacto com o solo e explorar não só o espaço como a relação com o próprio corpo.

A casa é descrita como um espaço meditativo, que envolve e abraça como o **colo de uma mãe**[267]. Os ambientes marcam através das formas naturais, dos padrões com **geometria fractal**, e das texturas orgânicas que evocam a natureza e criam uma

[264]Neira, E., *et al*, (2019), "frameweb.com/project/uh-may-residence-tulum-qroo"
[265]Neira, E., *et al*, (2019), "architizer.com/projects/residence-uh-may"
[266]Neira, E., *et al*, (2020), "archdaily.com/906448/azulik-uh-may-jorge-eduardo-neira-sterkel"
[267]Em complemento, rever o material teórico do subcapitulo 2.3; Teoria Winnicotiana.

transição entre **estados emocionais** e físicos[268], oferecendo espaços onde o humano é constantemente lembrado de sua conexão com o ambiente natural.

[268]Neira, E., *in*, NOWNESS, (2022), In Residence: Eduardo Neira, Roth | The Mexican house cut from nature, "youtube.com/watch?v=FXMzhl9F4uw"

4.3.1. Arquitetura

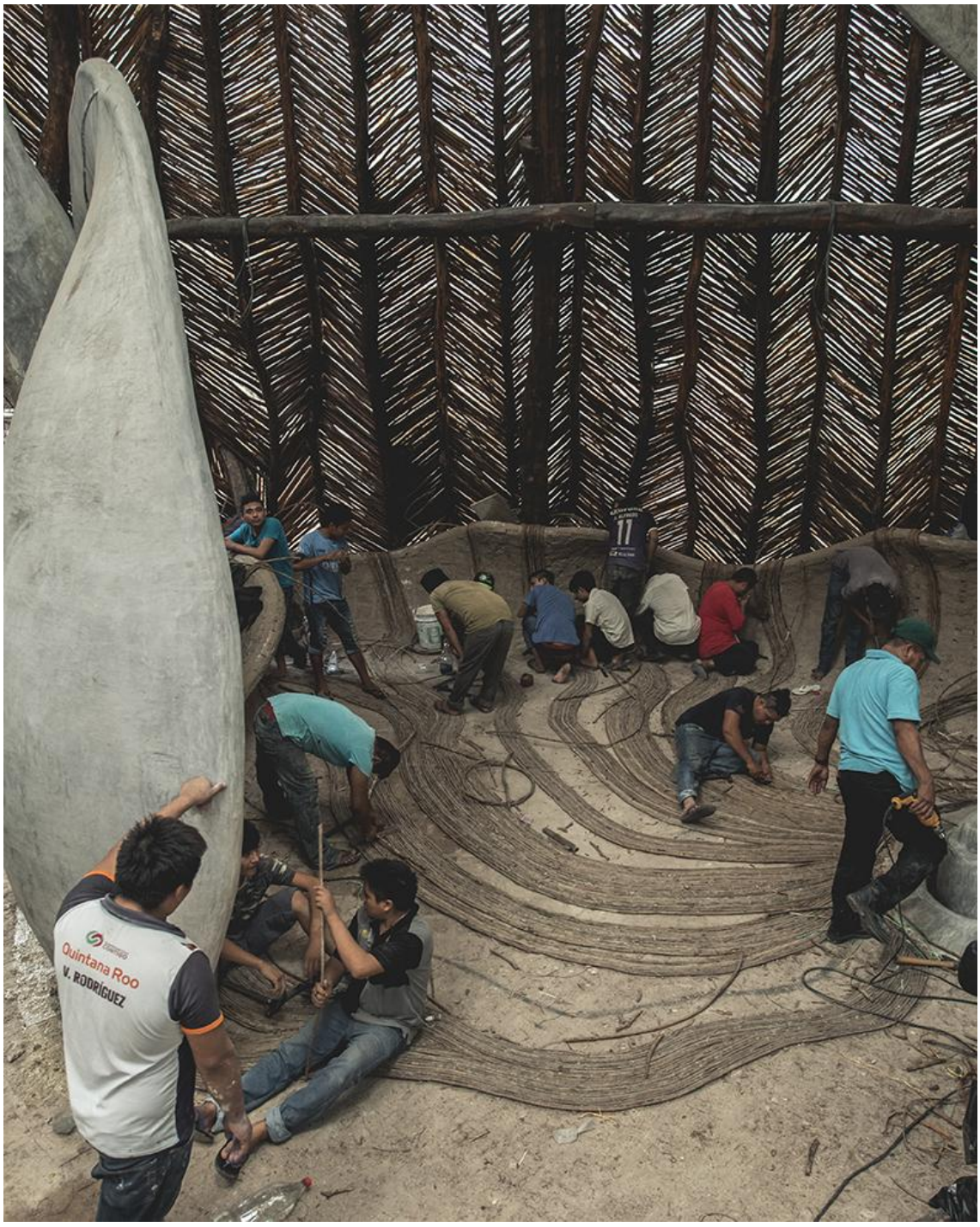

Fig. 99 Uh May Residence – obra; a presente figura, foi retirada de “architizer.com/projects/iklab-uh-may/”, (s.a., s.d.).

Fig. 100 Uh May Residence; a presente figura, foi retirada de “architizer.com/projects/residence-uh-may/”, (s.a., s.d.).

Fig. 101 Uh May Residence; a presente figura, foi retirada de “youtube.com/watch?v=FXMzhl9F4uw”, (s.a., s.d.).

Fig. 102 Uh May Residence; a presente figura, foi retirada de “architizer.com/projects/residence-uh-may/”, (s.a., s.d.).

Fig. 103 Uh May Residence; a presente figura, foi retirada de “frameweb.com/project/uh-may-residence-tulum-qroo”, (s.a., s.d.).

Fig. 104 Uh May Residence; a presente figura, foi retirada de “youtube.com/watch?v=FXMzhl9F4uw”, (s.a., s.d.).

Fig. 105 Uh May Residence; a presente figura, foi retirada de “frameweb.com/project/uh-may-residence-tulum-qroo”, (s.a., s.d.).

Fig. 106 Uh May Residence; a presente figura, foi retirada de “youtube.com/watch?v=FXMzhl9F4uw”, (s.a., s.d.).

Fig. 107 Uh May Residence; a presente figura, foi retirada de “youtube.com/watch?v=FXMzhl9F4uw”, (s.a., s.d.).

Fig. 108 Uh May Residence; a presente figura, foi retirada de “architizer.com/projects/residence-uh-may/”, (s.a., s.d.).

Fig. 109 Uh May Residence; a presente figura, foi retirada de “architizer.com/projects/residence-uh-may/”, (s.a., s.d.).

Fig. 110 Uh May Residence; a presente figura, foi retirada de “youtube.com/watch?v=FXMzhl9F4uw”, (s.a., s.d.).

Fig. 111 Uh May Residence; a presente figura, foi retirada de “youtube.com/watch?v=FXMzhl9F4uw”, (s.a., s.d.).

4.3.2. “Projeto”

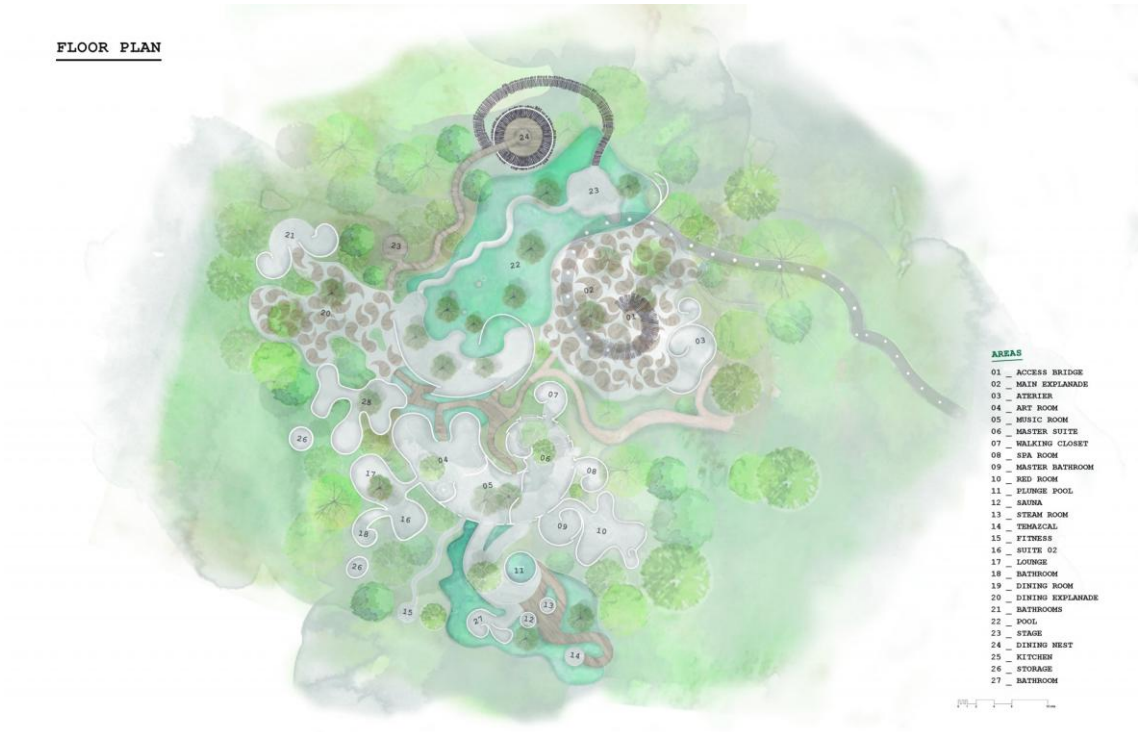

Fig. 112 Uh May Residence – planta baixa; a presente figura, foi retirada de “frameweb.com/project/uh-may-residence-tulum-qroo”, (s.a., s.d.).

Fig. 113 Uh May Residence – corte transversal da zona de refeições; a presente figura, foi retirada de “frameweb.com/project/uh-may-residence-tulum-qroo”, (s.a., s.d.).

Fig. 114 Uh May Residence – corte transversal da suite; a presente figura, foi retirada de "frameweb.com/project/uh-may-residence-tulum-qroo", (s.a., s.d.).

4.4. Quadro Comparativo e Análise

Tabela 2 Correlação dos casos de estudo com as 14 unidades de registo, (autor, 2025)

Nome	Localização	Ano	Arquiteto	Menciona fatores psicológicos	Padrões observáveis	Impacto = (Nº de benefícios) X (rigor empírico)
La Fabrica	Barcelona, Espanha	1975	Ricardo Bofill	SIM	[P1];[P2];[P3];[P4];[P5];[P6];[P7] [P8] [P12];[P14]	38 em 53
Casa Orgânica	Naucalpan, México	1984	Javier Senosiain	SIM	[P1];[P2];[P3];[P4];[P5];[P6];[P7] [P8];[P9] [P11];[P12];[P13]	48 em 53
Uh May Residence	Tulum, México	2018	Roth	SIM	[P1];[P2];[P3];[P4];[P5];[P6];[P7] [P8];[P9];[P10] [P12];[P14]	42 em 53

O quadro comparativo estabelece uma relação entre os projetos analisados sob a forma de um indicador baseado na tabela das catorze unidades de registo [Fig. 19]. Para realizar o cálculo que permite um total de cinquenta e três pontos, foi multiplicado o número de benefícios comprovados para cada uma das unidades de registo, pela validade empírica sob a forma de estudos comprovados e *peer reviewd*, assinalados na tabela com asteriscos consoante a validade, numa escala de um a três.

Com a análise efetuada aos três casos de estudo é pretendido encontrar semelhanças projetais e de pensamento nos seus autores e deste modo compreender como criaram espaços, ambientes e edifícios que são biofílicos sem existir essa premissa. Compreender qual a matriz da sua criatividade e quais os conceitos norteadores do seu desenho, quais as suas inspirações, e aversões.

Ora, no decorrer da exposição dos três casos de estudo, encontram-se assinaladas a negrito as principais referencias conceptuais desenvolvidas pelos respetivos arquitetos. Correlacionando-os destacam-se as semelhanças entre eles nomeadamente a relação íntima com o lugar, a procura da integração da natureza e uma preocupação com fatores psicológicos.

Em todos os projetos a sua idealização é efetuada *in situ*, com uma índole fantasiosa e recorrendo à imaginação, um exercício inicial de pensamento abolido de como efetuar, e focado no porquê. Iniciam-se com um questionar do local, e consequentemente o estudo do mesmo, recorrendo à observação e idealizando a materialização espacial. Neste ponto, efetua-se uma distinção entre a Arquitetura praticada por Bofill e Senosiain, comparativamente à de Roth que nunca entra na fase de projeto, o seu trabalho vai sendo desenvolvido gradualmente, sem nunca existir um desenho prévio, relativamente ao que se pretende construir.

No caso da integração da natureza, esta é uma preocupação essencial para os três, manifestando-se de formas distintas e com diferentes graus de intensidade, Bofill mostra uma grande preocupação com a natureza como forma de incorporar vida no projeto e purificar aquele foi outrora um espaço poluidor. O manto verde como apelidado pelo autor, surge em toda a envolvente e no próprio edifício envolvendo-o desde a sua cobertura e cascateando até ao solo, como que reclamando de volta o lugar. Não fossem os seus vidros límpidos e aparentaria ser somente uma ruína abandonada. No interior, a natureza é invocada através de plantas. No segundo caso de estudo, a habitação de Senosiain, a natureza envolve todo o projeto, ficando os espaços debaixo de terra e o terreno coberto por vegetação, o terreno é trabalhado segundo a sua topografia e deste modo, são abertas fenestrações que criam uma relação direta com o exterior e removem, à exceção da entrada do terreno, qualquer espaço de transição entre interior e exterior. À semelhança da caverna primitiva, o ser humano ou se

encontra dentro ou fora. Já na obra desenvolvida por Roth a integração da natureza è assumida ao extremo e integrada em todos os ambientes, não sob a forma de plantas em vasos, mas criando aberturas quer na base quer na cobertura dos espaços permitindo às arvores nativas que continuem o seu crescimento. Esta abordagem tem uma enorme preocupação ecológica e cria dinâmicas de interação com o meio natural muito próximas, promovendo o contacto direto, e consequentemente uma preocupação com o cuidar do espaço que é tanto do ser que o habita como dos seres que previamente o habitavam.

A terceira semelhança que se verifica nos discursos dos três arquitetos é referente a uma preocupação com os fatores psicológicos. Neste ponto, embora o mais significativo para a biofilia e consequentemente Neuroarquitetura, nenhum dos discursos dos três arquitetos é cientificamente fundamentado, libertando assim a análise para a subjetividade da minha opinião.

Ora como já vem sendo idealizado, o processo criativo do arquiteto deve ser informado por todas as vertentes que o envolvem, no entanto não deve ser condicionado por elas, é desta forma que se enquadram os três casos de estudo, ao demonstrarem uma preocupação com os fatores psicológicos, não detalhando os seus mecanismos. Tendo como referência o quadro comparativo e a quantidade de padrões biofílicos que se encontram representados nas suas obras verifica-se a validade do seu cuidado com a introdução do tema ainda que não explicitamente descrito.

5. O Novo Paradigma da Arquitetura

-PARAÍSO-

"[...] o Poeta descreve a dança das duas coroas de espíritos celestes. S. Tomás resolve a segunda dúvida de Dante. Adão e Jesus Cristo são seres perfeitíssimos, por serem obra imediata de Deus. Mas ele não pode ser comparado nem a Adão nem a Jesus Cristo. Conclui o Santo advertindo do perigo dos juízos precipitados, e de quanto é sujeito a enganar-se quem julga das coisas pelas aparências....."

Dante, A.; (1321)

5.1. O Arquiteto Polímata na Era Digital

O presente trabalho iniciou-se com o pressuposto de investigar o conceito de biofilia e qual a sua relação com o espaço e a Arquitetura. Rapidamente se interiorizou a complexidade do tema em questão e do mesmo modo a investigação direcionou-se no sentido das descobertas. A biofilia é genericamente descrita como "a tendência inata dos seres humanos procurarem conexões com a natureza"[269], e com base nesta observação vários autores procuraram e encontraram evidencias empíricas que a validam. Neste contexto, emerge a primeira fragmentação que evidencia duas temáticas pertinentes ao estudo: a perceção e a ecologia.

Apesar da aparente dissociação temática, estes são complementares e estabelecem a base da biofilia, e à luz da atual procura pela reintegração da natureza no nosso dia a dia, maioritariamente nas cidades encontra-se um paralelismo simbiótico onde ao criarmos condições para recuperar a natureza e a biodiversidades, estamos a ajudar a recuperar faculdades mentais e a criar condições mais favoráveis ao nosso desenvolvimento como humanidade. Para materializar os ideais supracitados procurou-se investigar quais as políticas e os mecanismos disponíveis que impulsionassem a recuperação a uma macro escala.

No seguimento do estudo da perceção humana, procurou-se estudar melhor a mente e compreender o denominador comum a todos os projetos de Arquitetura, e o denominador comum a todos os seres humanos. Nesta fase, tornaram-se claras as respostas fisiológicas e as metodologias que vêm sendo desenvolvidas para a sua medição, o que permite uma análise científica da interação entre mente e espaço. Uma especialidade de Arquitetura contemporânea chamada Neuroarquitetura, que funde a Arquitetura com a neurologia.

Com a contemporaneidade em mente, tornou-se evidente a pertinência de aprofundar a investigação no sentido da inteligência digital, o tema que se encontra na vanguarda do desenvolvimento tecnológico, para perceber quais as suas possibilidades, e como a integrar de forma responsável na conceptualização arquitetónica. Já existem ferramentas que complementam o trabalho do arquiteto, o facilitam e libertam a criatividade do mesmo ao realizarem as tarefas monótonas e repetitivas da Arquitetura. Mas a grande questão que se evidenciou é a da possibilidade da entrega de um completo projeto a algo diferente, mas igual. Como atualmente construímos um abrigo para qualquer outro ser, para qualquer outro animal, permitirmos a entrega da criatividade, algo que assumimos como único ao ser humano, a um ser mais capaz.

[269]Wilson, E., (1984), Biophilia: the human bond with other species, p. 1

O estudo da biofilia e os seus princípios, delinearam as bases conceptuais para o elaborar da teoria científica da Arquitetura, e estabeleceram métodos de avaliação numa altura em que a sua replicabilidade e difusão eram complicados.

Com os avanços científicos e de comunicação, é aos dias de hoje, mais simples expandir as metodologias e cruzar dados entre universidades para verificar as hipóteses que forem surgindo ou validar teorias não inerentemente ligadas à biofilia. Idealizações elaboradas por arquitetos somente baseados no seu instinto e nas suas vivências que se encontram descritas nos seus escritos e livros. Utilizando o exemplo de Peter Zumthor e o seu livro atmosferas, é possível registar e quantificar as respostas a temas como relação interior exterior, temperatura, luz, materiais, som, a sedução do espaço, e verificar a sua validade, elaborando um quadro concreto para uma determinada população. Esta abordagem permite o criar de uma base científica para a Arquitetura que pode posteriormente facilitar a elaboração de guias práticos de desenho que podem ser utilizados tanto pelo arquiteto como ser introduzidos em bases de dados para posterior desenvolvimento da Arquitetura digital.

Ao fazer uso do *design* biofílico, de práticas regenerativas e de processos de criação intensificados pela tecnologia, a Arquitetura pode tornar-se uma ponte entre a habitação humana e a preservação ecológica. Esta dissertação sublinha a urgência de uma transição para estratégias de *design* regenerativo e resiliente, defendendo um paradigma arquitetónico que alie inovação e responsabilidade ecológica.

Sugere-se para o futuro o desenvolvimento de estudos em ambiente académico que analisem diferentes ambientes e as suas respostas para a validação no povo português

> *"[...] Dante sobe do céu de Júpiter ao de Saturno, no qual encontra as almas dos que se dedicaram na vida à celeste contemplação, onde vê uma escada altíssima pela qual vai subindo o descendo uma multidão de almas resplendentes. S. Pedro Damião vai ao encontro do poeta e lhe fala do dogma da predestinação."*
>
> Dante, A.; (1321)

5.2. Manifesto

A Arquitetura deve ir além do estático e inerte. Deve tornar-se dinâmica, responsiva e alinhada às necessidades mais profundas dos seus habitantes. O futuro do *design* encontra-se na fusão da biofilia, a intrínseca conexão humana com a natureza; da Neuroarquitetura, a ciência de projetar para a mente e as emoções humanas; e da inteligência artificial (IA), uma ferramenta transformadora que redefine as possibilidades dos ambientes construídos. Este manifesto declara uma visão para uma Arquitetura que seja restauradora, inteligente e profundamente humana.

5.2.1. Princípios

1. **Reintegrar a natureza no ambiente construído:**
   A natureza não é apenas um cenário, é uma coautora do espaço. O *design* biofílico dissolve as barreiras entre o natural e o artificial. Como ecossistemas integrados, os nossos edifícios devem respirar, crescer e evoluir em sintonia connosco.
2. **Projetar para a mente:**
   Os espaços não são neutros, eles moldam os nossos pensamentos, emoções e comportamentos. Compreender como a luz, as texturas, a escala e a acústica afetam o cérebro permite criar ambientes que acalmam a ansiedade, despertam a criatividade e promovem a saúde mental.
3. **Inteligência como aliada:**
   A inteligência artificial não substitui o arquiteto; amplifica a sua visão. Permite analisar grandes conjuntos de dados, prever impactos ambientais e personalizar projetos de forma sem precedentes. Na prática os sistemas inteligentes tornam os espaços adaptáveis, aprendem com as interações humanas e evoluem para atender melhor às necessidades de quem os habita.
4. **Sustentabilidade como norma:**
   O ambiente construído deve transformar-se de extrativo para regenerativo e a Arquitetura deve ser uma força positiva no ecossistema. Os princípios biofílicos e a otimização baseada em IA possibilitam a criação de espaços que restauram ecossistemas, purificam o ambiente, estimulam a biodiversidade e contribuem para a saúde ecológica em vez de a degradar.
5. **Conexão emocional através do espaço:**
   Os espaços devem tocar o ser e oferecer mais do que funcionalidade, devem inspirar admiração, serenidade e pertença. Através da fusão entre

Neuroarquitetura e *design* biofílico, a Arquitetura pode tornar-se um veículo de ressonância emocional, e criar ambientes com os quais os humanos se vinculem profundamente.

6. **Arquitetura adaptativa:**
   Os edifícios não devem ser estáticos, devem evoluir ao longo do tempo. A Arquitetura deve criar espaços que se possam adaptar a diferentes funcionalidades e mudanças sociais, mantendo a sua relevância ao longo do tempo.
7. **Inclusão:**
   A Arquitetura deve ser para todos, refletindo a diversidade cultural, social e física da humanidade. Cada projeto deve incorporar acessibilidade universal e o *design* deve refletir múltiplas experiências.
8. **Educar através do espaço:**
   Os edifícios podem ser mestres silenciosos. Sistemas visíveis de energia, água ou agricultura urbana mostram a interdependência entre os seres humanos e o planeta, e podem inspirar práticas sustentáveis, conscientes e comportamentos ecológicos.
9. **Beleza como necessidade:**
   A beleza deve ser tratada como um elemento essencial e não como um capricho. O *design* focado na estética e em harmonia com a funcionalidade, pode inspirar e criar momentos de contemplação e ligação espiritual.

5.2.2. Visão

A Arquitetura do futuro será viva. Integrará sistemas naturais, responderá às necessidades humanas em tempo real e adaptar-se-á aos ritmos sempre mutáveis da vida. Não se limitará a abrigar; será capaz de curar. Através da biofilia, asseguraremos que os espaços são vivos e acolhedores. Através da Neuroarquitetura, honraremos as complexidades da *psique* humana. Através da inteligência artificial, projetaremos com visão e precisão. Este manifesto é um apelo a arquitetos, investigadores e designers para abraçarem esta tríade de abordagens. Juntos, podemos criar ambientes empáticos, inteligentes e sustentáveis—uma simbiose entre natureza, humanidade e tecnologia.

Desenhemos espaços onde os humanos prosperem e a natureza floresça, onde a tecnologia eleve em vez de dominar, e onde as fronteiras entre mente, corpo e ambiente se dissolvam. A Arquitetura pode ser a ponte para um futuro harmonioso. **Que esta tese seja o seu plano-guia**.

Bibliografia

AA School of Architecture (Diretor). (2015, março 6). *Ricardo Bofill—Taller de Arquitectura* [Gravação de vídeo]. https://www.youtube.com/watch?v=BmreBOG-6ng

Abbas, S., Okdeh, N., Roufayel, R., Kovacic, H., Sabatier, J.-M., Fajloun, Z., & Abi Khattar, Z. (2024). Neuroarchitecture: How the Perception of Our Surroundings Impacts the Brain. *Biology*, *13*(4), 220. https://doi.org/10.3390/biology13040220

Alberti, L. B. (com Boston Public Library). (1485). *De re aedificatoria*. [Florence : Nicolaus Laurentii, Alamanus]. http://archive.org/details/leonisbaptistea00albe

Alves, J. (2014). *Estudos de captura de CO2 gasoso em compostos naturais e sintéticos* [doctoralThesis]. https://estudogeral.uc.pt/handle/10316/25233

Alzubi, J., Nayyar, A., & Kumar, A. (2018). Machine Learning from Theory to Algorithms: An Overview. *Journal of Physics: Conference Series*, *1142*(1), 012012. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1142/1/012012

Archer, L. B. (1964). *Systematic method for designers*. Council of Industrial Design.

Asimow, M. (1962). *Introduction to design*. Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall. http://archive.org/details/introductiontode0000asim

Attia, S. (2018). *Regenerative and Positive Impact Architecture*. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-66718-8

Auernhammer, J., & Ford, C. (2022, março). What is Design? The Semantic Core and Periphery of Design Definitions. *ResearchGate*. Design Thinking Research Symposium 13, Haifa, Israel. https://www.researchgate.net/publication/359742927_What_is_Design_The_Semantic_Core_and_Periphery_of_Design_Definitions

Averill, J. R. (1973). Personal control over aversive stimuli and its relationship to stress. *Psychological Bulletin*, *80*(4), 286–303. https://doi.org/10.1037/h0034845

Bamberg, M., & Zielke, B. (2007). *From Dialogical Practices to Polyphonic Thought? Developmental Inquiry and Where to Look for It*. *2*(1), 223–242. https://ijds.lemoyne.edu/journal/2_1/IJDS.2.1.14.Bamberg_Zielke.html

Bandura, A. (1977a). Self-efficacy: Toward a unifying theory of behavioral change. *Psychological Review*, *84*(2), 191–215. https://doi.org/10.1037/0033-295X.84.2.191

Bandura, A. (1977b). *Social learning theory*. Prentice-Hall.

Barker, R. G. (Roger G. (1968). *Ecological psychology; concepts and methods for studying the environment of human behavior*. Stanford, Calif. : Stanford University Press. http://archive.org/details/ecologicalpsycho0000bark

Beatley, T. (2008). Toward Biophilic Cities: Strategies for Integrating Nature into Urban Design. Em S. R. Kellert, J. Heerwagen, & M. Mador (Eds.), *Biophilic design: The theory, science, and practice of bringing buildings to life*. Wiley.

Beatley, T. (2011). *Biophilic cities: Integrating nature into urban design and planning*. Island Press.

Berkeley, G. (com University of California Libraries). (1713). *Three dialogues between Hylas and Philonous. The design of which is plainly to demonstrate the reality and perfection of humane knowledge, the incorporeal nature of the soul, and the immediate providence of a deity: In opposition to sceptics and atheists. Also, to open a method for rendering the sciences more easy, useful, and compendious*. London : Printed by G. James, for Henry Clements. http://archive.org/details/threedialoguesbe00berkrich

BlessedArch (Diretor). (2023, junho 25). *AI will not replace architects—Patrik Schumacher from Zaha Hadid Architects* [Gravação de vídeo]. https://www.youtube.com/watch?v=9Fft67Mq_0c

Boff, L. (1998). *O despertar da águia: O dia-bólico e o sim-bólico na construção da realidade*. Ed. Vozes.

Bofill, R. (sem data). *La Fábrica*. Ricardo Bofill Taller de Arquitectura. Obtido 18 de dezembro de 2024, de https://ricardobofill.com/la-fabrica/read/

Bofill, R., & Cruells, B. (1992). *Ricardo Bofill*. G. Gili.

Bofill, R., James, W. A., & Taller de Arquitectura (Eds.). (1988). *Ricardo Bofill: Taller de Arquitectura ; buildings and projects 1960-1985* (1. publ). Rizzoli.

Bohr, N. (1928). The Quantum Postulate and the Recent Development of Atomic Theory1. *Nature*, *121*(3050), 580–590. https://doi.org/10.1038/121580a0

Branco, V. V., Correia, L., & Cardoso, P. (2023). The use of machine learning in species threats and conservation analysis. *Biological Conservation*, *283*, 110091. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.110091

Brodmann, K. (com Wellcome Library). (1909). *Vergleichende Lokalisationslehre der Grosshirnrinde in ihren Prinzipien dargestellt auf Grund des Zellenbaues*. Leipzig : Barth. http://archive.org/details/b28062449

Browning, W. D., Kallianpurkar, N., Ryan, C., & Labruto, L. (2012). *The Economics of Biophilia*. Terrapin Bright Green LLC. https://www.terrapinbrightgreen.com/report/economics-of-biophilia/

Browning, W., Ryan, C., & Clancy, J. (2014). *14 Patterns of Biophilic Design*. Terrapin Bright Green llc.

Brunswik, E. (1943). Organismic Achievement and Environmental Probability. *Psychological Review*, *50*(3), 255–272. https://doi.org/10.1037/h0060889

Calvin, K., Dasgupta, D., Krinner, G., Mukherji, A., Thorne, P. W., Trisos, C., Romero, J., Aldunce, P., Barrett, K., Blanco, G., Cheung, W. W. L., Connors, S., Denton, F., Diongue-Niang, A., Dodman, D., Garschagen, M., Geden, O., Hayward, B., Jones, C., … Péan, C. (2023). *IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.* (First). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647

Chang, A. C. (2020). *Intelligence-based medicine: Artificial intelligence and human cognition in clinical medicine and healthcare*. Academic Press is an imprint of Elsevier.

Chassot, A. (2020). *Alfabetização Cientifica: Questoes e Desafios para a Educação*. UNIJUI.

Chaves, L. I. (2010). Design para a Sustentabilidade Ambiental: Estratégias, métodos e ferramentas de design para o setor de móveis. *Estudos em Design*, *18*(1), Artigo 1. https://doi.org/10.35522/eed.v18i1.45

Constantino, M. (2007). *Química Orgânica: Curso Básico Universitário*. Ltc-Livros Tecnicos E Cientificos Editora Lda.

Damasio, A. R. (2004). *Descartes' error: Emotion, reason and the human brain* (18. Druck). Quill.

Dante Alighieri (com eBooksBrasil). (1321). *A Divina Comédia*. eBooksBrasil. http://archive.org/details/divinaComediaDante

Darwin, C. (com Burndy Library, donor D., Henry Sotheran Ltd., bookseller D., Edmonds & Remnants, binder D., & Smithsonian Libraries). (1859). *On the origin of species by means of natural selection, or, The preservation of favoured races in the struggle for life*. London : John Murray ... http://archive.org/details/onoriginofspec00darw

Design better cities with AI | Spacemaker. (sem data). Obtido 18 de dezembro de 2024, de https://www.autodesk.com/eu/campaigns/spacemaker

Donald Meltzer. (1978). *The Kleinian development*. Clunie Press. http://archive.org/details/kleiniandevelopm0000dona

Eberhard, J. P. (2009). *Brain landscape: The coexistance of neuroscience and architecture*. Oxford University Press.

Einstein, A. (1905). Zur Elektrodynamik bewegter Körper. *Annalen Der Physik*, *322*(10), 891–921. https://doi.org/10.1002/andp.19053221004

Ellard, C. (2020). Neuroscience, Wellbeing, and Urban Design: Our Universal Attraction to Vitality. *Psychological Research on Urban Society*, *3*(1). https://doi.org/10.7454/proust.v3i1.81

European Comission. (sem data-b). *The European Green Deal: A growth strategy that protects the climate*. Obtido 2 de novembro de 2024, de https://ec.europa.eu/stories/european-green-deal

European Comission. (2023a). *Social Climate Fund—European Commission*. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/social-climate-fund_en

European Investment Bank. (2020). *EIB Group climate bank roadmap 2021-2025*. Publications Office of the European Union. https://data.europa.eu/doi/10.2867/503343

Farate, C. (2014). *O falso Self na génese psíquica das patologias-limite? Ensaio de resposta clínica e reflexão epistemológica*. http://repositorio.ismt.pt/handle/123456789/752

Fechner, G. T. (com Francis A. Countway Library of Medicine). (1860). *Elemente der psychophysik*. Leipzig : Breitkopf und Härtel. http://archive.org/details/elementederpsych001fech

Flourens, P. (1824). *Récherches expérimentales sur les propriétés et les fonctions du système nerveux, dans les animaux vertébrés*. Crevot.

Fortin, M.-F. (1996). *O processo de investigação: Da concepção à realização* (3ª ed). Lusociência.

Fresco, J. (Diretor). (2010, outubro 28). *Jacque Fresco—Equilibrium* [Gravação de vídeo]. https://www.youtube.com/watch?v=7AOfh1x_Xt8

Freud, S., & Brill, A. A. (Abraham A. (com Francis A. Countway Library of Medicine). (1913). *The interpretation of dreams*. New York : Macmillan.

Freud, S. (com International Psychoanalytic University Berlin / Privatsammlung Arkadi Blatow). (1925). *Das Ich und das Es*. Internationaler Psychoanalytischer Verlag.

Fromm, E. (1964). *The heart of man, its genius for good and evil*. Harper & Row.

Garud, R., Henn, R., & Tharchen, T. (2015). What Does It Mean to Design? *ResearchGate*, *Academy of Management Proceedings 2015(1):13767-13767*. https://doi.org/10.5465/AMBPP.2015.13767abstract

Gazzaniga, M. S., Ivry, R. B., & Mangun, G. R. (2014). *Cognitive neuroscience: The biology of the mind* (Fourth edition). W. W. Norton & Company, Inc.

Gibson, J. (1977). The Theory of Affordances. Em R. Shaw & J. Bransford, *Perceiving, acting, and knowing: Toward an ecological psychology*. Hillsdale, N.J. : Lawrence Erlbaum Associates ; New York : distributed by the Halsted Press Division, Wiley. http://archive.org/details/perceivingacting0000unse

Gupta, J. (2016). Climate change governance: History, future, and triple-loop learning? *WIREs Climate Change*, *7*(2), 192–210. https://doi.org/10.1002/wcc.388

Halbritter, H., Weber, M., & Hesse, M. (2010). Unique aperture stratification in Carex (Cyperaceae) pollen. *Grana*, *49*(1), 1–11. https://doi.org/10.1080/00173130903566723

Heerwagen, J., & Hase, B. (2001). Building biophilia: Connecting people to nature in building design. *Environmental Design and Construction*, *3*, 30–36. http://legacy.usgbc.org.s3.amazonaws.com/usgbc/docs/Archive/External/Docs8543.pdf

Hickel, J. (2020). The sustainable development index: Measuring the ecological efficiency of human development in the anthropocene. *Ecological Economics*, *167*, 106331. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.05.011

Jackson, J. H. (1874). *On the nature of the duality of the brain*.

Jellicoe, G., & Jellicoe, S. (1975). *The landscape of man: Shaping the environment from prehistory to the present day* (Rev. ed). Thames and Hudson.

Jones, E. (com Osmania University & Digital Library Of India). (1951). *Essays In Applied Psychoanalysis Vol II*. The Hogarth Press Limited. http://archive.org/details/essaysinappliedp032204mbp

Jordan, P. (2002). *Seven Wonders of the Ancient World*. Taylor and Francis.

Kahn, P. H. (1999). *The human relationship with nature: Development and culture*. MIT Press.

Kahn, P. H., & Kellert, S. R. (Eds.). (2002). *Children and nature: Psychological, sociocultural, and evolutionary investigations*. The MIT Press. https://direct.mit.edu/books/edited-volume/2599/Children-and-NaturePsychological-Sociocultural-and

Kant, I. (1781). *Critique Of Pure Reason*. http://archive.org/details/CritiqueOfPureReason_201304

Kaplan, R., Kaplan, S., & Ryan, R. L. (1998). *With people in mind: Design and management of everyday nature*. Island Press.

Kaplan, S. (1992). *The restorative environment: Nature and human experience*. Timber Press. http://deepblue.lib.umich.edu/handle/2027.42/150712

Kaplan, S., Kaplan, R., & Wendt, J. S. (1972). Rated preference and complexity for natural and urban visual material. *Perception & Psychophysics*, *12*(4), 354–356. https://doi.org/10.3758/BF03207221

Karakas, T., & Yildiz, D. (2020). Exploring the influence of the built environment on human experience through a neuroscience approach: A systematic review.

Frontiers of Architectural Research, *9*(1), 236–247. https://doi.org/10.1016/j.foar.2019.10.005

Katuk, D., & Köseoğlu, E. (2023). Bibliometric analysis of water at the intersection of environmental psychology and biophilic design. *Architecture Papers of the Faculty of Architecture and Design STU*, *28*(1), 17–35. https://doi.org/10.2478/alfa-2023-0003

Kellert, S. R. (2005). *Building for life: Designing and understanding the human-nature connection*. Island Press.

Kellert, S. R., & Calabrese, E. (2015). *The Practice of Biophilic Design*.

Kellert, S. R., Heerwagen, J., & Mador, M. (Eds.). (2008). *Biophilic design: The theory, science, and practice of bringing buildings to life*. Wiley.

Kellert, S. R. (com Kellert, C.). (2018). *Nature by Design: The Practice of Biophilic Design*. Yale University Press. https://doi.org/10.12987/9780300235432

Kellert, S. R., & Wilson, E. O. (Eds.). (1995). *The Biophilia hypothesis*. Island Press.

Koffka, K. (1922). Perception: An introduction to the Gestalt-Theorie. *Psychological Bulletin*, *19*(10), 531–585. https://doi.org/10.1037/h0072422

Kopec, D. (2024). *Environmental psychology for design* (Fourth edition). Fairchild Books.

Korra, C., V, A. S., Reddy, A. R. K., Yelagandula, M., & Vemula, L. (2022). Transformative Approaches in Architectural Education: Leveraging Artificial Intelligence for Enhanced Design, Creativity, and Technical Integration. *International Journal of Transcontinental Discoveries, ISSN: 3006-628X*, *9*(1), Artigo 1. https://internationaljournals.org/index.php/ijtd/article/view/94

Labs, M. (sem data). *Monumental Labs*. Monumental Labs. Obtido 18 de dezembro de 2024, de https://monumental-staging.vercel.app/

Lang, J. (1987). *Creating Architectural Theory: The Role of the Behavioral Sciences in Environmental Design*. Van Nostrand Reinhold.

Lawson, B. (2005). *How designers think: The design process demystified* (4th ed.). Elsevier Architectural Press.

Lee, J. Y. Y., Miao, Y., Chau, R. L. T., Hernandez, M., & Lee, P. K. H. (2023). Artificial intelligence-based prediction of indoor bioaerosol concentrations from indoor

air quality sensor data. *Environment International*, *174*, 107900. https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.107900

Leibniz, G. W. (1991). *Monadology* (N. Rescher, Ed.). Routledge.

Lewis, P. (2019). *The impact of ecological thought on architectural theory*. https://rgu-repository.worktribe.com/output/841399/the-impact-of-ecological-thought-on-architectural-theory

Lienhard, J. H. (2000). *The engines of our ingenuity: An engineer looks at technology and culture*. Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/oso/9780195135831.001.0001

Liew, A. (2013). *DIKIW: Data, Information, Knowledge, Intelligence, Wisdom and their Interrelationships*. https://www.semanticscholar.org/paper/DIKIW%3A-Data%2C-Information%2C-Knowledge%2C-Intelligence%2C-Liew/695f73fef84353bcec7cb66c0683f582522e18e2

Locke, J. (1689). *An Essay Concerning Human Understanding*. http://archive.org/details/in.ernet.dli.2015.223061

Macedo, L., & Silveira, A. (2012). Self: Um conceito em desenvolvimento. *Paidéia (Ribeirão Preto)*, *22*, 281–290. https://doi.org/10.1590/S0103-863X2012000200014

Mahmoodi, A. S. (2001). *The design process in architecture: A pedagogic approach using interactive thinking* [Phd, University of Leeds]. https://etheses.whiterose.ac.uk/2155/

Manzano-Agugliaro, F., Montoya, F. G., Sabio-Ortega, A., & García-Cruz, A. (2015). Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *49*, 736–755. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.095

Mazzeo, D., Matera, N., Peri, G., & Scaccianoce, G. (2023). Forecasting green roofs' potential in improving building thermal performance and mitigating urban heat island in the Mediterranean area: An artificial intelligence-based approach. *Applied Thermal Engineering*, *222*, 119879. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.119879

McDonough, W., & Braungart, M. (2002). *Cradle to cradle: Remaking the way we make things*. North Point Press.

Mitchell, T. M. (1997). *Machine learning* (Nachdr.). McGraw-Hill.

Müller, O., & Rotter, S. (2017). Neurotechnology: Current Developments and Ethical Issues. *Frontiers in Systems Neuroscience*, *11*. https://doi.org/10.3389/fnsys.2017.00093

Neira, E. (sem data). *Uh May Residence, Tulum Qroo*. Obtido 20 de janeiro de 2025, de https://frameweb.com/project/uh-may-residence-tulum-qroo

Neira, E. (2019, junho 19). *Residence Uh May by ROTH ARCHITECTURE*. Architizer. https://architizer.com/projects/residence-uh-may/

Neira, E. (2020, outubro 27). *Azulik Uh May Art Center / Roth-Architecture*. ArchDaily. https://www.archdaily.com/906448/azulik-uh-may-jorge-eduardo-neira-sterkel

Neuron: AI Smart Building Console. (sem data). Neuron: AI Smart Building Console. Obtido 18 de dezembro de 2024, de https://www.arupneuron.com/

Nilsson, N. J. (2010). *The quest for artificial intelligence: A history of ideas and achievements*. Cambridge University press.

NOWNESS (Diretor). (2014, setembro 29). *In Residence Ep 15: "Ricardo Bofill" by Albert Moya* [Gravação de vídeo]. https://www.youtube.com/watch?v=SIQlWkYijLM

NOWNESS (Diretor). (2022, abril 15). *In Residence: Eduardo Neira, Roth | The Mexican house cut from nature* [Gravação de vídeo]. https://www.youtube.com/watch?v=FXMzhl9F4uw

Oliveira, A. O., & Mourão-Júnior, C. A. (2013). Estudo teórico sobre percepção na filosofia e nas neurociências. *Neuropsicologia Latinoamericana*, *5*(2), 41–53. https://doi.org/10.5579/rnl.2012.0083

Open House CDMX (Diretor). (2020, outubro 29). *Capítulo 4 Open House CDMX - La Casa Orgánica* [Gravação de vídeo]. https://www.youtube.com/watch?v=7ULZVAtMxco

Pallasmaa, J. (1996). *The eyes of the skin: Architecture and the senses* (Reprinted). Wiley-Academy.

Piano, R. (Diretor). (2018, abril). *Renzo Piano: The genius behind some of the world's most famous buildings | TED Talk* [Gravação de vídeo].

https://www.ted.com/talks/renzo_piano_the_genius_behind_some_of_the_world_s_most_famous_buildings

Poyyamozhi, M., Murugesan, B., Rajamanickam, N., Shorfuzzaman, M., & Aboelmagd, Y. (2024). IoT—A Promising Solution to Energy Management in Smart Buildings: A Systematic Review, Applications, Barriers, and Future Scope. *Buildings*, *14*(11), Artigo 11. https://doi.org/10.3390/buildings14113446

Product—AirWorks. (2022, fevereiro 2). https://airworks.io/product/

Purnomo, H., & Guizol, P. (2006). Simulating forest plantation co-management with a multi-agent system. *Mathematical and Computer Modelling*, *44*(5), 535–552. https://doi.org/10.1016/j.mcm.2006.01.009

Ramón y Cajal, S. (1888). *Estructura de los centros nerviosos de las aves*. [s. n.].

Raschka, S., Patterson, J., & Nolet, C. (2020). Machine Learning in Python: Main Developments and Technology Trends in Data Science, Machine Learning, and Artificial Intelligence. *Information*, *11*(4), Artigo 4. https://doi.org/10.3390/info11040193

Reality Capture & Construction Site Capture. (sem data). OpenSpace. Obtido 18 de dezembro de 2024, de https://www.openspace.ai/

Rene Descartes. (1637). *Descartes Rene Discourse On The Method Of Reasoning*. http://archive.org/details/descartes-rene-discourse-on-the-method-of-reasoning

Rowe, P. G., & Chung, Y. (2023). *Design Thinking and Storytelling in Architecture*. Birkhäuser. https://doi.org/10.1515/9783035628128

Russell, S. J., & Norvig, P. (com Chang, M., Devlin, J., Dragan, A., Forsyth, D., Goodfellow, I., Malik, J., Mansinghka, V., Pearl, J., & Wooldridge, M. J.). (2022). *Artificial intelligence: A modern approach* (Fourth edition, global edition). Pearson.

Russell, S., & Norvig, P. (2016). *Artificial intelligence: A modern approach* (Third edition). Pearson.

Saggs, H. W. F. (1962). *The greatness that was babylon*. Hawthorn Books, Inc.

Salingaros, N. A. (2015). *Biophilia & Healing Environments*. Metropolis and Terrapin Bright Green, LLC.

Samuel, A. L. (1967). Some Studies in Machine Learning Using the Game of Checkers. II—Recent Progress. *IBM Journal of Research and Development*, *11*(6), 601–617. IBM Journal of Research and Development. https://doi.org/10.1147/rd.116.0601

Senosiain, J. (2017). *Arquitectura orgánica* (F. de Haro Lebrija & O. Fuentes Elizondo, Eds.). Arquitectos Mexicanos.

Senosiain, J. (2020). *Arquitectura de raíces, naturaleza e identidad* (Primera edición). Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Arquitectura.

Silveira, M. do C. T. P. de C. (2021). *O Ambiente Macroeconómico como Fator Crítico da Construção da Resiliência Económica de Pequenos Estados Insulares: O caso de São Tomé e Príncipe* [doctoralThesis, Instituto Superior de Ciências Sociais e Políticas]. https://www.repository.utl.pt/handle/10400.5/23430

Simpson, E. H. (1949). Measurement of Diversity. *Nature*, *163*(4148), 688–688. https://doi.org/10.1038/163688a0

Siza, Á. (2012). *Imaginar a Evidência*. Edições 70.

Sousa, A. J. T. da S. e. (2023). *Aplicação de técnicas de Machine Learning para a previsão de processos industriais* [masterThesis]. https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/83739

Spencer, H. (com Oxford University). (1864). *The Principles of Biology*. Williams and Norgate. http://archive.org/details/principlesbiolo05spengoog

Sternberg, E. M., & Wilson, M. A. (2006). Neuroscience and Architecture: Seeking Common Ground. *Cell*, *127*(2), 239–242. https://doi.org/10.1016/j.cell.2006.10.012

Strannegård, C., Engsner, N., Eisfeldt, J., Endler, J., Hansson, A., Lindgren, R., Mostad, P., Olsson, S., Perini, I., Reese, H., Taylan, F., Ulfsbäcker, S., & Nordgren, A. (2022). Ecosystem Models Based on Artificial Intelligence. *2022 Swedish Artificial Intelligence Society Workshop (SAIS)*, 1–9. https://doi.org/10.1109/SAIS55783.2022.9833026

Suleyman, M. (2024, abril). *Mustafa Suleyman: What is an AI anyway? | TED Talk*. https://www.ted.com/talks/mustafa_suleyman_what_is_an_ai_anyway

Tegmark, M. (2015, julho 29). Open letter on AI weapons. *Future of Life Institute*. https://futureoflife.org/ai/open-letter-on-ai-weapons/

Teixeira, T. A., Vilaça, N. L., Printes, A. L., Gomes, R. C. S., Torné, I. G., Araújo, T.-Y. A., & Dias, A. G. D. e. (2023). Development of a Monitoring System against Illegal Deforestation in the Amazon Rainforest Using Artificial Intelligence Algorithms. *Engineering Proceedings*, *58*(1), Artigo 1. https://doi.org/10.3390/ecsa-10-16188

The Aesthetic City (Diretor). (2022, outubro 21). *What Makes Buildings Beautiful (And Why Beauty Does Matter)* [Gravação de vídeo]. https://www.youtube.com/watch?v=C9pg2j2oGy0

Tirelli, D., & Besana, D. (2023). Moving toward Net Zero Carbon Buildings to Face Global Warming: A Narrative Review. *Buildings*, *13*(3), Artigo 3. https://doi.org/10.3390/buildings13030684

Turing, A. M. (1950). Computing Machinery and Intelligence. *Mind*, *LIX*(236), 433–460. https://doi.org/10.1093/mind/LIX.236.433

Ulrich, R. (1974). *Scenery and the shopping trip: The roadside environment as a factor in route choice* [Unpublished doctoral dissertation, University of Michigan]. https://www.semanticscholar.org/paper/Scenery-and-the-shopping-trip-%3A-the-roadside-as-a-Ulrich/6e1f131942d9f9250e90fc52b17bd355cda120cc

Ulrich, R. (1979). Visual Landscapes and Psychological Well-Being. *Landscape Research - LANDSC RES*, *4*, 17–23. https://doi.org/10.1080/01426397908705892

Ulrich, R. (1984). View Through a Window May Influence Recovery from Surgery. *Science*, *224*(4647), 420–421. https://doi.org/10.1126/science.6143402

Ulrich, R., & Parsons, R. (1992). *Ulrich & Parsons 1992 Influences of experiences with plants on well-being and health*.

Ulrich, R., & Simons, R. (1986). Recovery from stress during exposure to everyday outdoor environments. *The costs of not knowing*, 115–122.

Urban Land Institute, INREV, & PRI. (2023). *Mapping ESG: A Landscape Review of Certifications, Reporting Frameworks and Practices*. Urban Land Institute.

Verbrugghe, N., Rubinacci, E., & Khan, A. Z. (2023). Biomimicry in Architecture: A Review of Definitions, Case Studies, and Design Methods. *Biomimetics*, *8*(1), Artigo 1. https://doi.org/10.3390/biomimetics8010107

Vezzoli, C., & Manzini, E. (2008). *Design for Environmental Sustainability* (2008th edition). Springer.

Vezzoli, C., & Sciama, D. (2006). Life Cycle Design: From general methods to product type specific guidelines and checklists: a method adopted to develop a set of guidelines/checklist handbook for the eco-efficient design of NECTA vending machines. *Journal of Cleaner Production*, *14*(15), 1319–1325. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2005.11.011

Villarouco, V., Ferrer, N., & Monique Paiva, M. (2021). *Neuroarquitetura: A neurociência no ambiente construído* (1st ed.). Rio Books.

Wang, T.-K., & Duan, W. (2023). Generative design of floor plans of multi-unit residential buildings based on consumer satisfaction and energy performance. *Developments in the Built Environment*, *16*, 100238. https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100238

Watson, J. B. (1913). Psychology as the behaviorist views it. *Psychological Review*, *20*(2), 158–177. https://doi.org/10.1037/h0074428

Weber, E. H. (1834). *De Pulsu, resorptione, auditu et tactu: Annotationes anatomicae et physiologicae* ... C.F. Koehler.

Williamson, J. F. (2016). *Kahn at Penn: Transformative teacher of architecture* (First issued in paperback). Routledge, Taylor & Francis Group.

Willis, T. (com Francis A. Countway Library of Medicine). (1664). *Cerebri anatome: Cui accessit nervorum descriptio et usus*. Londini : typis Ja. Flesher, impensis Jo. Martyn & Ja. Allestry apud insigne Campanae in Coemeterio D. Pauli. http://archive.org/details/cerebrianatomecu00will

Wilson, E. O. (1984). *Biophilia: The human bond with other species*. Harvard Univ. Press.

Winnicott, D. W. (1971). *Playing and Reality*. Tavistock Publications.

Wohlwill, J. F. (1966). The Physical Environment: A Problem for a Psychology of Stimulation. *Journal of Social Issues*, *22*(4), 29–38. https://doi.org/10.1111/j.1540-4560.1966.tb00546.x

Woody, W. D., & Viney, W. (2024). *A history of psychology: The emergence of science and applications* (Seventh edition). Routledge.

Wooldridge, M. J. (2020). *The road to conscious machines: The story of AI*. Pelican, an imprint of Penguin Books.

Yeang, K., & Woo, L. (2010). *Dictionary of Ecodesign* (0 ed.). Routledge. https://doi.org/10.4324/9780203864401

Zumthor, P. (2006). *Atmospheres*. Edition Architekturgalerie.

Apêndices

Apêndice I – Machine Learning

Tabela 3 Tipos de Machine Learning, elaborada com base no livro "Artificial intelligence: a modern approach" (Russel, S., & Norvig, P., 2022)

Tipo de Aprendizagem	Methodo/Algoritmo	Modelo	Como Funciona
Supervised Learning	Decision Tree Learning	Decision Tree	Responde recursivamente a um conjunto de perguntas predefinidas de forma dendrítica para encontrar o *output* correto.
	Best-First Search	Function Search	Pesquisa o *node* com o maior valor para expandir.
	Breadth-First Search	Uninformed Tree Search	Pesquisa todos os *nodes* principais primeiro, depois a segunda camada e depois a terceira, etc…
	Uniform-Cost Search	Uninformed Function Search	Procura uma solução e não expande a menos que seja necessário.
	Depth-First Search	Uninformed Tree Search	Expande sempre o primeiro *node* até atingir o fim e depois retrocede para abrir o próximo.
	Depth-Limited Search	Uninformed Tree Search	O mesmo que *Depth-First Search*, com um nível limite.
	Iterative Deepening Search	Uninformed Function Search	O mesmo que *Breadth-First Search*, mas não armazena informações desnecessárias.
	Bidirectional Search	Heuristic Search	Pesquisa simultaneamente para frente a partir do estado inicial e para trás a partir do(s) estado(s) objetivo(s), na esperança de que as duas pesquisas se encontrem.
	Greedy Best-First Search	Heuristic Search	*Best-First Search* que se expande no primeiro *node* com o valor mais baixo.
	A* Search	Heuristic Search	*Best-first search*, mas utiliza uma função de avaliação.
	Weighted A* Search	Heuristic Search	Uma variação de *A* Search* que troca otimização por velocidade.
	Beam Search	Heuristic Search	Mantém um número limitado de hipóteses em cada etapa, sacrificando

			a integridade e a otimização em prol da velocidade.
	Backpropagation	Artificial Neural Network (ANN)	Algoritmo de gradiente descendente para treinar *ANNs*.
	Linear Regression	Linear Model	Encontra a linha que melhor se ajusta para minimizar o erro quadrático.
	Logistic Regression	Logistic Model	Utiliza uma função logística para calcular a probabilidade de pertença a uma classe.
	Support Vector Machines (SVMs)	Support Vector Machine Model	Constroem um hiperplano de margem máxima para classificação e podem mapear os dados para espaços de maior dimensão, lidando eficazmente com a separabilidade não linear.
	k-Nearest Neighbors (k-NN)	k-NN Model	Classifica um ponto com base na classe maioritária entre os k's vizinhos mais próximos.
	Locally Weighted Regression	Locally Weighted Regression Model	Executa uma regressão ponderada, dando mais peso aos exemplos próximos.
Unsupervised Learning	k-Means Clustering	k-Means Model	Particiona os dados em k *clusters*.
	Principal Components Analysis (PCA)	PCA Model	Reduz a dimensionalidade ao encontrar as componentes principais (direções de variação máxima).
	Expectation-Maximization (EM)	Gaussian Mixture Model, Bayesian Network	Algoritmo iterativo para a estimativa de máxima verosimilhança em modelos com variáveis latentes.
	Autoencoders	Autoencoder Model	Rede neural treinada para reconstruir os seus inputs, utilizada para redução de dimensionalidade e aprendizagem de representações.
	Variational Autoencoders (VAEs)	VAE Model	Um tipo de *autoencoder* que utiliza a inferência variacional para aprender uma representação latente dos dados.
	Deep Autoregressive Models	Autoregressive Model	Modelos em que cada ponto de dados é previsto com base nos pontos de dados anteriores, frequentemente utilizam redes neurais profundas.
	Generative Adversarial Networks (GANs)	GAN Model	Duas redes neurais (gerador e discriminador) são treinadas em competição; o gerador aprende a produzir amostras de dados realistas.
Reinforcement Learning	Dynamic Programming (Value Iteration, Policy	Markov Decision Process (MDP)	Algoritmos para encontrar políticas ótimas em MDPs

	Iteration)		
	Temporal Difference Learning	Markov Decision Process (MDP)	Atualiza as estimativas de valor com base nas diferenças entre os estados sucessivos.
	Q-learning	Q-function	Algoritmo RL sem modelo que aprende valores Q (valores de ação).
	SARSA	Q-function	Algoritmo RL sem modelo que aprende valores Q. Se a exploração produzir um reforço negativo, penaliza a ação.
	Monte Carlo Tree Search (MCTS)	N/A	Utiliza simulações para orientar a pesquisa em jogos e aprendizagem por reforço.
	Policy Search	Policy	Otimiza diretamente os parâmetros de uma política de representação.
	Prioritized Sweeping	Markov Decision Process (MDP)	Prioriza quais os estados a atualizar na programação dinâmica.
	Experience Replay	N/A	Armazena e reproduz experiências anteriores para melhorar a estabilidade da aprendizagem.
	Inverse Reinforcement Learning	Reward Function	Infere a função de recompensa a partir do comportamento observado.
Learning Probabilistic Models	Maximum Likelihood Estimation	Bayesian Network, HMM, Linear Gaussian Models	Encontra parâmetros que maximizem a probabilidade dos dados observados.
	Bayesian Parameter Learning	Bayesian Network, HMM, Linear Gaussian Models	Utiliza o teorema de *Bayes* para atualizar as distribuições de probabilidade anteriores sobre os parâmetros do modelo.
	Structural Equation Modeling	Bayesian Network	Uma variação de EM que também aprende a estrutura da rede.