

## **Construção em taipa:**

Protótipo de uma moradia unifamiliar para uma  
arquitetura sustentável e resiliente

**Maria Inês Ribeiro Miranda**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

**Arquitetura**

(Mestrado Integrado)

Orientador: Prof. Doutor João Paulo Fialho de Almeida Pereira Delgado

Co-orientador: Prof. Doutor Clemente Martins Pinto

**outubro de 2025**



### **Declaração de Integridade**

Eu, Maria Inês Ribeiro Miranda, que abaixo assino, estudante com o número de inscrição 43558 do curso de Arquitetura da Faculdade de Engenharias, 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 referência de frases, extratos, imagens e outras formas de trabalho intelectual, e assumindo assim na íntegra as responsabilidades da autoria.

Universidade da Beira Interior, Covilhã 09 /10 /2025

A handwritten signature in black ink, reading "Maria Inês Ribeiro Miranda". The signature is written in a cursive, flowing style.

## Agradecimentos

Um profundo agradecimento à minha família que sempre me encorajou e esteve presente em todos os momentos, sem eles este percurso académico não seria possível. À minha mãe por todo o carinho e, especialmente, pela coragem que me deu ao longo destes anos. Ao meu pai pela paciência, pelos diálogos e por todos os conhecimentos de marcenaria que foram cruciais não só para o presente documento como ao longo desta jornada. À minha irmã que sempre acreditou em mim, e pelos abraços que foram imprescindíveis no apoio emocional. Ao Jerónimo por todo o amor e motivação que me proporcionou diariamente. À minha avó pelos inúmeros telefonemas que tanto me fizeram companhia. A eles, aos meus padrinhos, tios, tias, primos e primas por todo o amor incondicional, incentivo e suporte.

Aos professores João Paulo Delgado e Clemente Pinto por toda a orientação, disponibilidade, dedicação, generosidade e partilha de conhecimento. O acompanhamento prestado foi determinante para o desenvolvimento de uma visão mais crítica, para a coerência da investigação e para o rigor científico que consolidaram os princípios da dissertação.

Aos meus colegas que se tornaram amigos, que contribuíram significativamente para uma jornada mais enriquecedora. Agradeço a presença de todos os momentos de aflição e descontração, e sem dúvida a partilha de ideias, debates e gargalhadas que ficarão para sempre na memória.

A todos que, direta ou indiretamente, enriqueceram este percurso e contribuíram para o meu crescimento académico e pessoal, o meu profundo agradecimento.

## **Resumo**

Na presente dissertação de mestrado é apresentada um modo de repensar a forma de construir e de habitar face à época em que nos encontramos e vivemos, onde há uma forte escassez de recursos e um desequilíbrio nos ecossistemas. Para minimizar ao máximo o impacto ambiental que a construção de edifícios tanto promove, é feita uma análise comparativa das construções das primeiras civilizações, e de como estas continuam a prevalecer até aos dias de hoje, valorizando o conhecimento histórico e a tradição construtiva. Este material apresenta um forte potencial face ao conforto do ambiente interior e à eficiência energética, devido à sua capacidade de inércia térmica e de regulação higrotérmica. Verifica-se que a terra crua é um material sustentável, reciclável, ecológico, versátil, adaptável e acessível, que tem a facilidade em se enquadrar plenamente ao contexto contemporâneo.

Ao compreender as condicionantes do sistema construtivo, tanto ambientais quanto estruturais, o presente documento ressalta a necessidade de aceitar e “abraçar” as vulnerabilidades, tornando-as em oportunidades de estratégias inovadoras e resilientes. É explorado o diálogo entre tradição, inovação e sustentabilidade, evidenciando estratégias que articulem a estabilidade, a funcionalidade e adaptabilidade. Por conseguinte, evidencia-se um estudo de um protótipo habitacional que viabiliza e integra esses princípios, propondo uma nova forma mais consciente de habitar e construir.

## **Palavras-chave**

Arquitetura Sustentável; Construção em Taipa; Desempenho Estrutural; Europa; Protótipo; Habitação Unifamiliar

## **Abstract**

This master's thesis presents a way of rethinking how we build and inhabit our environment in the current era, where there are a severe shortage of resources and an imbalance in ecosystems. To minimise the environmental impact of building construction, a comparative analysis is made of the constructions of early civilisations and how they continue to prevail today, valuing historical knowledge and building traditions. This material has great potential in terms of indoor comfort and energy efficiency, due to its thermal inertia and hygrothermal regulation capacity. Raw earth is a sustainable, recyclable, ecological, versatile, adaptable and accessible material, and can be easily integrated into the contemporary context.

By understanding the constraints of the construction system, both environmental and structural, this document highlights the need to accept and “embrace” vulnerabilities, turning them into opportunities for innovative and resilient strategies. The dialogue between tradition, innovation and sustainability is explored, highlighting strategies that combine stability, functionality and adaptability. Consequently, it highlights a study of a housing model that enables and integrates these principles, proposing a new, more conscious way of living and building.

## **Keywords**

Sustainable Architecture; Rammed Earth Construction; Structural Performance; Europe; Prototype; Single-Family Dwelling.

# Índice

<b>1. Introdução</b>	<b>2</b>
1.1 Enquadramento e Relevância da Investigação	2
1.2 Questões e Objetivos	3
1.3 Metodologia de trabalho	5
1.4 Estrutura da dissertação	6
<b>2. Construir com o óbvio</b>	<b>9</b>
2.1 A Humanidade, a Natureza e a Arquitetura em terra	9
2.2 Construção em terra: da Tradição à Inovação	14
2.2.1 Sistemas Construtivos em terra crua	30
2.3 A Taipa: Evolução, Conceito e Processo Construtivo	39
2.4 Sistema Construtivo de terra em Portugal	56
<b>3. O Potencial da taipa</b>	<b>60</b>
3.1 A Escassez de Recursos Naturais e a Consciência Ambiental	61
3.2 Práticas de Construção Sustentável	64
3.3 Casos de Estudo	67
3.3.1 <i>Moradia Herdade Delgado</i>   Quintos, Beja, Portugal (2004-2008)	67
3.3.2 <i>Casa Lasso</i>   Cotopaxi, Equador (2019)	73
3.3.3 <i>L'Orangerie</i>   Confluence, Lyon, França (2021)	78
3.3.4 <i>Pavilhão Natural</i>   København, Dinamarca (2023)	84
3.4 Resiliência perante as Alterações Climáticas	86
3.4.1 Durabilidade	90
3.4.2 Estabilidade Estrutural	96
3.5 Comportamento Sísmico	105
<b>4. Construir com a Vulnerabilidade</b>	<b>121</b>
4.1 Enquadramento e Objetivos da Proposta	121
4.2 Conceito e Referências	123

4.3	Evolução Formal e Programa	129
4.4	Materiais, Estrutura e Sustentabilidade	136
4.5	Representação Gráfica	141
<b>5.</b>	<b>Considerações Finais</b>	<b>147</b>
	<b>Bibliografia</b>	<b>149</b>

## Lista de Figuras

- Fig. 1: Relação entre a Humanidade, a Natureza e a Arquitetura em terra. (autora, 2025)  
 ..... 8
- Fig. 2: Espaços efêmeros dos caranguejos; Fonte - [livro] *Arquitecturas de Tierra. El Arte de Construir con Tierra: Pasado, Presente y Porvenir*, 2019, p.40, de Jean Dethier; imagem editada pela autora .....10
- Fig. 3: Barreiras defensivas das rãs; Fonte - [livro] *Arquitecturas de Tierra. El Arte de Construir con Tierra: Pasado, Presente y Porvenir*, 2019, p.40, de Jean Dethier  
 .....10
- Fig. 4: Ninho das térmitas; Fonte - [internet] Disponível em:  
[https://www.nationalgeographic.pt/meio-ambiente/engenheiros-e-arquitectos-da-natureza-e-como-eles-inspiram-as-nossas-construcoes\\_2372](https://www.nationalgeographic.pt/meio-ambiente/engenheiros-e-arquitectos-da-natureza-e-como-eles-inspiram-as-nossas-construcoes_2372) ..... 11
- Fig. 5: Çatal Höyük. Primeira planta urbana de que se tem conhecimento. Fonte - [livro] *Arquitecturas de Tierra. El Arte de Construir con Tierra: Pasado, Presente y Porvenir*, 2019, p.73, de Jean Dethier; imagem editada pela autora..... 16
- Fig. 6: Axonometria das casas justapostas de Çatal Höyük; Fonte - [livro] *Arquitecturas de Tierra. El Arte de Construir con Tierra: Pasado, Presente y Porvenir*, 2019, p.72, de Jean Dethier ..... 16
- Fig. 7: Zigurate de Ur, Iraque, 2100 a.C.; Fonte - [livro] *Arquitecturas de Tierra. El Arte de Construir con Tierra: Pasado, Presente y Porvenir*, 2019, p.79, de Jean Dethier ..... 17
- Fig. 8: Arte *chimú*; Fonte - [internet] Disponível em:  
<https://whc.unesco.org/en/documents/120769> ; imagem editada pela autora. 19
- Fig. 9: Desenhos técnicos de uma habitação tipo-torre na cidade de Shibam; Fonte - [livro] *Arquitecturas de Tierra. El Arte de Construir con Tierra: Pasado, Presente y Porvenir*, 2019, p.112, de Jean Dethier ..... 20
- Fig. 10: Desenho representativo de duas casas semelhantes, em taipa, por François Cointeraux. À esquerda uma casa para os mais ricos e à direita para os mais

pobres, difere apenas na ornamentação; Fonte - [internet] Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?search=Cointeraux&title=Special:MediaSearch&type=image> ..... 23

Fig. 11: Processo de construção de um abrigo a partir da técnica de *superadobe* no Irão. Fonte - [internet] Disponível em <https://the.akdn/en/how-we-work/our-agencies/aga-khan-trust-culture/akaa/sandbag-shelters> ..... 26

Fig. 12: Fotografias da Piscina Municipal de Toro, por Héctor Fernández Santos-Díez; Fonte - [internet] Disponível em: <https://concursosdeprojeto.org/2011/06/03/piscinamunicipal-toro-espanha/> ..... 28

Fig. 13: Diagrama dos diferentes sistemas construtivos em terra crua (tradicionais e modernos), determinado pelo grupo de CRAterre. Fonte - [secção de um livro] Houben, Hugo & Guillaud, Hubert (1989). *Traité de Construction en Terre*. Citado em Correia, Mariana. “Técnicas de Construir em Terra”. In: *Terra Forma de Construir*, 2006, p.22 .....31

Fig. 14: Mapa do mundo (arquitetura em terra crua). As áreas a laranja representam onde a construção em terra crua é uma prática tradicional. Os pontos vermelhos assinalam lugares construídos com terra considerados Património Mundial da Unesco. Fonte - [livro] Craterre (s.d); citado em: *Arquitecturas de Tierra. El Arte de Construir con Tierra: Pasado, Presente y Porvenir*, 2019, pp.26-27, de Jean Dethier; imagem editada pela autora .....37

Fig. 15: Desenhos técnicos da escola primária em Bangladesh. Fonte – [internet] Disponível em: <https://www.anna-heringer.com/projects/meti-school-bangladesh/> ..... 42

Fig. 16: Léo Surgical Clinic and Health Centre. Fotografias de Kéré Architecture (esquerda) e Andrea Maretto (direita). Fonte – [internet] Disponível em: <https://www.kerearchitecture.com/work/building/surgical-clinic-and-health-centre> ..... 43

Fig. 17: Construção da Capela de Reconciliação, Berlim. Fonte – [internet] Disponível em: <https://www.zrs.berlin/en/project/chapel-of-reconcillation/> ..... 46

- Fig. 18: Imagem do interior da Capela de Reconciliação, Berlim. Fonte – [internet] Disponível em: <https://www.archiweb.cz/en/b/kaple-smireni-kapelle-der-vers-hnung>..... 46
- Fig. 19: Imagem do interior de Catalina House. (à direita) Fonte – [internet] Disponível em: <https://studiorickjoy.com/work/> ..... 48
- Fig. 20: Imagem de Tucson Mountain House. (à esquerda) Fonte – [internet] Disponível em: <https://studiorickjoy.com/work/> ..... 48
- Fig. 21: Imagens da Universidade Charles Sturt, em Thurgoona, Nova Gales do Sul, Austrália; Fonte – [internet] Disponível em : <https://www.enduringdomain.com.au/2016-11-10-holistic-sustainability-in-practise-charles-sturt-university/> ..... 48
- Fig. 22: Representação das várias dimensões dos grãos e dos espaços entre eles (ar). Antes e depois da compactação. (Autora, 2025) ..... 52
- Fig. 23: Distribuição da construção em taipa em Portugal continental. Fonte [livro] - *Taipa*, 2023, p.17, de Miguel Ferreira Mendes; imagem editada pela autora ... 58
- Fig. 24: Moradia Herdade Delgado, Beja. Fotografia de: Manuel Botelho. Fonte – [internet] Disponível em: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bartolomeu\\_Costa\\_Cabral\\_Moradia\\_no\\_Alentejo\\_2\\_img\\_6864.jpg#mw-jump-to-license](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bartolomeu_Costa_Cabral_Moradia_no_Alentejo_2_img_6864.jpg#mw-jump-to-license) .....67
- Fig. 25: Pormenorização construtiva 1/20. Bartolomeu Costa Cabral, João Gomes, Mário Carneiro A. C. Crespo, Arquitectos. Fonte– [internet] Disponível em: <https://arquivoatom.up.pt/index.php/hbq6-zms3-q2ky>; adaptada pela autora ..... 68
- Fig. 26: Cobertura da Moradia Herdade Delgado, Beja. Fotografia de: Manuel Botelho. Fonte – [internet] Disponível em: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bartolomeu\\_Costa\\_Cabral\\_Moradia\\_no\\_Alentejo\\_2\\_img\\_8960\\_1.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bartolomeu_Costa_Cabral_Moradia_no_Alentejo_2_img_8960_1.jpg) ..... 68
- Fig. 27: Pormenorização construtiva 1/20. Bartolomeu Costa Cabral, João Gomes, Mário Carneiro A. C. Crespo, Arquitectos. Fonte– [internet] Disponível em: <https://arquivoatom.up.pt/index.php/hbq6-zms3-q2ky> ..... 69

- Fig. 28: Imagens do interior da Moradia Herdade Delgado. Fotografias de: Lourenço Teixeira de Abreu. Fonte– [internet] Disponível em: <https://amazingarchitecture.com/houses/a-hideaway-artist-retreat-in-beja-alentejo-by-portuguese-modernist-architect-bartolomeu-costa-cabral>..... 70
- Fig. 29: Pormenorização construtiva 1/20. Bartolomeu Costa Cabral, João Gomes, Mário Carneiro A. C. Crespo, Arquitectos. Fonte– [internet] Disponível em: <https://arquivoatom.up.pt/index.php/hbq6-zms3-q2ky>; adaptada pela autora71
- Fig. 30: Moradia Herdade Delgado. Fotografias de: Lourenço Teixeira de Abreu. Fonte– [internet] Disponível em: <https://amazingarchitecture.com/houses/a-hideaway-artist-retreat-in-beja-alentejo-by-portuguese-modernist-architect-bartolomeu-costa-cabral>; adaptada pela autora..... 71
- Fig. 31: Principais sismos ocorridos no Baixo Alentejo. Fonte [livro] - *Cultura Sísmica local e em Portugal*, 2015, p.45, de Mariana Correia *et al*; com dados de LNEC, 1986 .....72
- Fig. 32: Casa Lasso, Equador. Fonte – [internet] Disponível em: <https://ramaestudioec.com/portfolio/casa-lasso/> .....73
- Fig. 33: Axonometria do sistema das paredes. Fonte – [internet] [https://www.archdaily.com.br/br/911849/casa-lasso-rama-estudio/5c5d8b48284dd12364000086-casa-lasso-rama-estudio-rear-elevation?next\\_project=no](https://www.archdaily.com.br/br/911849/casa-lasso-rama-estudio/5c5d8b48284dd12364000086-casa-lasso-rama-estudio-rear-elevation?next_project=no).....74
- Fig. 34: União entre as paredes e a fundação. Fonte – [internet] Disponível em: <https://ramaestudioec.com/portfolio/casa-lasso/> .....74
- Fig. 35: Imagens explicativas do sistema de painéis pivotantes. Fonte – [internet] [https://www.archdaily.com.br/br/911849/casa-lasso-rama-estudio/5c5d8b48284dd12364000086-casa-lasso-rama-estudio-rear-elevation?next\\_project=no](https://www.archdaily.com.br/br/911849/casa-lasso-rama-estudio/5c5d8b48284dd12364000086-casa-lasso-rama-estudio-rear-elevation?next_project=no).....75
- Fig. 36: Imagens explicativas do conceito de “lar”. Fonte – [internet] [https://www.archdaily.com.br/br/911849/casa-lasso-rama-estudio/5c5d8b48284dd12364000086-casa-lasso-rama-estudio-rear-elevation?next\\_project=no](https://www.archdaily.com.br/br/911849/casa-lasso-rama-estudio/5c5d8b48284dd12364000086-casa-lasso-rama-estudio-rear-elevation?next_project=no).....76

- Fig. 37: Axonometria explicativa da cobertura. Fonte – [internet] [https://www.archdaily.com.br/br/911849/casa-lasso-rama-estudio/5c5d8b48284dd1236400086-casa-lasso-rama-estudio-rear-elevation?next\\_project=no](https://www.archdaily.com.br/br/911849/casa-lasso-rama-estudio/5c5d8b48284dd1236400086-casa-lasso-rama-estudio-rear-elevation?next_project=no).....76
- Fig. 38:Escritórios L´Orangerie, Lyon. Fonte – [internet] Disponível em: <https://vergelyarchitectes.com/en/lyon-confluence> ..... 78
- Fig. 39: Processo da montagem dos blocos pré-fabricados de taipa. Fonte – [internet] Disponível em: <https://vergelyarchitectes.com/en/lyon-confluence> .....79
- Fig. 40: Disposição simétrica dos arcos catenários. Fachada principal. Fotografia (à direita) da autora, 2025 ..... 80
- Fig. 41: Arco catenário (à esquerda). Fonte – [internet] Disponível em: <https://vergelyarchitectes.com/en/lyon-confluence> ..... 80
- Fig. 42: Detalhes construtivos. Arco catenário. Imagem editada pela autora. Fonte – [internet] Disponível em: <https://vergelyarchitectes.com/en/lyon-confluence>81
- Fig. 43: Fase final de obra. Imagem editada pela autora. Fonte – [internet] Disponível em: <https://vergelyarchitectes.com/en/lyon-confluence> ..... 82
- Fig. 44: Planta do piso térreo. Simetria e núcleo centrado. Imagem editada pela autora. Fonte – [internet] Disponível em: <https://vergelyarchitectes.com/en/lyon-confluence>..... 83
- Fig. 45: Protótipo A Natural Pavilion, Dinamarca. Fonte – [internet] Disponível em: <https://afasiaarchzine.com/2023/08/revaerk-arkitektur/> ..... 84
- Fig. 46: Fotografias do protótipo. Relação madeira-taipa. Fonte – [internet] Disponível em: [https://www.archdaily.com/1004372/a-natural-pavilion-revaerk/64b9ce22edf1692cd87f276e-a-natural-pavilion-revaerk-photo?next\\_project=no](https://www.archdaily.com/1004372/a-natural-pavilion-revaerk/64b9ce22edf1692cd87f276e-a-natural-pavilion-revaerk-photo?next_project=no) ..... 84
- Fig. 47: Fotografias do exterior do protótipo. Fonte – [internet] Disponível em: <https://afasiaarchzine.com/2023/08/revaerk-arkitektur/> ..... 85

- Fig. 48: Corte esquemático das “botas e do chapéu”. Representação da proteção das paredes através da cobertura, embasamento e barreira capilar (retângulo a amarelo). Autora, 2025..... 92
- Fig. 49: Cargas transmitidas pela cobertura às paredes de taipa, com e sem sistema de asnas. Fonte [livro] - *Taipa*, 2023, p.68, de Miguel Ferreira Mendes; imagem editada pela autora ..... 94
- Fig. 50: Representação das áreas seguras e de risco para a implantação de edifícios em taipa em terrenos inclinados. Autora, 2025 .....102
- Fig. 51: Representação dos elementos estruturais que aumentam a estabilidade dos vãos (lintéis e painéis de madeira) e evitam a fissuração nas paredes. Fonte [livro] - *Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*, 2006, p.140, de Gernot Minke; imagem editada pela autora.....103
- Fig. 52: Terramoto na cidadela de Bam no ano de 2003. Da esquerda para a direita – o antes e o depois. (Lourenço, 2005) .....105
- Fig. 53: Estratégias antissísmicas a partir dos ângulos. Fonte [livro] - *Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*, 2006, p.139, de Gernot Minke; editada pela autora..... 110
- Fig. 54: Conceção estrutural a partir da geometria. Fonte [livro] - *Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*, 2006, p.136, de Gernot Minke ..... 110
- Fig. 55: Reforço estrutural de bambu no interior das paredes de taipa do protótipo em Guatemala no ano de 1978. Fonte [livro] - *Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*, 2006, p.142, de Gernot Minke ..... 113
- Fig. 56: Reforço estrutural de bambu no interior das paredes de taipa do protótipo em Alhué, Chile no ano de 2001. Fonte [livro] - *Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*, 2006, p.143, de Gernot Minke ..... 114
- Fig. 57: Exemplificação de um cunhal reforçado por uma pilastra de pedra. Fonte [artigo] - *A Construção em Taipa e os Sismos*, 2010, p.8, de Correia, Varum, & Lourenço. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1822/17615>; imagem editada pela autora ..... 115

Fig. 58: Representação esquemática da união parede-viga de bordadura através do reforço de chumbadouro. Fonte [dissertação] - Análise Sísmica de uma Construção em Taipa, 2007, p.68, de Daniel Parreira. Disponível em: <https://scholar.tecnico.ulisboa.pt/records/In-zL9sf2uRYgZkS8fZrFGynbHT-NZMTuVuN> ..... 116

Fig. 59: Secções do protótipo *Dymaxion*. Fonte [artigo] - *Buckminster Fuller's Dymaxion House as a Paradigm for a Space Habitat*, 2020, p.13, de Marc Mitchell Cohen e Anastasia Prosina. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/346690422\\_Buckminster\\_Fuller%27s\\_Dymaxion\\_House\\_as\\_a\\_Paradigm\\_for\\_a\\_Space\\_Habitat](https://www.researchgate.net/publication/346690422_Buckminster_Fuller%27s_Dymaxion_House_as_a_Paradigm_for_a_Space_Habitat) .....125

Fig. 60: Planta de piso do protótipo *Dymaxion*. Fonte [artigo] - *Buckminster Fuller's Dymaxion House as a Paradigm for a Space Habitat*, 2020, p.4, de Marc Mitchell Cohen e Anastasia Prosina. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/346690422\\_Buckminster\\_Fuller%27s\\_Dymaxion\\_House\\_as\\_a\\_Paradigm\\_for\\_a\\_Space\\_Habitat](https://www.researchgate.net/publication/346690422_Buckminster_Fuller%27s_Dymaxion_House_as_a_Paradigm_for_a_Space_Habitat) .....126

Fig. 61: Escultura *Cycle*, 2011. Fonte [internet] Disponível em: <https://www.artsy.net/article/artsy-editorial-how-richard-serra-changed-the-course-of-public-art>..... 127

Fig. 62: Escultura *Inside Out*, 2013. Fonte [internet] Disponível em: <https://heromagazine.com/article/254361/remembering-the-monumental-work-of-richard-serra> .....128

Fig. 63: Esquissos da evolução da forma. (Autora,2025).....129

Fig. 64: Organização dos espaços sociais. (Autora, 2025) ..... 131

Fig. 65: Maqueta de estudo. Fluxos e organização da área privada. (Autora, 2025) ....132

Fig. 66: Esboços da organização da área social. (Autora, 2025).....133

Fig. 67: Estudo da planta de piso térreo. (Autora, 2025).....134

Fig. 68: Esboços do roupeiro giratório. (Autora, 2025).....135

Fig. 69: Secção transversal e representação da materialidade e respetiva função. (Autora, 2025)..... 137

Fig. 70: Esquissos da cobertura autónoma. (Autora, 2025) .....	138
Fig. 72: Planta de piso térreo. (Autora, 2025).....	141
Fig. 73: Planta de piso 1. (Autora,2025).....	142
Fig. 74: Alçados laterais e Corte AA´. (Autora, 2025).....	143
Fig. 75:Alçado frontal e Corte BB´ (Autora, 2025) .....	144
Fig. 76: Alçado frontal e Corte CC. (Autora, 2025) .....	144
Fig. 77: Corte CC´ (Autora, 2025) .....	145

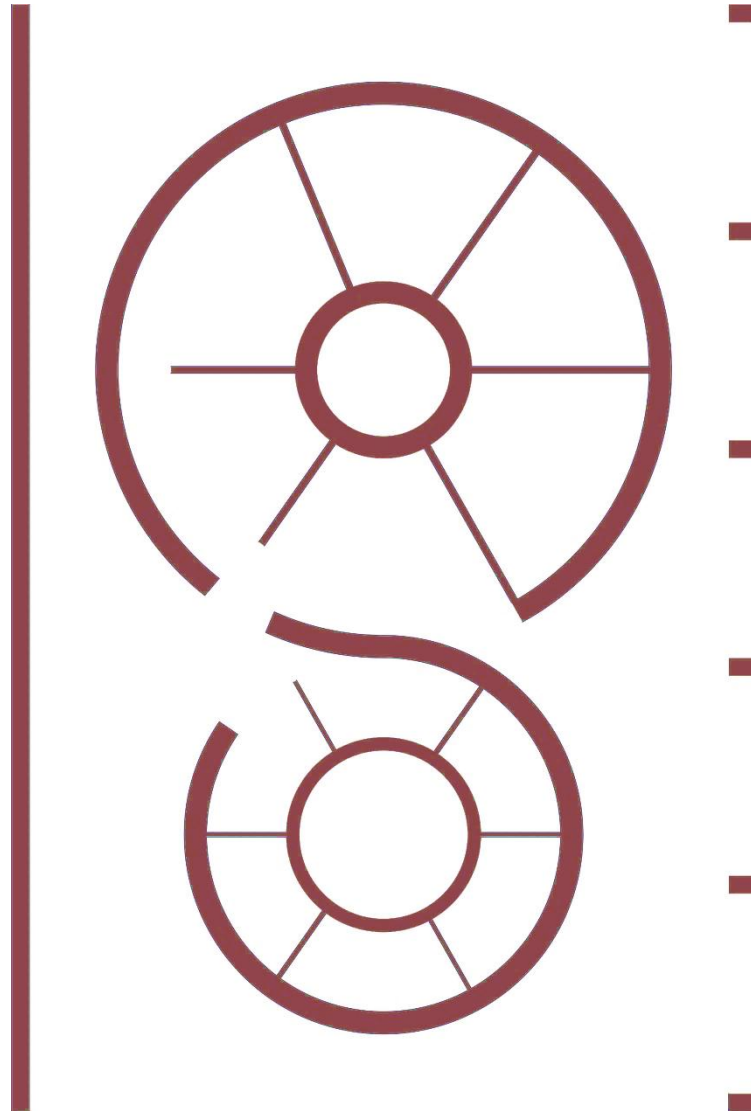
## Lista de Tabelas

- Tabela 1: Comportamento mecânico, térmico, hídrico e acústico de uma parede de taipa não-estabilizada. Fonte [livro] - *Taipa*, 2023, p.55, de Miguel Ferreira Mendes; tabela editada pela autora..... 99
- Tabela 2: Modos de rotura em construções vernáculas, nomeadamente às construções em terra. Fonte [artigo] - *A Construção em Taipa e os Sismos*, 2010, p.7, de Correia, Varum, & Lourenço. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1822/17615> .....106
- Tabela 3: Critérios de dimensionamento de paredes portantes de taipa não estabilizada. Fonte [livro] - *Taipa*, 2023, p.49, de Miguel Ferreira Mendes; tabela editada pela autora..... 112

## Lista de Acrónimos

GRP	Gabinete de Relações Públicas
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
UBI	Universidade da Beira Interior
UNEP-SBCI	United Nations Environment Programme - Sustainable Buildings and Climate Initiative
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

# Capítulo 1



# 1. Introdução

A terra crua é um dos materiais construtivos mais antigos e utilizados no mundo, sendo responsável por múltiplas e diversificadas estruturas que se encontram em todos os continentes. São várias as localidades que demonstram, desde há vários séculos, uma marcante resiliência e durabilidade face a vários fatores, e, muitas delas são classificadas pela UNESCO como Património Mundial. A arquitetura em terra reflete uma maior consciência e consideração pelo meio envolvente, sendo perfeitamente adaptável e eficiente perante as questões atuais.

## 1.1 Enquadramento e Relevância da Investigação

A construção em terra, incluindo a de taipa, tem vindo a emergir, essencialmente, pelo crescente interesse em consolidar estratégias mais sustentáveis, nomeadamente pela preocupação face às necessidades energéticas e ao impacte ambiental associados à construção civil. O seu potencial face às exigências atuais, conjugadas com a tradição, viabilizam esta prática como uma alternativa idónea e resiliente perante os vários desafios, tais como, as alterações climáticas, os sismos e desequilíbrio ecológico.

Sendo um material reciclável e acessível em praticamente todo o planeta, e sendo a taipa uma técnica que tem a facilidade em integrar-se a diferentes realidades geográficas, permite que o seu processo de extração e construção seja *in situ*. Deste modo, consegue promover construções com baixa pegada ambiental e uma consciente conformidade com os recursos naturais.

Essa procura por alternativas mais sustentáveis e de materiais ecológicos que respondam às necessidades contemporâneas, torna esta matéria-prima uma alternativa com potencial, incentivando a união entre tradição e inovação, e uma relação mais pronunciada entre a natureza e os materiais.

Construir com a taipa representa um compromisso face à sustentabilidade, conforto e à preservação cultural, capaz de responder e de se adaptar às demandas contemporâneas, segundo a eficiência energética e a redução do impacte ambiental. Esta

prática reflete uma responsabilidade e respeito para com a tradição, o meio ambiente e a inovação. Apesar das suas desvantagens e dos seus desafios, a técnica da taipa oferece uma vasta gama de benefícios e uma sábia tradição que tem vindo a comprovar ser uma excelente solução a vários níveis (económico, ambiental, cultural, durabilidade, etc.). Uma grande oportunidade para construir um futuro mais digno e consciente.

Esta investigação tem sentido e suscita interesse pelo facto de ampliar conhecimento e cultura no que concerne ao sistema construtivo em terra crua, uma vez que, uma das grandes causas para terem deixado de trabalhar e construir com a terra, deve-se, essencialmente, pelo preconceito para com o material e a falta de patentes, empresas e fábricas.

A seleção pela qual foi escolhido este tema baseia-se na intenção de questionar os modos atuais de construir, e também de habitar, perante as fragilidades, necessidades e condicionantes, com o intuito de procurar alternativas conscientes e responsáveis. Com este estudo, pretende-se desenvolver uma reflexão crítica no âmbito da arquitetura face às vulnerabilidades contemporâneas, e explorar o potencial da terra crua, principalmente a taipa, como material e técnica enquanto respostas a essas exigências.

O projeto tenciona ser um estudo que propõe retratar mediante da forma, da técnica e da matéria os princípios investigados e refletidos ao longo desta dissertação. Através dele assume-se como um processo que ensaia uma nova forma de construir de acordo com as vulnerabilidades e os desafios, seguindo a lógica de consciência.

## **1.2 Questões e Objetivos**

Esta dissertação parte da premissa de que a taipa consegue assumir um papel preponderante e estratégico na resiliência perante os desafios das alterações climáticas, com bom desempenho face à atividade sísmica, e na consciencialização de práticas mais sustentáveis. Pretende-se desmistificar o vasto preconceito para com este material e demonstrar a autenticidade de que a taipa consegue ajustar-se às diversas problemáticas contemporâneas. Por conseguinte, trata-se de explorar a relevância da construção em taipa em contexto atual, analisando os seus benefícios e vulnerabilidades.

Neste sentido, trata-se de responder à preponderante questão da investigação:

- De que maneira a construção em taipa consegue “abraçar” as vulnerabilidades, e ser (re)valorizada enquanto estratégia potencialmente viável face às demandas contemporâneas, garantindo os princípios da sustentabilidade?

Portanto, e perante esta questão de partida, o objetivo predominante desta dissertação é estudar e avaliar a estabilidade estrutural da construção em taipa, e a resiliência que esta tem perante fatores externos, nomeadamente as alterações climáticas e a atividade sísmica, a fim de entender quais as potencialidades e as limitações que o sistema construtivo em estudo apresenta. Nesta lógica e para efeito de aprimorar algumas questões e desafios da construção em terra crua, é apresentado neste manuscrito um projeto laboratorial que traduz os objetivos, mantendo a fundamental estratégia dos princípios da sustentabilidade.

Num primeiro momento o intuito é procurar desenvolver os seguintes propósitos:

- a) Entender a relação que os animais e Humanidade têm com a Natureza a fim de compreender como a terra teve influência na arquitetura e no modo de habitar;
- b) Estudar a origem e a evolução num enquadramento histórico-cultural, social e geográfico. Caracterizar e explorar os métodos de adaptação utilizados face aos diferentes climas e épocas, a fim de demonstrar a durabilidade das estruturas milenares;
- c) Compreender a disponibilidade de materiais de construção em terra e os recursos naturais para fundamentar uma construção sustentável e consciente;
- d) Recolha e análise dos estudos de caso em contexto contemporâneo que demonstrem a viabilidade do material e da técnica;
- e) Investigar qual o impacte ambiental da construção em terra crua comparativamente a materiais convencionais e industrializados;

- f) Analisar quais os benefícios, vulnerabilidades e limitações que a construção em taipa apresenta face às alterações climáticas;
- g) Explorar estratégias que aumentem o desempenho estrutural a ações externas, sem comprometer os princípios sustentáveis.

Numa segunda estância, o objetivo rege-se na conceção de um protótipo consciente que procura fomentar o conhecimento da técnica da taipa aliada aos desafios e às exigências contemporâneas em contexto europeu, uma vez que, a Europa revela-se um dos principais continentes que, desde a Revolução Industrial, apresenta uma rigidez normativa e menos expressão, com base em termos práticos, de valorização, e de (re)conhecimento.

### **1.3 Metodologia de trabalho**

A fim de estruturar e atuar da melhor maneira o presente documento, o procedimento deste manuscrito é segmentado por duas componentes: a teórica, apoiada numa investigação científica na base do conhecimento tradicional e contemporâneo sobre a terra crua enquanto material ao longo da História, que visa compreender quais os benefícios, desafios e vulnerabilidades no tratado sistema construtivo em taipa; a prática laboratorial, traduzida num protótipo que integra os objetivos da dissertação e o estudo teórico, isto é, repensar a habitação seguindo os fundamentos da resiliência e da sustentabilidade

A estratégia da primeira fase metodológica está organizada em duas principais vertentes. Numa primeira etapa, procede-se a um levantamento, caracterização e aprofundamento do sistema construtivo vernacular em terra crua, contextualizando os aspetos técnicos, ambientais e histórico-culturais, salientando as práticas conscientes e sustentáveis. Numa fase posterior a temática, segundo uma perspetiva analítica, centra-se nos critérios e desafios atuais, incluindo a durabilidade, o conforto, a sustentabilidade, a adaptação climática, o comportamento sísmico e a resiliência. Esta análise teórica possibilita em explorar a integração e adaptabilidade das práticas ancestrais com estratégias e métodos inovadores, adequados às demandas contemporâneas e aplicáveis a várias circunstâncias.

É, portanto, utilizado uma recolha bibliográfica no sentido de alcançar veracidade informativa com recursos a artigos científicos, livros, dissertações de mestrado e teses de doutoramento, de modo a auxiliar a componente teórica da presente dissertação. São também abordados e refletidos casos de estudo que façam repensar e questionar a habitação face às condições em que a sociedade tem e se insere e, como resultado, contribuir para o projeto da etapa laboratorial.

A fase final está complementada por uma síntese que visa refletir o potencial da taipa, através de uma proposta protótipo que insere toda a aprendizagem captada das várias temáticas e questões levantadas. Pretende-se com o caso prático aplicar os conhecimentos adquiridos ao longo da investigação, demonstrar a relevância dos parâmetros em questão, de testar, (re)valorizar e viabilizar a taipa enquanto técnica construtiva tradicional que se enquadra e se adapta ao contexto contemporâneo numa abordagem inovadora, resiliente e sustentável. Para esse efeito, foi necessário recorrer a um processo de esboços e representações gráficas como ferramentas de reflexão, análise e comunicação das estratégias, que garantem a coerência entre conceito, forma e função.

#### **1.4 Estrutura da dissertação**

A dissertação encontra-se bipartida nas componentes teórica e prática, subdividida em cinco capítulos, e organizada segundo o procedimento de contextualização, de análise e de desenvolvimento prático.

O **Capítulo 1** (*Introdução*): refere-se a uma visão geral e concisa do mote da dissertação, através de um breve enquadramento e da respetiva pertinência da investigação; contextualizar a problemática e salientar os objetivos pretendidos; referir a metodologia adotada; e demonstrar como se encontra estruturada a investigação.

O **Capítulo 2** (*Construir com o óbvio*): aborda a relação entre a arquitetura em terra e os seres vivos, de modo a compreender que a terra, enquanto material, é utilizada de diversificadas maneiras, estilos e formas; refere conceitos dos sistemas construtivos em terra crua para uma abordagem geral do tema; descreve a evolução da construção com a terra crua ao longo da História, comprovando a durabilidade e a sua adaptabilidade aos diferentes contextos no decurso dos períodos históricos;

contextualiza o sistema construtivo em taipa em todos os continentes; e evidencia as técnicas utilizadas em Portugal continental.

O **Capítulo 3** (*O Potencial da taipa*): explora como a taipa representa uma mais-valia na construção contemporânea apesar das suas vulnerabilidades. Explicita abordagens e estratégias que fortalecem a estrutura face às ações externas, seguindo os princípios da sustentabilidade.

O **Capítulo 4** (*Construir com a Vulnerabilidade*): constitui a transição entre a componente teórica e a aplicação prática, através de um protótipo arquitetónico que alberga os objetivos da dissertação, nomeadamente fundamentos e conceitos que permitiram demonstrar como os princípios explorados ao longo da investigação foram concebidos.

O **Capítulo 5** (*Considerações Finais*): descreve uma síntese de todos os capítulos anteriores, sendo feita uma assimilação dos conhecimentos e de análises obtidas.

## Capítulo 2



Fig. 1: Relação entre a Humanidade, a Natureza e a Arquitetura em terra. (autora, 2025)

## **2. Construir com o óbvio**

Este presente capítulo enfatiza a importância que a construção em terra teve ao longo da História e de que modo esta influenciou a Humanidade até aos dias de hoje. Neste sentido, foi essencial contextualizar e caracterizar as lógicas e práticas construtivas em terra ao longo do tempo, mediante métodos tradicionais e inovadores.

### **2.1 A Humanidade, a Natureza e a Arquitetura em terra**

A natureza é a protagonista da correlação interdependente com todos os seres vivos, é uma força que rege, conecta e gera vida em todos os ecossistemas. Esta matriz estabelece uma profunda conexão para com a humanidade no modo de criar, pensar e sobreviver, que é tão antiga quanto a própria existência humana.

A relação entre a humanidade e a natureza é circunscrita em duas partes por atitudes contrárias: a primeira, reflete-se numa ação antrópica inerente à natureza, influenciada e inspirada pela arte natural, que utiliza e respeita os recursos e elementos naturais em plena cooperação; por outro lado, o ser humano, após a Revolução Industrial, teve um impacto no meio ambiente muito mais significativo, danificando, destruindo, alterando e poluindo inúmeros habitats e ecossistemas.

A arquitetura sempre assumiu um papel fundamental no diálogo entre o ser humano e a natureza: inicialmente, a construção das primeiras civilizações demonstrava preferência por soluções funcionais, eficientes e duradouras, com o intuito de conjugar o uso de materiais disponíveis com as necessidades humanas, sem desrespeitar o equilíbrio ecológico e os limites naturais; todavia, a arquitetura desde há umas centenas de anos que adquire outra faceta, dado que, contribui na exploração ambiental sob o uso intensivo de recursos e na emissão de gases poluentes. Atualmente, face ao crescente interesse pela consciencialização sobre a redução do impacto ambiental, ressurgiu um novo paradigma - a observação da natureza e da construção animal como fonte de inspiração para abordagens arquitetónicas sustentáveis.

Os animais descobriram as potencialidades da terra há muito mais tempo que o ser humano, criando habitats que em muitos ecossistemas se afirmam como autênticas

obras da Natureza. Esta interação entre o meio envolvente e os animais manifesta-se numa correlação dinâmica de adaptação, sobrevivência, espaço, matéria e criatividade, essencial para o equilíbrio da biodiversidade e dos respetivos ecossistemas. Vários grupos de animais, como mamíferos, répteis, aves, insetos e anfíbios, aproveitam a terra para formarem estruturas destinadas à sua proteção, reprodução e sobrevivência.

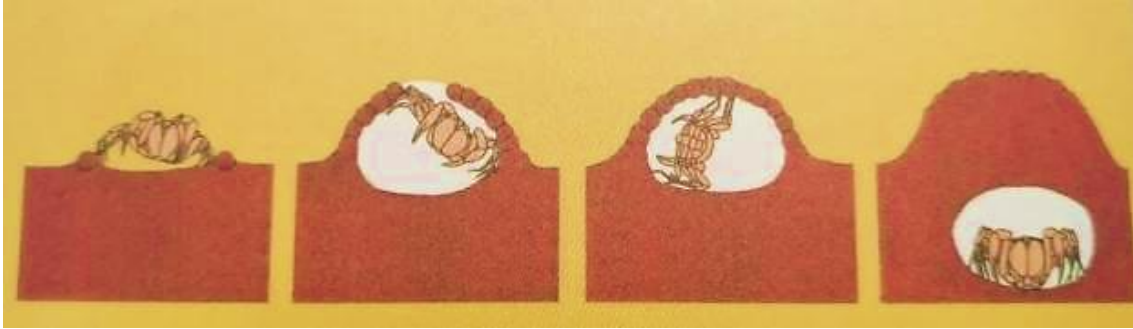


Fig. 2: Espaços efémeros dos caranguejos; Fonte - [livro] *Arquitecturas de Tierra. El Arte de Construir con Tierra: Pasado, Presente y Porvenir*, 2019, p.40, de Jean Dethier; imagem editada pela autora

Alguns dos notáveis exemplos de animais construtores que utilizam a terra são: os castores que criam barragens nos rios canadenses para regular o fluxo da água e viabilizar os seus estilos de vida em comunidade; os pássaros, por sua vez, empregam a terra numa diversidade formal de ninhos; os caranguejos, na Austrália, protegem-se rapidamente em espaços efémeros e em forma de cúpula com a terra arenosa [Fig.2]; no Brasil, uma espécie de rãs elaboram barreiras defensivas em torno de si [Fig.3]. Porém, são as térmitas que dominam a arte de construir com a terra. (Dethier, 2019, p. 40)



Fig. 3: Barreiras defensivas das rãs; Fonte - [livro] *Arquitecturas de Tierra. El Arte de Construir con Tierra: Pasado, Presente y Porvenir*, 2019, p.40, de Jean Dethier

As térmitas são as verdadeiras mestres que erguem admiráveis e complexas estruturas em terra [Fig.4], e é no continente africano que é possível encontrar os “empilhamentos” mais altos do mundo, compostos de terra e secreções orgânicas, atingindo os oito metros de altura. (Dethier, 2019, p. 40) “Se transferíssemos a arquitetura das térmitas para a nossa escala o equivalente seria uma torre de 1.5 km, que contivesse a população inteira de New York (...)” (Soares, 2021, p. 65)



Fig. 4: Ninho das térmitas; Fonte - [internet] Disponível em: [https://www.nationalgeographic.pt/meio-ambiente/engenheiros-e-arquitectos-da-natureza-e-como-eles-inspiram-as-nossas-construcoes\\_2372](https://www.nationalgeographic.pt/meio-ambiente/engenheiros-e-arquitectos-da-natureza-e-como-eles-inspiram-as-nossas-construcoes_2372)

Como a pele das térmitas é relativamente fina, e dado que a maior parte destas espécies habita em climas muito quentes, é fundamental que os seus ninhos apresentem condições ótimas a nível hidrotérmico, uma vez que, dependem de um alto nível de humidade para a sua sobrevivência. Posto isto, em regiões secas, as térmitas necessitam de água para esta construção, e, por isso, escavam até alcançarem o nível freático, - uma profundidade que pode atingir os 40 metros. (Pallasmaa, 2020, pp. 46, 50)

O sistema de ventilação e a renovação de ar interior da arquitetura animal é particularmente curioso, desde as tocas do cão-da-pradaria-de-rabo-preto, aos ninhos de abelhas, aos abrigos dos peixes pulmonados africanos, ou até às barragens dos castores. Mas, ainda assim, são as térmitas que, uma vez mais, se destacam nesta

categoria, pois seguem uma rigorosa organização e conseguem permitir fluxos de ar passivos e trocas gasosas, aproveitando a porosidade da terra nas paredes do ninho.

É sobretudo na Ásia e África que as cultivações de fungos são indispensáveis para a alimentação das térmitas *Macrotermitinae*. Para o desenvolvimento e criação dessas colónias é fundamental manter o seu interior numa temperatura relativa inferior a 30°C e baixas concentrações de dióxido de carbono, devido ao elevado metabolismo de milhares de térmitas e fungos presentes. Mesmo que a temperatura externa oscile entre os 0°C e 40°C, a porosidade da terra, o calor gerado pelas térmitas e pelos fungos, e os sistemas de canais (para os fluxos de ar) permitem garantir uma hidrotérmica estável. No entanto, quanto maiores sejam os montículos, mais finas terão de ser as paredes, para facilitar a troca lenta e constante dos gases. Durante o dia, o ar quente é expelido pelos canais externos no sentido ascendente, possibilitando que o ar fresco penetre o interior; à noite, o fluxo é invertido, e o dióxido de carbono acumulado é removido do ambiente interno. (Korb, 2003) O “ar condicionado natural” que as térmitas constroem são uma fonte de inspiração para a implementação da arquitetura baseada em sistemas de ventilação passiva, de forma a reduzir significativamente o consumo energético.

É de observar que as estruturas em terra que os animais constituem são exemplos credíveis de como é possível construir a partir de soluções sustentáveis e de como respeitam o ambiente através de um equilíbrio de gestão de recursos naturais. Não obstante, confirma-se que também é possível “construir mais com menos”, e, dependendo da região, clima e tipo de solo, estes adaptam-se com perspicácia e eficiência, perante as adversidades e necessidades.

*No deja de ser sorprendente que animales pertenecientes a especies totalmente diferentes hayan dado soluciones parecidas a sus problemas constructivos. (...) los animales que utilizan los mismos materiales han de someterse por igual a sus características físicas y estructurales. (...) las construcciones animales tienen un paralelo directo en las construcciones humanas. Las culturas tradicionales emplean los mismos materiales naturales que los animales —como fibras vegetales, hojas, ramas, arcilla, barro, excrementos animales o nieve— y están obligados a trabajar estos materiales de acuerdo con sus propiedades físicas. (Pallasmaa, 2020, p. 26)*

A adoção consciente e adequada de materiais e práticas construtivas contribui para uma arquitetura sustentável, tal como, a terra, que juntamente com as suas técnicas tradicionais e inovadoras, tem capacidade para promover harmonia, integração e coexistência na interação entre a Natureza e a Humanidade. A arquitetura animal inspira a construção sustentável fomentando o respeito pelo meio ambiente, segundo: a preservação dos recursos naturais; a implementação que se integra com a envolvente; e a aprendizagem de soluções funcionais, eficientes, naturais e resistentes. Estas inovações e criatividade do reino animal persuadiram a construção humana perante: estruturas orgânicas, ventilação passiva, conceção geometricamente perfeita, materiais biológicos, reciclagem de elementos naturais, entre outros. Na visão de Pallasma (2020), a arquitetura animal não esgota os recursos naturais nem danifica ou contamina o meio natural, e considerando esta perspetiva, a humanidade carece de uma aprendizagem semelhante para uma intervenção ambiental mais humilde.

A terra é o elo entre todas as relações que conecta a humanidade, a natureza e a arquitetura, sendo que, para além destes elementos, o conhecimento proveniente dos animais evidencia o potencial da terra como material eficiente, sustentável e versátil. *“Hay que construir con lo que hay bajo nuestras ciudades, para recuperar la coherencia con nuestro entorno e insertarnos en el orden de las cosas.”* (Anger, 2019, p. 23)

## 2.2 Construção em terra: da Tradição à Inovação

O solo é a desintegração das rochas e minerais segundo múltiplos fatores e processos como a erosão, o clima e o tempo, que afetam as suas propriedades químicas, físicas e biológicas, cobrindo a maior parte do nosso planeta sob fragmentos. Estes segmentos são essencialmente compostos por matéria orgânica e partículas minerais, - areia, silte e argila; e no tema da construção, somente os minerais são utilizados. Aquando adicionada água à terra, esta revela-se um excelente material de construção (Campos, 2004, pp. 60–63) A terra é um material granulado que para fins construtivos, não afeta a camada superficial destinada à agricultura, já que a extração ideal para a construção encontra-se geralmente numa profundidade entre os 50 cm abaixo do solo. Com esta profundidade pretende-se não incorporar elementos orgânicos nem a retenção de humidade excessiva.

Antes de se pensar na possibilidade de construir refúgios com as próprias mãos, os seres humanos abrigavam-se nos espaços naturais predominantemente “escavados” ou “esculpidos”, tais como a caverna – exemplificando o princípio da arquitetura estereotómica. No entanto, e dado que as necessidades humanas começaram a diversificar-se, da caverna progrediu-se para a cabana, tendo em conta que, o ser humano desenvolveu a autonomia e a habilidade de construir estruturas simples com materiais leves e manipuláveis - arquitetura tectónica.

*Primeiro foi a caverna. O homem, animal com uma clara racionalidade, embora pouco desenvolvida, pouco avançada, refugiou-se nas cavernas para se proteger do frio e da chuva e para se defender do ataque de outros animais irracionais. O estereotómico - a terra, a rocha, o pétreo, o pesado, o obscuro - acolheu o homem nas suas entranhas. (...) Depois veio a cabana. O homem pensou que podia construir o tectónico. (...) Com troncos e ramos, com pedras ou com blocos de gelo. (...) E embora tenha sido apenas para se refugiar e para se defender pôde então, com mais liberdade do que acontecia com a caverna, eleger o sítio e decidir o local e a forma da sua habitação. (Campo Baeza, 2005, pp. 44–45)*

Esta transição da arquitetura estereotómica para a tectónica, ocorreu no período Neolítico, onde as primeiras sociedades tiveram a inevitabilidade de desenvolver

soluções construtivas de modo a protegerem-se contra os perigos naturais e obter um certo conforto. Contudo, muitos dos territórios onde as primeiras civilizações se desenvolveram eram escassos em certos materiais, como a pedra e a madeira, e por esse motivo, a terra revelou-se uma solução favorável. Mesmo antes da formação das primeiras civilizações, e segundo factos comprovados a partir da arqueologia, a terra está presente na construção há mais de dez mil anos, ou seja, a terra é, de facto, um dos materiais de construção mais antigos. Atualmente, este material está empregue em várias culturas, nos cinco continentes, e em diversas condições climáticas do nosso planeta.

A evolução das práticas construtivas em terra foram progredindo sobretudo em contexto de grandes transformações, consoante os desafios, as necessidades e as inovações das sociedades de cada período histórico. No decurso dos tempos, as escolhas para as práticas construtivas em terra foram implementadas por diversas razões: a disponibilidade e a predominância da terra, onde por vezes outros recursos eram escassos; as condições ambientais quando eram desfavoráveis a terra auxiliava no isolamento térmico ou na sua resistência estrutural; a falta de recursos financeiros estimulava a autoconstrução; a preocupação pela sustentabilidade; ou simplesmente dar continuidade à tradição. Desta forma, serão descritas: etapas históricas cruciais; algumas das cidades em terra que são fundamentais para uma melhor compreensão do tema; e certos casos do vasto património histórico a nível global.

À medida que as sociedades nómadas iam estruturando as suas próprias comunidades sedentárias e fixando-se permanentemente em regiões férteis, tiveram a necessidade de desenvolver propostas habitacionais mais resistentes e eficientes, dando origem às primeiras aldeias agrícolas. Jericó com aproximadamente 8000 a.C., atual Cisjordânia, e Çatal Höyük [Fig. 5] com cerca de 7500 a.C., antiga Anatólia<sup>1</sup> [Fig. 6] e atual Turquia, foram as primeiras aglomerações urbanas que emergiram da Revolução Neolítica<sup>2</sup>. A terra, para além de ser um recurso abundante, de fácil acesso e simples na sua conceção, era muito valorizada, sobretudo, pelas suas propriedades térmicas, dado que as habitações em terra apresentam uma elevada inércia térmica (apesar das variações de temperatura no exterior). A técnica do adobe e o revestimento com argila

---

<sup>1</sup> Região histórica da Ásia Menor, correspondente à atual Turquia

<sup>2</sup> Período de transição das sociedades nómadas para a comunidades sedentárias que impulsionou o surgimento das primeiras aldeias agrícolas e técnicas construtivas

proporcionaram a estas comunidades ancestrais um grande conforto mediante as intempéries.



Fig. 5: Çatal Höyük. Primeira planta urbana de que se tem conhecimento. Fonte - [livro] *Arquitecturas de Tierra. El Arte de Construir con Tierra: Pasado, Presente y Porvenir*, 2019, p.73, de Jean Dethier; imagem editada pela autora



Fig. 6: Axonometria das casas justapostas de Çatal Höyük; Fonte - [livro] *Arquitecturas de Tierra. El Arte de Construir con Tierra: Pasado, Presente y Porvenir*, 2019, p.72, de Jean Dethier

Muitas das edificações em terra na Antiguidade surgiram junto aos rios Nilo (Egito), Indo (Paquistão e Índia), Tigres (Irão), Jordão (Israel, Palestina e Jordânia), Eufrates e Huang (China). (Correia, 2006b, p. 13) A preferência da formação destas cidades perto dos rios era fundamental para o desenvolvimento urbano, social, económico e cultural.

*Los suelos fértiles y los aluviones arenosos y arcillosos proporcionaron la revolución agrícola del Neolítico y suministraron el primer material de construcción sólido y duradero utilizado por la humanidad: el ladrillo de tierra secado al sol. También se trata uno de los principales vectores para el desarrollo de las ciudades, como han demostrado los concienzudos estudios sobre la producción en masa de estos ladrillos en Mesopotamia. (Guillaud, p. 66)*

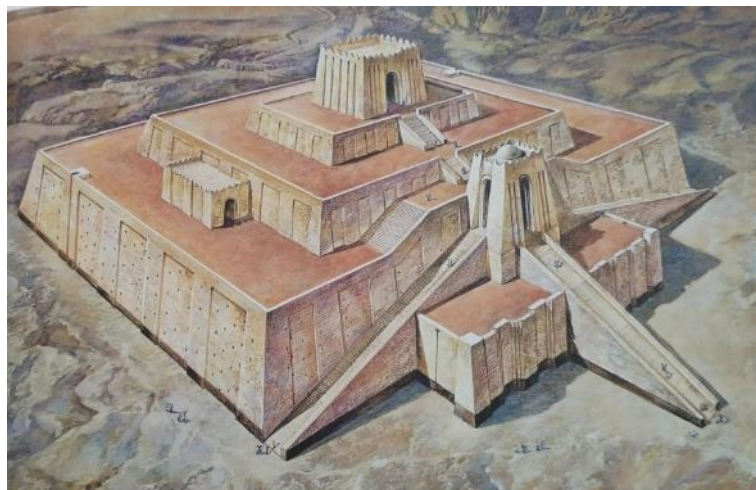


Fig. 7: Zígarate de Ur, Iraque, 2100 a.C.; Fonte - [livro] *Arquitecturas de Tierra. El Arte de Construir con Tierra: Pasado, Presente y Porvenir*, 2019, p.79, de Jean Dethier

A Mesopotâmia, situada entre os rios Tigre e Eufrates, que corresponde atualmente aos territórios da Turquia, Iraque, Síria e Irão, foi o berço das primeiras civilizações (Sumérios, Acádios, Babilónios e Assírios) e das primeiras cidades tais como a Babilónia, Uruk e Ur [Fig. 7]. (Badía Montalvo, 2016, p. 117) Embora as estruturas em terra tivessem início na cidade de Jericó, foi na Mesopotâmia e no Antigo Egito que as técnicas construtivas da taipa e do adobe atingiram maior expressão e progrediram para o crescimento urbano. O Antigo Egito utilizou esta matéria-prima não só para a arquitetura doméstica, como também para fins religiosos e defensivos (templos, pirâmides, tumbas, fortalezas). Nesta época as estruturas de taipa e de adobe ganharam

maior consistência a partir do desenvolvimento e aperfeiçoamento de métodos como a adição da argamassa de betume e a junção de tijolos cozidos, obtendo resultados mais duradouros e resistentes. Em conformidade com o que foi dito anteriormente, é importante destacar as majestosas construções dos zigurates<sup>3</sup> [Fig.6] e das mastabas<sup>4</sup>, e como estas antigas civilizações empregaram e adaptaram estes procedimentos de forma aparentemente simples, mas com resultados complexos. (Connan, 1999)

A China é um país enriquecedor, desde há vários séculos quanto ao vasto património em terra, como é exemplo a construção da Grande Muralha. Iniciada no século IV a.C. e terminada por volta do séc. XVII, é uma obra predominantemente construída sob a técnica da taipa, todavia, algumas das partes da muralha foram posteriormente revestidas com alvenaria de pedra, o que contribui para a perceção de uma construção composta, unicamente, em pedra. (Minke, 2006, p. 12). A terra foi uma opção viável para esta arquitetura militar chinesa devido ao acesso inalcançável da pedra nos locais onde a muralha foi erguida.

Verificando alguns dos exemplos mais antigos de que há evidência, é possível confirmar a veracidade da durabilidade e da resistência nas suas estruturas complexas face a este tipo de construção. A evolução cultural e social impulsionou o uso da arte de construir em terra, inicialmente era modelada à mão e, posteriormente, confeccionada a partir de: moldes de madeira (em caso de adobe), ou taipais de madeira/bambu (caso se tratar da taipa).

O conhecimento sobre a construção em terra expandiu-se rapidamente para outros povos e em distintos ambientes, sobretudo em contextos geográficos onde a pedra era inacessível ou insuficiente. Entretanto, povos como cartaginenses, fenícios, gregos e romanos, reconhecidos pelas suas estruturas benevolentes em pedra, construíram igualmente com o solo e introduziram a adição da cal e pozolana como estabilizante, de forma a intensificar a sua resistência estrutural.

Este tipo de construção também teve ênfase na Idade Média e permitiu uma vasta diversidade de tradições vernáculas devido a uma significativa influência árabe-

---

<sup>3</sup> Estruturas monumentais da Mesopotâmia antiga em forma de pirâmide, com cerca de 50m de altura, eram constituídas por milhões de blocos de terra crua (no interior) e revestidas por blocos cozidos (no exterior).

<sup>4</sup> Estruturas funerárias do Antigo Egito construídas em adobe ou pedra, apresentavam forma trapezoidal, ou seja, a base era retangular, paredes inclinadas e topo plano.

muçulmana, em virtude das invasões no norte de África, no sul da Europa e no Médio Oriente no séc. VII d.C. A conquista islâmica teve um forte impacto na construção em taipa, sobretudo, em Marrocos: medinas, *Ksour* (agregados fortificados) e *Kasbah* (habitações fortificadas); e nas fortificações da Península Ibérica, que resultaram num legado patrimonial com valor cultural. (Dethier, 2019, p. 146/156-161; Duarte, 2013, pp. 11–12)

Paralelamente, em Trujillo (Perú), a magnificência dos vestígios arqueológicos de Chan Chan revelam como a cultura *chimú* compreendia os conceitos de escala, grandeza e urbanismo, visto que este lugar é o “maior complexo urbano em terra, em todo o mundo”.(Correia, 2006b, p. 16) Iniciado por volta do séc. IX, atingindo o seu apogeu em 1350 e conquistado pelos Incas no séc. XV, Chan Chan é constituído por nove cidadelas de adobe e taipa. Nas paredes estão perpetuadas a essência desta civilização a partir da arte *chimú*, ornamentada com motivos antropomórficos e zoomórficos [Fig.8]. Chan Chan foi classificado em 1986 como Património Mundial da UNESCO.



Fig. 8: Arte *chimú*; Fonte - [internet] Disponível em: <https://whc.unesco.org/en/documents/120769> ; imagem editada pela autora

No contexto do continente americano, existem atualmente vinte e cinco aldeias totalmente construídas em adobe no estado de Novo México, EUA. *Taos Pueblo* foi fundado sensivelmente no séc. XIII e destaca-se entre todos os outros por dois motivos: primeiro, por nunca ter deixado de ser habitado desde a sua fundação; e em segundo, pelo seu ótimo estado de conservação em que se encontra. As mulheres sempre tiveram um papel fundamental nestas comunidades, uma vez que são as próprias que fazem o

revestimento de lama nestas edificações empilhadas com coberturas planas de três a cinco pisos.

África é considerado o continente que abrange estruturas em terra mais bem conservadas e das mais duradouras do mundo, e todo o seu património deve-se à vasta sabedoria e à criatividade desta arte de construir em terra crua. Tem uma riqueza em tipologias, texturas, cores e ornamentação que vai desde a palácios, mesquitas, habitação a peças de arte.

No Iémen, a cidade de Shibam está completamente edificada sob as técnicas construtivas de adobe, *cob* (terra empilhada) e taipa, sendo que as primeiras construções datam o séc. XVI. Foi nesta cidade que o conceito de verticalidade habitacional teve origem, e é notório nos seus proeminentes arranha-céus (habitações tipo-torre) [Fig.9] que variam entre três e sete pisos, atingindo os 30m de cota. As espessuras das paredes estruturais são a chave para atingir a altura desejada, ou seja, a base apresenta um metro e finaliza no topo com trinta centímetros de espessura. Os andares superiores das habitações estão destinados ao alojamento de famílias com dezenas de membros, e neste sentido é importante que anualmente seja feita uma reabilitação a cal pintando de branco nas paredes exteriores, de forma a proteger o máximo possível contra os fortes raios solares. Shibam é sem dúvida outra demonstração do espantoso potencial que a construção em terra pode ter. Em 1982 foi considerado Património da Humanidade, contudo, em 2015 a ONU considerou desde então que Shibam está na lista de Património da Humanidade em Perigo. É relevante destacar a arquiteta Salma Samar Damluji (n.1954) e o seu incansável esforço para uma tentativa de reabilitação na cidade, no entanto, a violência de que esta cidade é alvo, desde o séc. XXI, em consequência da guerra, dificulta todo o seu empenho.



Fig. 9: Desenhos técnicos de uma habitação tipo-torre na cidade de Shibam; Fonte - [livro] *Arquitecturas de Terra. El Arte de Construir con Tierra: Pasado, Presente y Porvenir*, 2019, p.112, de Jean Dethier

Tal como Marrocos e Iémen, Mali é um país onde a construção em terra crua permanece como tradição desde a antiguidade, equivalente à cidade de Djénné que é uma das mais antigas do continente africano. Djénné foi erguida em 800 d.C., mas de acordo com os vestígios arqueológicos pensa-se que a formação desta cidade teve início no séc. III a.C., constatando-se assim, que esta região foi outrora o desenvolvimento das primeiras cidades de África subsaariana. O seu desenho urbano é de traçado orgânico e é ladeado por cerca de duas mil casas em adobe. No seio urbano encontra-se o ícone da cultura de Mali, isto é, a célebre mesquita de Djénné que reflete a fusão da tradição com a modernidade. (Dethier, 2019, pp. 173–213) A mesquita de Djenné, construída por Ismaila Traoré (s.d.) em 1907, é uma das obras mais altas do mundo em adobe, e está elevada a três metros do chão. Sempre que as chuvas intensas atingem o local é necessário reforçar a camada exterior das paredes da mesquita com reboco à base de terra, água e palha, mas por vezes, adicionam aglutinantes naturais para fortalecer mais ainda a alvenaria de adobe, como casca de arroz e estrume de animais. Os *torons* temporários de madeira de palmeira não são elementos decorativos, mas servem como suporte estrutural durante a manutenção. (Marchand, 2013, pp. 117–126) Todas as mesquitas de Mali estão construídas em terra, assim como grande parte das edificações deste país. Por este motivo pode-se deduzir que estas comunidades promovem as técnicas vernaculares, adaptando-as ao clima seco e quente utilizando exclusivamente os recursos naturais disponíveis. Mali é o país com construções mais originais, criativas e diversificadas de África.

Desde a Antiguidade que a Europa tem uma vasta diversidade técnica no âmbito da construção em terra, resultante das influências regionais. No decorrer da Idade Média muitos países europeus utilizavam a terra sob múltiplas técnicas como adobe, taipa, *half timber* (tabique), *withchert*, *cob*, *wattle and daub* (torchis), e *clay lump*, destinadas aos elementos construtivos.

*Europe has an extraordinary richness in traditional earthen techniques. An attempt of classification based upon the use and bonding systems follows divided into walls (adobe, half-timber, cob, rammed earth, daubed walls, lumps, CEB, earth bags, coated straw bales), floors, pavements, roofs (excavated, gardened, coating layers, bedding layers), mortars (beddings, coatings). Just not to forget any related variant, some hybrid techniques like gypsum or lime with masonry in formwork,*

*that retain the formwork but almost belong to the masonry field, have been included in rammed earth. We may point out the big number of mixed techniques where earth is combined with other materials like wood, brick or stone, other bounding products such as lime or gypsum, vegetal fibres like wattle, laths, wicker, straw, etc. The different function that wood assumes in some mixed techniques, definitive or auxiliary, has allowed to classify them into half-timber, when it retains its structural function and earth in several forms becomes just a filling; daubed walls, when the act of coating a vegetal screen between posts prevails; and cob or another techniques, when the wood structure has only an auxiliary function while building the wall, being structurally absorbed by the earthen wall once finished. Much in the same way, this classification includes the new earthen constructive techniques and related ones, reinterpretation of the tradition, like the modern adobe or CEB, the new cob earth-straw walls, earthen coated straw bale walls, etc. (Morot-Sir et al., 2011, p. 195)*

Na Alemanha os vestígios arqueológicos da Era do Bronze são ainda conservados atualmente, e possuem estruturas portantes de madeira juntamente com a técnica torchis, que é a mais adequada devido ao clima temperado do território.

Inglaterra sendo um país com um clima temperado e húmido influenciou no desenvolvimento das técnicas *witchert*, *rammed earth* (taipa) e *clay lump* desde a Idade Média, contudo, o *cob* foi utilizado como reforço de isolamento térmico nas espessas paredes nas regiões com alta pluviosidade, especialmente em Devon. O *cob* deve ser utilizado apenas quando o clima se encontra relativamente seco, final da primavera e durante os meses de verão. (McCabe & Watson, 2011, pp. 60–61)

França é um dos poucos países que engloba as quatro principais técnicas construtivas: “*pisé de terre*” (taipa), torchis, *cob* e adobe, e cada procedimento depende do clima e do tipo de solo da região. A técnica de torchis era utilizada sobretudo nas áreas rurais no norte e centro de França especialmente em Normandia e Alsácia, onde a madeira e a palha eram de fácil alcance; em regiões de solos argilosos a técnica mais adequada é o *pisé de terre* (Auvérnia-Ródano-Alpes); o adobe localiza-se com maior

frequência a sudoeste do território francês, representando o clima mais quente e seco (Albi); *cob* é particularmente usado em climas mais húmidos, ou seja, a oeste (Bretanha).

Após a Revolução Francesa de 1789 e em consonância com as ideias do Iluminismo, o construtor e arquiteto pioneiro François Cointeraux (n.1740-m.1830) teve uma forte influência na primeira modernização da construção em terra e foi “(...) *the responsible for the renovation of these traditional building techniques in France and, later, in many other countries. The purpose of this movement in the 18th-19th centuries was to provide cheap, healthy, incombustible and durable housing.*” (Fernandes, 2008, p. 25) Cointeraux promoveu o uso da terra num contexto de revalorização num período pós-revolucionário, fomentando que “(...) *las viviendas construídas com tierra debían ser compatibles com las necesidades de todos los estratos sociales.*” [Fig.10] (Dethier, 2019, p. 310) Com base nos seus livros, fascículos e obras, o autor conseguiu persuadir construtores e arquitetos de todo o mundo, e demonstrou que a construção em terra não era apenas uma prática antiga, efémera e para os desfavorecidos, mas uma alternativa viável em contexto económico e social, sobretudo, para atender os problemas habitacionais. O manual *Cahiers d'École d'Architecture Rurale* representou um marco significativo para a revolução construtiva, ao sistematizar e popularizar as técnicas de construção de forma educativa.

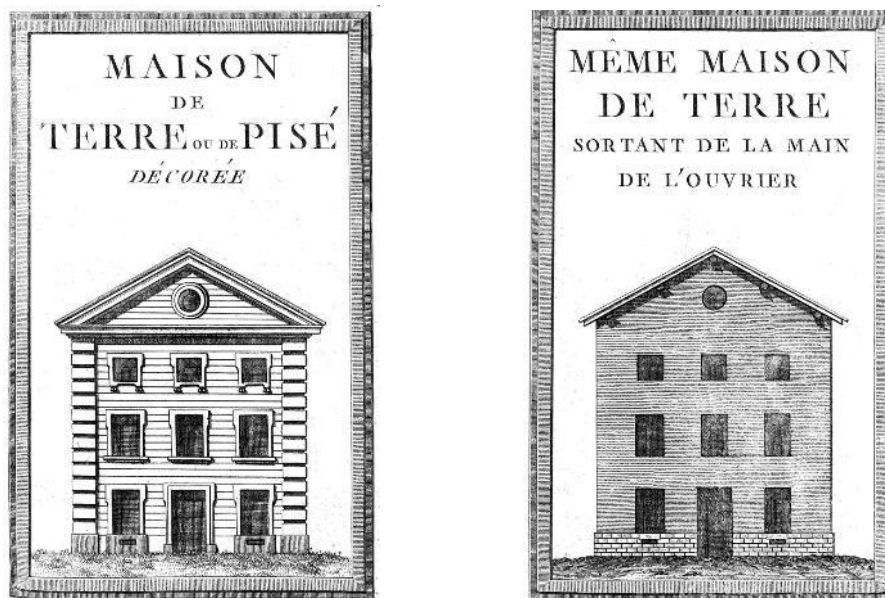


Fig. 10: Desenho representativo de duas casas semelhantes, em taipa, por François Cointeraux. À esquerda uma casa para os mais ricos e à direita para os mais pobres, difere apenas na ornamentação; Fonte - [internet] Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?search=Cointeraux&title=Special%3AMediaSearch&type=image>

A variedade geográfica das regiões dos diferentes países contribuiu às comunidades locais na adoção de novas e diferentes técnicas nos elementos construtivos, e não só atendeu às necessidades práticas como resultou na identidade cultural.

Neste seguimento é concebível afirmar que desde os primórdios que sempre se recorreu à construção a partir de materiais naturais, nomeadamente a pedra, a terra e a madeira; no entanto, esse padrão foi interrompido no século XIX pela industrialização. Na Europa, os materiais industrializados passaram a dominar e também a redefinir a construção civil, introduzindo opções de materiais mais resistentes e com uma maior durabilidade comparativamente às técnicas tradicionais, como o aço e o cimento, que simbolizavam o progresso e a modernidade. Assim sendo, o interesse pela terra foi decaindo devido ao estigma de que a terra era antiquada e pouco eficaz para o rápido crescimento urbano e para a construção de edifícios de grande escala.

No início do século XX com o desenvolvimento das novas tecnologias, os materiais tanto industrializados quanto os naturais, como pedra, mármore e madeira, passaram a ser amplamente utilizados, o que, conseqüentemente, gerou uma forte concorrência na indústria. (Dethier, 1992b, p. 66) Para além disso, a terra crua não foi comercializada nem apoiada até à década de 70. No entanto, após a resolução de cada uma das duas Grandes Guerras Mundiais (1914-18 e 1939-45), os materiais industrializados tornaram-se muito limitados, e sendo urgente reconstruir o meio urbano e rural, a terra (material de custo reduzido e acessível) foi novamente pretexto para revigorar muitos dos países europeus. A Alemanha foi a única nação da Europa que estabeleceu procedimentos ousados na reconstrução de milhares de infraestruturas, conseguindo evitar o consumo de toneladas de carvão.

O engenheiro colombiano Raúl Ramirez (s.d), no início dos anos 50, criou a primeira prensa, CINVA-Ram, de BTC (blocos de terra prefabricados e comprimidos individualmente por uma máquina manual/mecânica de compressão), e, conseqüentemente, resultou numa nova inovação da construção em terra sob esta técnica moderna que se difundiu por todo o mundo até ao momento. Por outras palavras, esta técnica é resultante de uma “*evolução tecnológica dos blocos de adobe*”. (M. F. C. G. da Silva, 2015, p. 23) A diferença entre essas duas técnicas reside no facto de que, enquanto a coesão dos blocos de adobe requer uma atenção na proporção adequada da

argila e ao seu processo de cura, os blocos de BTC alcançam a sua resistência máxima aquando submetidos à pressão pela compactação, o que melhora consideravelmente as propriedades do material.

Entre as décadas 40 e 70 do século XX, o arquiteto egípcio Hassan Fathy (n.1900-m.1989) contribuiu para a revalorização das culturas vernáculas integradas à configuração contemporânea a partir da construção *in situ*. Para Fathy os cânones ocidentais e os materiais industrializados deveriam de ser rejeitados, principalmente nos países em desenvolvimento, uma vez que defendia que a habitação deveria de ser acessível para pessoas com dificuldades económicas, um direito apesar da condição.

Esta conjugação da modernidade com tradição deve-se sobretudo à inspiração e conhecimento das técnicas milenares da região de Núbia, e isso permitiu-lhe obras de excelência a partir do adobe e das abóbadas núbias<sup>5</sup> (sem recorrer à cofragem). Um dos projetos mais conceituados é a cidade de New Gourna (1945-48) pois elementos construtivos outrora utilizados e esquecidos, reapareceram. (Duarte, 2013, pp. 5–6) A nível internacional, Hassan influenciou até então, numerosos arquitetos de renome, como: Diébédo Francis Kéré (n.1965), Anna Heringer (n.1977), Thomas Granier (s.d.) e o grupo CRAterre (*Centre International de la Construction en Terre*).

Foi nos Estados Unidos que a crise energética no ano de 1973, desencadeada pelas crises petrolíferas globais, transformou o pensamento arquitetónico e ambiental, e reatualizou paradigmas em larga escala, incluindo a construção de milhares de habitações de luxo. (Dethier, 1992a, p. 118) Neste contexto, a procura de soluções sustentáveis e energeticamente mais eficientes levou a um ressurgimento da utilização da construção em terra crua. Este destaque deve-se às suas características benéficas e adequadas às novas necessidades: baixo consumo energético, financeiramente mais barato, impacte ambiental reduzido, excelente desempenho térmico e facilidade no acesso ao material (por exemplo a extração da matéria-prima na própria fundação). Após este acontecimento foram vários os arquitetos e engenheiros que demonstraram interesse por este conhecimento vernacular, que tiveram um papel crucial na sensibilidade ecológica e que promoveram cooperações técnicas com os países em desenvolvimento.

---

<sup>5</sup> Abóbadas em adobe sem cofragem. Utilizadas desde a Antiguidade no Norte de África, são eficientes a nível estrutural e térmico.

Dando seguimento à década de 70, o arquiteto iraniano Nader Khalili (n.1936-n.2008) desenvolveu uma nova técnica - *superadobe*, que resulta no enchimento de terra (argila) em sacos de lona para obter estruturas de compressão para paredes e cúpulas. Conforme Zhao *et al.* (2015), este sistema abobadado permite estruturas autoportantes, sustentáveis e flexíveis, que permite espaços com uma ótima ventilação, isolamento e iluminação, sem que seja necessário a introdução de equipamentos de construção, e, adicionalmente, sem recorrer à alta tecnologia, o *superadobe* pode conceder um bom desempenho sísmico [Fig.11]. Apesar da década contextualizar-se nas ideias e conceitos modernos, a inspiração de Khalili provém da antiguidade, mais concretamente do séc. XIII em Pérsia, pelo poeta Rumi. Este protótipo resultou na atribuição do prémio *Aga Khan* no ano de 2004.



Fig. 11: Processo de construção de um abrigo a partir da técnica de *superadobe* no Irão. Fonte - [internet] Disponível em <https://the.akdn/en/how-we-work/our-agencies/aga-khan-trust-culture/akaa/sandbag-shelters>

Gernot Minke (n. 1937) arquiteto e engenheiro alemão, é reconhecido pela sua pesquisa e documentação técnica e detalhada sobre a construção sustentável e económica. As suas vantajosas intervenções nos países de Terceiro Mundo proporcionaram obras didáticas em dezenas de países; a forma, a textura e a flexibilidade que os materiais naturais conseguem proporcionar, como a terra e o bambu, são parte da renovação e modernização que este arquiteto concebeu e difundiu.

Também o arquiteto e urbanista belga, Jean Dethier (n.1939), a partir da década de 70, promoveu e impulsionou o renascimento desta matéria-prima, com o objetivo de fazer reconhecer a arquitetura vernacular e de como estas práticas eram aptas para os problemas habitacionais e ambientes, visando a preservação do património cultural. Foi

o autor das emblemáticas exposições no Centre Pompidou de Paris, ao longo de trinta anos, nas quais se destaca “*As Arquiteturas de Terra*” no ano de 1981, que evocava o uso da terra crua de quinze países com distintas culturas. Nesse mesmo ano, Dethier colocou em prática a sua teoria através de um bairro experimental em L’Isle-d’Abeau (região de Auvérnia-Ródano-Alpes, França), denominado “*Domaine de la Terre*”, e concluído quatro anos depois. Estes conceitos levaram a cabo um projeto inovador de 65 unidades habitacionais de dois a cinco pisos (direção técnica assumida pelo grupo CRAterre) com a aplicação de taipa, blocos de terra comprimida (BTC) e uma mistura de terra-palha. (Dethier, 2019, pp. 392-394/492-493) Evidenciou, portanto, de forma teórico-prática as vantagens sustentáveis e a relevância histórica perante presentes e futuros desafios socioeconómicos e ambientais.

CRAterre é um grupo pioneiro, sem fins lucrativos, na reatualização da arte de construir em terra desde 1979 em Grenoble, França. Patrice Doat, Hubert Guillaud e Hugo Houben são os três principais fundadores deste grupo, contudo, esta comunidade atualmente abrange cerca de sessenta pessoas de diferentes profissões e nacionalidades. Os propósitos substanciais para este grupo correspondem às temáticas ambientais, económicas e tecnológicas, e a sua ambição é “*inventar una estratégia de acción internacional para regenerar, actualizar y promover el arte de construir con tierra.*” (Dethier, 2019, p. 370) CRAterre é reconhecido como uma autoridade internacional, desde que estabeleceu uma colaboração entre a Unesco e o centro universitário da Universidade Grenoble Alpes.

O século XXI está marcado por três grandes desafios eminentes: a crise energética, as questões ambientais e a pobreza mundial, o que justifica que a construção esteja associada a estes fatores, conseguindo atenuar decisivamente e ousadamente, desde que haja uma consciência socioeconómica, política e ecológica. Afortunadamente, arquitetos, engenheiros e investigadores contribuem para esses problemas e tiveram (e continuam a ter) uma alta consideração pelos materiais naturais e pelas práticas ancestrais, associados à inovação. É, portanto, neste século que a construção em terra atinge o seu auge à escala mundial, inclusive em países que não têm qualquer tradição primitiva como Áustria e Austrália; e a arquitetura em terra atinge vários setores: turismo, educação, cultura, comércio, religião, saúde, lazer, social, militar, entre outros.

Segundo constam várias investigações, verifica-se que atualmente cerca de um terço da população habita em construções de terra, sendo que a maior parte corresponde ao meio rural e a países em desenvolvimento, no entanto denota-se um significativo aumento em países desenvolvidos, dado que nestes últimos anos têm investindo cada vez mais nas infraestruturas de terra.

Um dos inúmeros arquitetos que também contribui para a renovação desta construção no séc. XXI é Francis Kéré\_(n.1965), que acredita que fazer mais com menos corresponde a uma arquitetura humanista e ética. É a partir da extração do solo e de como adapta as dificuldades à reinterpretação e inovação da tradição vernácula, que Kéré ganha prestígio em 2001 com o seu primeiro projeto de uma escola primária em Gando (Burquina Faso). Esta escola teve a participação dinâmica dos residentes locais que contribuíram para o acesso à educação das crianças. As paredes são construídas em BTC e estão assentes numa laje de betão. A disposição das aberturas da cobertura metálica garantem a ventilação transversal ao interior do edifício, favorecendo o conforto térmico.(«Retratos de los Pioneros», 2019, p. 368)

Em Espanha pode observar-se uma obra que demonstra mais um exemplo de que a junção da terra com a água nem sempre resulta numa adversidade, pois se for bem equilibrado, este elo permite uma ótima combinação. É em Zamora que a piscina municipal de Toro [Fig. 12] conjuga estes dois elementos naturais numa sumptuosidade teatral entre a luz, sombra e o reflexo do edificado contemporâneo. Em 2010, Vier Arquitectos conceberam este projeto de 2450 m<sup>2</sup> com paredes de taipa reforçadas por 2% de cal, 4% de cimento branco, e aditivos fungicidas.



Fig. 12: Fotografias da Piscina Municipal de Toro, por Héctor Fernández Santos-Díez; Fonte - [internet] Disponível em: <https://concursosdeprojeto.org/2011/06/03/piscinamunicipal-toro-espanha/>

A construção em terra reinventa-se em virtude da união entre tradição e tecnologia, concedendo maior eficiência, rapidez e durabilidade face às novas demandas da era contemporânea. Jalili & Eires (2008) explica que as inovações se baseiam na estabilização do solo perante as resistências mecânica, aos microrganismos e à água (estabilidade volumétrica). Também é referido que para uma melhor estabilização desta matéria-prima pode ser adicionado, em pouca quantia, produtos de origem orgânica ou mineral, e pode ser mesclada com diferentes materiais como cinzas volantes, cimento, cal e pozolanas. Barbosa & Ghavami (2014) especificam que “a estabilização mais comum é feita com a incorporação de diferentes produtos na terra, como materiais industrializados água-repelente, emulsões betuminosas, cal, cimento Portland, fibras.”

Algumas das inovações científicas e tecnológicas que ressaltam atualmente entre as técnicas anteriormente mencionadas são: adobe e taipa mecanizada, BTC em prensa hidráulica, “*adobeton*” (revestimento de betão), BTC eco-eficiente (sem adição de cimento), e, tijolos e placas extrudidas de argila. Neste âmbito a tecnologia permite ao material um aperfeiçoamento na estabilização e um processo na execução mais rápido, mas o inconveniente desta mecanização no decurso de fabrico é o consumo de energia.

*(...) têm sido desenvolvidas novas tecnologias para compactação, estabilização e impermeabilização de solos para melhorar a durabilidade da construção em terra. Todavia, a sustentabilidade da solução construtiva pode ser comprometida pelo uso excessivo de cimento ou materiais excessivamente impermeabilizantes. (Eires, Camões, & Ponte, 2014)*

Independentemente de a construção em terra atingir o apogeu na contemporaneidade, infelizmente este material continua a ser alvo de preconceito e associado à pobreza. Não obstante, a terra necessitava ser valorizada e aceite como qualquer outro material em zonas urbanas, mas este reconhecimento é complexo pois bem parte dos países desenvolvidos não colaboram e/ou não possuem qualquer regulamentação sobre esta prática, em função dos critérios de segurança ou fiabilidade. A legislação da Alemanha é uma das exceções, uma vez que, promove a construção em terra em todo o território nacional e aborda a terra como qualquer outro material.

Hoje, construir em terra significa uma maior consciência pela envolvente e consideração pela história, demonstra como a tradição milenar sempre correspondeu a todas as exigências, transformações e problemas das épocas. Esta prática está interligada a um vínculo entre a tradição e modernidade, na conservação com inovação; e mantém-se ativa pela capacidade que esta tem de evoluir e expandir-se sob vários métodos. No fundo, é revalorizada e apreciada por todos os seus benefícios sustentáveis a todos os níveis, capaz de ser devolvida novamente à natureza sem que altere as suas características mineralógicas.

O que caracteriza a construção tradicional em terra crua por todo o mundo é, sobretudo, pelo facto de ser totalmente sustentável, reciclável<sup>6</sup> e pela sua durabilidade, pois edifícios de grande e pequena escala perduram há séculos. Para além de ser um recurso acessível em praticamente todo o planeta, este é capaz de oferecer total liberdade criativa e de refletir a essência da cultura da região ou país, que simboliza e representa a identidade local.

### **2.2.1 Sistemas Construtivos em terra crua**

Correia (2006) explicita que a arquitetura em terra crua, refere-se a toda a construção que preserva as características mineralógicas desta matéria-prima, isto é, não se deve proceder à cozedura da terra. Para uma construção resistente e eficiente, é essencial que as propriedades da terra enquanto material, - plasticidade, textura e coesão/compressão, devam corresponder adequadamente à(s) técnica(s).

Existem inúmeros registos de soluções construtivas em terra crua, com variantes nas técnicas vernaculares que se distinguem consoante a região. Com o objetivo de facilitar toda esta vasta diversidade de técnicas, o grupo CRAterre, publicou no *Traité de Construction en Terre* do ano de 1989, um diagrama circular [Fig.13] subdividido por dezoito técnicas e agrupadas em três tipos de sistemas, sendo que a maior parte corresponde às técnicas tradicionais.

---

<sup>6</sup> A terra crua pode ser reutilizada para novas construções sem perda significativa das suas propriedades originais.

Os métodos construtivos em terra estão agrupados nas seguintes categorias: (A) Sistema monolítico e portante; (B) Sistema de alvenaria; e (C) Sistema de revestimento ou enchimento. Para cada grupo o tratamento do solo difere, no sentido em que, é necessário, primeiramente, conhecer e analisar a terra em questão para que a técnica seja a mais apropriada possível.

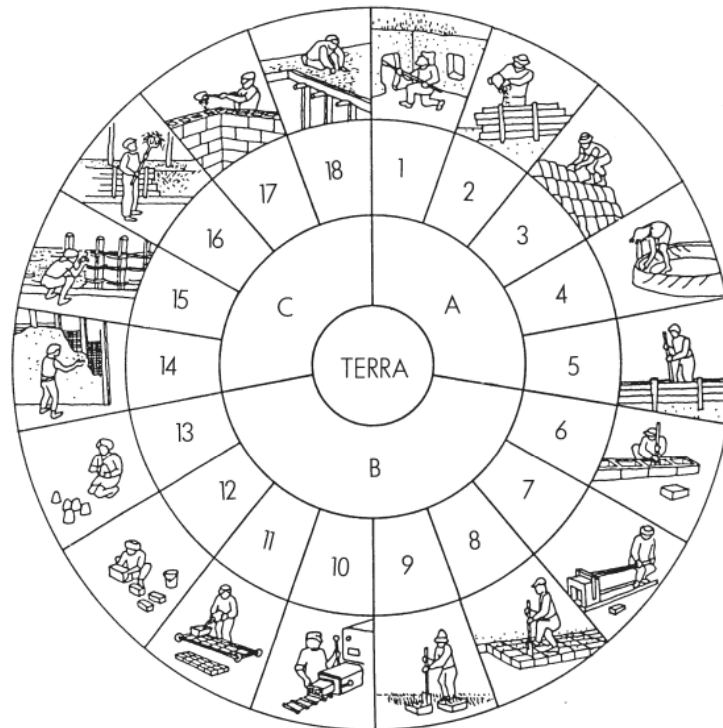


Fig. 13: Diagrama dos diferentes sistemas construtivos em terra crua (tradicionais e modernos), determinado pelo grupo de CRAterre. Fonte - [secção de um livro] Houben, Hugo & Guillaud, Hubert (1989). *Traité de Construction en Terre*. Citado em Correia, Mariana. “Técnicas de Construir em Terra”. In: *Terra Forma de Construir*, 2006, p.22

**A. Sistema monolítico e portante:** abarca cinco técnicas construtivas em que todo o seu processo é elaborado *in situ*, e a própria extração do local permite uma edificação estrutural contínua por compactação ou moldada, sem que o material seja desagregado.

- 1) **Terra Escavada:** é uma técnica utilizada desde os primórdios e consiste na construção por subtração da crosta terrestre no seu estado seco ou sólido, com boas propriedades mecânicas. Conhecidos até então, os habitats de vários espaços no seu interior, são escavados horizontalmente (vários exemplos nos

países mediterrânicos, como em Espanha e Itália) ou verticalmente (Tunísia e China) em colinas e planaltos.

- 2) **Terra plástica:** conhecida também por terra vazada, é a mescla de terra argilosa com água e gravilha, ou areias grossas, até obter o estado plástico do material. Depois do preparado a terra é seguidamente vertida sobre moldes para conceber pavimentos, e em cofragens para erguer paredes (equivalente ao betão magro). É uma técnica recente pois foi empregue na construção, devido à escassez de materiais após a II Guerra Mundial, porém, não é praticamente utilizada hoje em dia, justamente pela suscetibilidade de fissuração por retração em excesso.
  
- 3) **Terra empilhada:** ou *cob* em inglês e *bauge* em francês, corresponde à sobreposição manual de montículos ou bolas de terra/lama com palha, em sucessivas camadas. É muito semelhante à técnica da taipa, mas a terra empilhada não recorre a taipais para erguer paredes espessas, e no fim a superfície é aparada e regularizada por corte vertical através de ferramentas, como espátulas ou régua. Esta técnica tradicional é utilizada e reconhecida na Arábia Saudita, Iémen, Alemanha e Afeganistão.
  
- 4) **Terra modelada:** deve encontrar-se no seu estado plástico para facilitar o manuseamento do barro em forma de rolos e posicionados em faixas para obter altura. As paredes são relativamente finas e por vezes é adicionado materiais vegetais entrelaçados para um maior reforço estrutural. Este método verifica-se no Equador e México, mas é aplicado com uma vasta diversidade, sobretudo, nas técnicas indígenas africanas.
  
- 5) **Terra prensada:** relativamente a este grupo de sistemas monolíticos, a terra prensada ou comprimida é o método tradicional em terra crua com maior difusão no mundo, pois encontra-se presente em todos os continentes. Dependendo da região, a variante lexical que designa esta técnica de construção com a terra prensada são as seguintes: taipa (Portugal), taipa de pilão (Brasil), *tapial* (hispanicos), *rammed earth* (anglo-saxónicos), *stampflembau* (Alemanha) e *pisé de terre* (França). Para a sua execução, é

necessário, primeiramente, que a terra arenosa, geralmente com agregados médios, possua um baixo teor de água; em seguida, esta é inserida dentro das cofragens, e, por camadas, é compactada manualmente ou com o auxílio de equipamentos pneumáticos.

**B. Sistema de alvenaria portante:** representa as oito técnicas que empregam a terra em alvenaria, porém este processo inicia-se pela produção de blocos ou módulos de adobes (a origem da palavra advém do Egito *thobe* ou *toub*), e só após a sua secagem é elaborada uma composição que permite estruturas autoportantes, como é demonstrado a versatilidade das construções tradicionais de arcos, cúpulas, abóbadas e paredes.

- 6) **Blocos apiloados:** dizem respeito aos blocos comprimidos de adobe retangulares ou quadrados, moldados manualmente com um maço ou um pilão, em pequenas cofragens. Para a sua manufatura é necessário que a terra se encontre no estado plástico ou totalmente seco.
- 7) **Blocos prensados:** ou blocos de terra comprimida (BTC) ou CEB (*Compressed Earthen Blocks*) são módulos de terra seca prensados a partir de máquinas manuais ou mecânicas, de modo a aumentar a resistência e a reduzir o tempo de secagem. Esta técnica é relativamente recente e, ocasionalmente, a terra é estabilizada com cimento ou cal, diminuindo assim os problemas de retração.
- 8) **Blocos cortados:** têm características minerais muito específicas e só se encontram em locais de clima húmido e, simultaneamente, quente, ou seja, em zonas tropicais e subtropicais. Esta terra tem tendência a oxidar aquando exposto ao ar ou à humidade, devido à sua alta concentração de hidróxido metálico, e conseqüentemente, a terra adquire uma boa coesão e dureza, assemelhando-se à pedra. A técnica destes blocos consiste em cortar unidades diretamente do solo, e em seguida é feita uma secagem ao ar livre de modo a obter o seu peculiar aspeto enferrujado. Existem pedreiras com este solo em específico em alguns países, sendo a Índia particularmente reconhecida pela extração de blocos de laterite.

- 9) **Torrões de terra:** ou blocos talhados refere-se à técnica que utiliza a camada de terra vegetal coerente como material construtivo. Este processo, tal como os blocos cortados, são talhados ou cortados diretamente do solo e secos após essa extração, porém os torrões de terra necessitam que a camada vegetal esteja completamente coesa. Uma vez que são retiradas unidades manualmente ou com o auxílio de ferramentas simples, estes blocos de corte impreciso, apresentam diferentes dimensões e formatos irregulares.
- 10) **Terra extrudida:** trata-se de blocos de terra com alto teor de finos, cuja composição permite a produção de alvenaria, devido ao seu estado seco com alguma plasticidade. O seu processo de fabricação advém, e é muito semelhante, ao dos tijolos cerâmicos; no entanto, os fornos estão somente destinados na secagem dos blocos de terra extrudida, sem serem submetidos à cozedura, que é característico nos tijolos cerâmicos. Estes produtos de formas variadas, são estabilizados com cimento ou cal e são comercializados em muitos países, nomeadamente em França e Alemanha na construção habitacional em série. As paredes exteriores não devem ser demasiado espessas, e neste sentido, é sugerido que sejam substituídas por paredes duplas reforçadas com palha, que atua como um bom isolamento.
- 11) **Adobe mecânico:** é uma técnica similar à da terra extrudida, mas que difere no método de secagem e no estado específico da terra. As unidades devem apresentar uma plasticidade com teor líquido adequado e, após a cofragem, são deixadas a secar ao ar livre.
- 12) **Adobe manual:** consiste no manuseamento da terra argilosa e areia sob múltiplas formas, nomeadamente arredondadas, e, posteriormente, os blocos são secos ao sol. É considerada uma técnica ancestral segundo factos comprovados através da arqueologia, e desde as primeiras civilizações que esta prática continua a ser empregue. Estes adobes não recorrem a moldes nem são compactados.
- 13) **Adobe moldado:** são os blocos de terra no seu estado plástico e mesclados com fibras vegetais para fortalecer a resistência à tração. Este método é manual e traduz-se em pressionar a terra em moldes de diversos estilos e

formas. Presente em todos os continentes, é de facto uma das técnicas mais populares e utilizadas, assim como em Portugal continental. Esta técnica consegue adaptar-se às zonas sísmicas.

**C. Sistema de revestimento ou enchimento:** trata-se de cinco técnicas em que a terra é empregue apenas como um elemento integrante à estrutura de suporte. Estes métodos, conhecidos também por técnicas mistas, não têm qualquer função estrutural e podem ser conjugadas com todos os sistemas anteriormente mencionados.

14) **Terra de recobrimento:** denominado também de tabique, taipa de fasquio, guarnição ou *torchis* (em francês) e *wattle and daub* (em inglês britânico), é a aplicação tradicional da terra, no seu estado plástico, funcionando como uma massa de revestimento em estruturas de suporte, preferencialmente de madeira em trama. Este recobrimento possui uma ligeira percentagem de fibras naturais para aumentar a coesão, e é empregue essencialmente nas paredes exteriores. Este processo é aplicado em camadas e é geralmente comprimido com as mãos no sentido ascendente; e foi muito utilizado em várias regiões de Portugal: Trás-os-Montes, Minho, Beira Alta e Beira Baixa.

15) **Terra sobre engradado:** ou taipa de rodízio é uma técnica equivalente à terra de recobrimento, contudo esta é empregue como revestimento como de enchimento de uma estrutura portante. É também considerada uma técnica mista devido à versatilidade que esta tem de se conjugar com outros sistemas, como rolos de terra, adobe e torrões de terra, sendo a superfície finalizada com uma argamassa mais fina em terra. A terra sobre engradado é maioritariamente confundida com a terra de recobrimento, não só pela ínfima diferença, mas sobretudo pela mesma designação que ambas possuem - tabique de terra.

16) **Terra-palha:** resulta numa mescla de terra argilosa líquida com quantidades significativas de palha, urze ou ervas, de modo que este material seja bastante fibroso. Esta técnica, denominada também de *straw clay* ou *light clay* nos países anglófonos, é aplicada na construção de paredes,

pavimentos e isolamento de parede; mas é frequentemente usufruída para o enchimento de vazios de uma armação leve. É inconveniente utilizar esta estratégia em climas húmidos, pois é suscetível na formação de fungos. No projeto de *Domaine de La Terre*, em Isle d’Abeau, este método foi adotado com sucesso.

17) **Terra de enchimento:** alude ao reforço de vários tipos de estruturas ocas sob a forma de enchimento ou isolamento entre panos de alvenaria. Atualmente também existe a possibilidade de aplicar a terra de enchimento em blocos de betão ocos.

18) **Terra de cobertura:** é a terra que protege e reveste coberturas inclinadas ou planas, sendo necessário um escoamento de águas. Estas coberturas são geralmente combinadas com estruturas de madeira e fibras vegetais, e destacam-se pela excelente eficiência de isolamento térmico. Na Madeira, em Ilha de Porto Santo, é utilizada esta técnica, cognominada de “casas de salão”, devido à vantajosa retração por parte da argila: quando o clima está seco, a fissuração permite uma ótima ventilação no espaço interior; e quando o clima se encontra húmido a terra ao reter a água, expande continuamente, e conseqüentemente, impermeabiliza toda a cobertura. Em contextos contemporâneos, a sustentabilidade tem sido amplamente valorizada, e neste âmbito, as vantagens das coberturas verdes (como o isolamento térmico) são cada vez mais reconhecidas na arquitetura de diversos países.

Como foi possível verificar entre estas técnicas e sistemas anteriormente descritos, denota-se que a água é o elemento aglutinador em percentagens distintas, o principal fator para uma construção firme e resistente. Muitas das técnicas são aplicadas e valorizadas em vários pontos do mundo [Fig. 14], mas apenas três destacam-se como as mais praticadas atualmente, seja na vertente tradicional ou na inovadora: adobe, taipa e BTC.



Fig. 14: Mapa do mundo (arquitetura em terra crua). As áreas a laranja representam onde a construção em terra crua é uma prática tradicional. Os pontos vermelhos assinalam lugares construídos com terra considerados Património Mundial da Unesco. Fonte - [livro] Craterre (s.d); citado em: *Arquitecturas de Tierra. El Arte de Construir con Tierra: Pasado, Presente y Porvenir*, 2019, pp.26-27, de Jean Dethier; imagem editada pela autora

A terra crua apresenta múltiplas potencialidades e qualidades, assim como existem algumas limitações que devem ser consideradas. Primeiramente, serão abordados os aspetos vantajosos da utilização da terra enquanto material de construção, e, posteriormente, serão descritas as suas condicionantes.

#### **Vantagens:**

- Recurso natural e dos materiais mais abundantes do planeta (na maioria das vezes encontra-se no próprio local e, conseqüentemente, torna-se desnecessário recorrer ao transporte);

- Excelentes propriedades térmicas, hídricas e acústicas. A terra crua favorece conforto através: da regulação da humidade relativa do ambiente, da alta inércia térmica (devido à densidade e espessura das paredes) e da baixa condutividade térmica;
- Baixo consumo energético. Não é necessário recorrer ao processo de cozedura;
- É económico, podendo contribuir na minimização do custo de construção, como o de: aquecimento, transporte, aquisição de matéria-prima, e mão-de-obra;
- É saudável, pois não produz emissões tóxicas e consegue prevenir o risco de doenças respiratórias;
- Considera-se um material ecológico (totalmente natural) de processo reciclável (desde que não seja adicionado qualquer aditivo químico), pois tem facilidade em reincorporar-se no meio ambiente através da simples desagregação do material (não perde as suas propriedades originais).
- Não é uma ameaça para agricultura, porque é biodegradável e pode servir também para cultivo.
- Facilidade na adaptação de outros materiais naturais, permitindo o aperfeiçoamento das propriedades da terra, como o uso de: palha, cânhamo, areias, cal e argila.
- Não apodrece materiais orgânicos (como a madeira);
- É adequado para a autoconstrução, uma vez que, o grau de complexidade é pequeno;
- Material ignífugo;
- Fusão com a escultura, justamente pela sua versatilidade nas formas e pela sua facilidade em manusear a matéria-prima.

**Desvantagens:**

- Vulnerável à água em excesso, ou seja, é um material bastante permeável aquando exposto à chuva direta ou humidade constante, comprometendo a durabilidade e resistência. Todavia, esta questão pode ser resolvida segundo elementos construtivos adequados para a sua proteção e impedição de infiltrações indesejadas;
- Baixa resistência mecânica a ações horizontais (sísmica). Deverá ser conjugado e reforçado com estruturas (por exemplo madeira, aço ou betão);
- Desafio em encontrar empresas especializadas e de obter financiamento;
- Na maioria dos países não existe qualquer legislação específica;
- Processo de secagem lenta, mas necessário para evitar fendilhação;
- A construção em terra crua é considerada como arcaica.

### **2.3 A Taipa: Evolução, Conceito e Processo Construtivo**

Presente nos cinco continentes, a taipa é uma técnica construtiva ancestral e monolítica, e entre todas as formas de construir com a terra crua, esta destaca-se considerando que: demonstra a versatilidade em inúmeros contextos geográficos; possibilita na construção de edifícios com ótima inércia térmica; pelas paredes autoportantes resistentes; e permite que todo o seu processo de extração e execução seja *in situ*. A sua lógica construtiva é mais sofisticada e minuciosa comparativamente ao adobe ou ao *cob*, como se verifica: na precisão na mistura da terra, no planeamento e execução, no equipamento e na estabilidade. Relativamente ao seu valor histórico, este é incontornável, e através de majestosas obras com vários séculos e até milénios, revela a sua resistência e durabilidade, que continuam a inspirar o cenário contemporâneo.

A origem da construção em taipa não é totalmente concreta, todavia, verifica-se que é utilizada como solução construtiva desde o período pré-histórico, - Minke ( 2006) afirma que existem fundações que datam os 5000 a.C. na Assíria; e Ciancio & Beckett (2015) argumentam que as construções mais antigas de que se tem conhecimento estão presentes em Çatal Höyük (Turquia), estimam-se ter cerca de dez mil anos.

Neste âmbito é importante referenciar obras emblemáticas por continentes, evidenciando como a taipa se adaptou e resistiu às particularidades geográficas e culturais. Posteriormente, será evidenciado o processo da técnica, tanto na sua forma tradicional quanto na forma evolutiva, incluindo a sua adaptação para com as exigências atuais.

## ÁSIA

O continente asiático é um dos berços da construção em taipa, onde esta técnica desempenhou um papel crucial na história de diversas comunidades ao longo dos séculos. Apesar das diferentes culturas e climas, a taipa, desde a Antiguidade, que conseguiu adaptar-se facilmente a várias regiões da Ásia, sobretudo a China, que representa o país com maior aplicação e diversidade deste método na construção.

Antes de se difundir por todo o território chinês, após o período dos Três reinos (221-581 d.C.), a taipa foi empregue por volta do século V a.C. em várias partes da Grande Muralha da China, nomeadamente no deserto Gobi. (Fernandes, 2013, p. 15) De acordo com Correia (2006b), a fiabilidade tanto do material quanto da própria técnica, a nível de durabilidade e resistência, comprova-se pelos troços da muralha, que ainda permanecem, - os muros a nordeste da China, medem 3,00m de altura, sendo que a base corresponde a 4,20m de espessura e o topo apresenta 2,50m. A composição destas partes da muralha resulta de uma mescla da terra amarela com gravilha.

A partir do séc. XII, a etnia *hakka*, situada em Fujian, a sudeste da China, desenvolveu uma arquitetura rural doméstica, conhecida como *tulou*, com finalidade defensiva. Os *tulou* funcionam como uma espécie de cidade circular, integrando atividades coletivas dentro da fortaleza, geralmente de planta circular, onde residem centenas de habitantes. Os edifícios que se encontram no interior da muralha de taipa podem atingir os cinco pisos e estão organizados da seguinte maneira: piso inferior é

destinado somente aos animais; o piso acima serve como armazém; e os restantes pisos correspondem às habitações. Esta planta, se tiver a forma circular, pode alcançar os setenta metros de diâmetro, e a muralha varia entre dois e três metros de espessura, assegurando simultaneamente, um conforto térmico a toda a comunidade. Estes *tolou* advêm de práticas vernaculares que continuaram a ser utilizadas até ao séc. XX, e são, desde então, habitadas. O *tolou* mais antigo é do ano de 1308 e o mais recente de 1981. (Dethier, 2019, pp. 126–127)

Atualmente no território chinês a técnica da taipa não é tão usual quanto nos séculos passados, principalmente em zonas rurais onde esta prática vernacular era imprescindível. Contudo, e apesar da crescente urbanização e a perda de mão de obra que foi progressivamente entrando em declínio, a construção em taipa renasceu graças à intervenção de arquitetos chineses que combinam a tradição vernacular com abordagens inovadoras. São exemplo, os arquitetos Wang Shu (n.1963) e Lu Wenyu (n.1967) que têm investido na conservação dos métodos tradicionais e na valorização das práticas ecológicas. Na ótica deste casal e devido ao interesse de Wang Shu pelos trabalhos do grupo CRAterre, a terra deve ser prezada enquanto material potencial na construção chinesa, especialmente a partir da técnica da taipa.

Por este motivo, formaram uma parceria franco-chinesa, para a construção de um campus universitário, *China Academy of Arts* (CAA), em Xiangshan (Hangzhou) que alberga cerca de oito mil estudantes. Inserido no centro do campus, conceberam um laboratório de investigação Wa Shan, inaugurado em 2013, com o objetivo de acolherem e especializarem artesãos, técnicos e docentes, para a utilização da terra na construção moderna, abrangendo a sustentabilidade e a tradição. Esta obra de 67.000 m<sup>2</sup> corresponde a uma construção “(...) *que instaura una cohabitación inteligente y harmoniosa entre los altos muros paralelos de tapial rojizo, las estructuras portantes de hormigón y una inmensa cubierta ondulada de planchas de pino que cubre el conjunto de este lugar representativo de la arquitectura contemporánea.*” (Dethier, 2019, p. 369) Este edifício é magnífico nas suas coloridas paredes de taipa, e pela sua cobertura com uma incrível estrutura de madeira. A combinação destes dois materiais naturais demonstra grande eficácia em distintos domínios, nomeadamente, a nível estético, estrutural e funcional.

### Bangladesh

No que tange a um dos países mais pobres do mundo, a arquiteta Anna Heringer edificou em 2006 uma escola primária em Bangladesh [Fig.15], um projeto educativo muito meticuloso e engenhoso. O seu principal objetivo era fomentar a valorização dos recursos naturais do próprio local seguindo os princípios ecológicos, sociais e humanísticos. As paredes são erguidas em taipa, e a estrutura da cobertura do edificado é toda ela constituída por bambu, ou seja, este projeto demonstra que estes dois materiais totalmente naturais e que se encontram na região, revelam grande compatibilidade. A pensar no bem-estar das crianças, Anna projetou nas próprias paredes, uns nichos que evocam o ventre da mãe, proporcionando através da forma um conforto mais acolhedor.

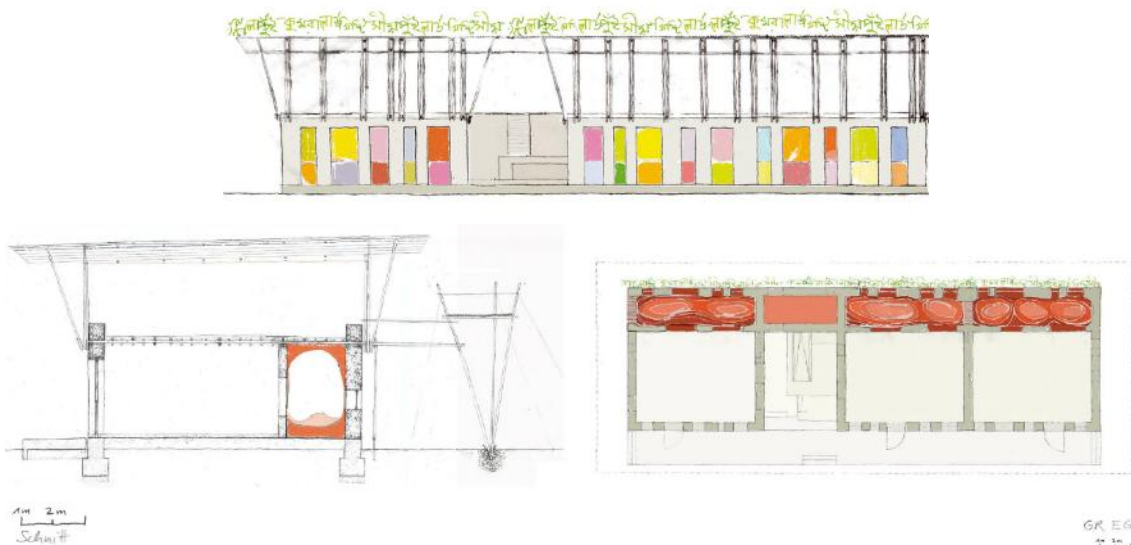


Fig. 15: Desenhos técnicos da escola primária em Bangladesh. Fonte – [internet] Disponível em: <https://www.anna-heringer.com/projects/reti-school-bangladesh/>

## ÁFRICA

No continente africano a terra é amplamente empregue sob a técnica do adobe na maioria dos países, contudo, no Egito e na Argélia a taipa é utilizada ocasionalmente, sobretudo como uma técnica secundária. Contrariamente, no interior de Marrocos a taipa é notoriamente predominante, sendo em alguns dos casos aplicada em simultâneo com o adobe.

Marrocos é sem dúvida um dos poucos países que melhor conserva a arte de construir em terra, bem visível nas suas medinas tradicionais, seja em qualidade quanto em pluralidade, seja pela sua integração ou vitalidade. As práticas ancestrais da

construção monolítica foram sempre preservadas, garantindo que essas cidades permanecessem sempre habitadas.

Embora a Argélia se enquadre como um país que utiliza a taipa como método complementar à construção, existe uma exceção em Adrar, região onde surgiu o primeiro hospital de terra (taipa) do mundo, promovido pela França. Devido à escassez de materiais industrializados da região do Saara, Michel Luyckx (n.1903 - m.1990), arquiteto franco-belga, construiu em 1942 o hospital pioneiro que comprovou a idoneidade deste material, isto é, a terra é compatível com os critérios de higiene, ética, modernidade e salubridade. (Dethier, 1992a, pp. 117–118) Este hospital teve uma forte influência nos projetos com o mesmo cariz, inspirando arquitetos a utilizar a terra como material principal, viável, económico e sustentável: André Ravéreau (n.1919-m.2017) e Philippe Lauwers (s.d) na construção de um centro de saúde em Mopti, Mali (1970-1974); Mauricio Rocha (n. 1965), no ano de 2000, ergueu o Centro Nacional de luta contra a cegueira no México; e Francis Kéré, projetou a maternidade e o centro cirúrgico no ano de 2012 em Léo, Burkina Faso [Fig. 16].



Fig. 16: Léo Surgical Clinic and Health Centre. Fotografias de Kéré Architecture (esquerda) e Andrea Maretti (direita). Fonte – [internet] Disponível em: <https://www.kerearchitecture.com/work/building/surgical-clinic-and-health-centre>

## EUROPA

Desde o período neolítico que a construção em terra tem estado presente por toda a Europa, manifestando-se através de diversas técnicas, como é o caso da taipa que possui uma longa tradição neste continente, desde a habitações vernaculares, fortificações até aos variados setores da construção contemporânea.

Na Península Ibérica por volta do séc. VIII d.C. e com a ocupação islâmica, impôs-se a necessidade de erguer fortificações em taipa. Em Espanha as muralhas de Granada, Valência e Niebla são os exemplos mais significativos da arquitetura em taipa de cariz militar, assim como Portugal dispõe fortificações em Silves, Alcácer do Sal, Paderne, entre outras. (Correia, 2006b, p. 15) Ambos os países adquirem inúmeras construções vernaculares, principalmente a Espanha que se destaca por ser um dos países europeus com maior tradição na construção em taipa.

Espanha contém por toda a costa mediterrânica uma ampla construção em taipa, nomeadamente nas comunidades autónomas de Andaluzia, Múrcia e Valência, não obstante, em certas regiões no interior do país, como Aragão, Castela e Leão, Castela-Mancha e Estremadura têm, igualmente, uma presença significativa desta prática construtiva. Em edifícios localizados em áreas de maior fragilidade, especialmente em zonas montanhosas como a região de Teruel, utilizou-se uma técnica tradicional da taipa cognominada de *tapia de brencas* (camadas sucessivas de terra compactada com pedras de diferentes tamanhos). A essa técnica, e de modo a fortalecer as paredes nos ângulos que se encontram perto do chão, foram adicionados ligantes de gesso e cal, uma vez que, é na zona inferior das paredes que há uma maior pressão e desgaste.

Um dos monumentos mais icónicos do território espanhol e um dos exemplos mais emblemáticos segundo a utilização da técnica da taipa, encontra-se na colina da cidade de Granada, em Andaluzia. Alhambra, construída no século XIII é uma acrópole árabe-muçulmana composta por dezenas de edifícios construídos em diferentes períodos históricos, à qual estes edificadros se encontram protegidos por uma fortificação de taipa. Atualmente, encontra-se em perfeito estado de conservação e, em contrapartida, Alhambra encontra-se na zona com maior risco sísmico da Espanha, algo que, é, de facto, importante de referir nesta dissertação. É considerado Património Mundial desde 1984 pela UNESCO.

Como foi referido anteriormente [p.23], desde 1789 a França teve uma forte influência da construção em taipa por parte de François Cointeraux; e foi durante quase um século que o seu conceito de *nouveaux pisé* foi empregue em numerosos edifícios, principalmente na região de Lyon. Esta técnica monolítica instituída por Cointeraux, resulta na compressão de camadas sucessivas da terra crua num encofrado que varia

entre os 40 e os 60 cm de largura. Para além de ser uma alternativa rápida e económica, esta introdução revolucionária na arquitetura foi integrada em habitações para qualquer tipo de estratificação social, seja para os mais ricos como para os mais desfavorecidos. Uma grande parte dos países europeus só teve conhecimento da técnica da taipa mediante a difusão dos manuais traduzidos de François Cointeraux.

Por volta da década 70 do século XX, a taipa ressurgiu com o apoio de iniciativas, como grupo CRATERRE que promoveu a preservação, investigação e inovação da construção em terra crua, nomeadamente a taipa. Várias ações e iniciativas em França têm sido desde então, fundamentais para demonstrar o potencial deste material, inspirando, por todo o mundo, a combinação de métodos tradicionais adaptados às distintas exigências contemporâneas e climáticas. A França é um dos líderes mundiais no uso desta técnica tradicional, incluindo projetos inovadores.

A Alemanha adotou a técnica construtiva da taipa no século XVIII, devido ao impulso francês através de manuais (influenciada sobretudo por François Cointeraux) que descreviam os benefícios de construir em terra, principalmente a vantagem deste material ser resistente perante os incêndios (ignífugo). Contudo, foi no período pós-Segunda Guerra Mundial, a partir de 1945, que a taipa teve maior importância, uma vez que, esta foi a única alternativa possível e viável para resolver a insuficiência habitacional para milhares de refugiados da guerra e imigrantes. Foi neste sentido, que a técnica monolítica sob a cofragem contribuiu para este problema da escassez de materiais, e facilitou na construção de cidades e bairros habitacionais (habitações unifamiliares e plurifamiliares de apenas dois pisos) em zonas rurais, como Bradenburgo, Leipzig e Weimar. (Fernandes, 2013, pp. 17–18)

De 1826 a 1828, Wilhelm Jacob Wimpf (n.1767-m.1839), edificou em Weilburg, Alemanha o imóvel de taipa, considerado atualmente, o mais alto da Europa. Constituído por sete andares, este edifício foi erguido com paredes de taipa, cuja espessura varia de 75cm na base a 45cm no topo, servindo de suporte tanto para a cobertura, como para os pisos. (Dethier, 2019, p. 308; Minke, 2006, p. 13) Este caso comprova a possibilidade de construir edifícios de grande dimensão utilizando a terra crua, desassociando assim, a ideia de que estas práticas tradicionais são destinadas somente para construções de pequena escala.

É na década de 1980 do século passado que a Alemanha implementou legislação, normas e regulamentos destinados à arquitetura em terra, sendo, um dos países europeus que mais se destaca pelo reconhecimento que tem para com a terra crua, valorizando-a e assumindo-a como qualquer outro material. Deste modo, várias construções contemporâneas têm sido projetadas sob a técnica da taipa por diversos arquitetos deste país, distinguindo-se a Capela de Reconciliação [Figs. 17 e 18] em Berlim, Alemanha, projetada por Rudolf Reitermann (n.1965) e Peter Sassenroth (n.1963). Esta obra com apenas  $108\text{ m}^2$  é peculiar, sendo que é o único edifício contemporâneo, em terra crua, inserido no núcleo urbano de uma extensa metrópole do continente europeu. A planta é oval e está delimitada por duas paredes: a fachada suplementar exterior, é composta por uma trama de madeira que permite o trespassar da luz; e a parede estrutural de taipa, que se encontra por detrás desse jogo de luz, tem sete metros de altura (que equivale a 250 toneladas de terra). Ambas abrigam este espaço sagrado que tem um significativo valor histórico para a sociedade.



Fig. 18: Imagem do interior da Capela de Reconciliação, Berlim. Fonte – [internet] Disponível em: <https://www.archiweb.cz/en/b/kaple-smireni-kapelle-der-vers-hnung>

Fig. 17: Construção da Capela de Reconciliação, Berlim. Fonte – [internet] Disponível em: <https://www.zrs.berlin/en/project/chapel-of-reconcillation/>

É pertinente mencionar um arquiteto e ceramista austríaco de renome, Martin Rauch (n.1958), um dos principais especialistas na construção em terra crua, particularmente a técnica da taipa, no âmbito da arquitetura contemporânea. O seu trabalho tem uma vasta reputação, visto que, a sua persistência e revitalização em construir de forma inovadora e sustentável com a terra tem sido fundamental, em vários países, especialmente a Suíça, a Alemanha e a Áustria. Em 1999, Rauch fundou a sua empresa de construção Lehm Ton Erde, em Schlins, e desde então são vários os notáveis arquitetos e ateliers que se deslocam até lá, como por exemplo Herzog & de Meuron para

a construção do armazém de Ricola em Basileia, Suíça, no ano de 2014. Um facto curioso de Martin Rauch, e talvez um dos motivos pela sua merecida reputação, é a sua ética perante esta prática sustentável com a terra, pois ele opõe-se à utilização de qualquer tipo de adição de aditivos ou produtos industrializados, e isso é evidente nas construções da sua casa e do seu próprio estúdio.

## AMÉRICA

A partir do séc. XVI, a colonização europeia, principalmente a ibérica, influenciou a disseminação do sistema monolítico em terra no continente americano, nomeadamente em construções religiosas (igrejas católicas) e de engenharia militar (onde frequentemente utilizavam a taipa com adição de cal para uma maior durabilidade). Como refere Fernandes (2013) a técnica da taipa foi introduzida na América do Norte por volta do séc. XVIII pelos missionários espanhóis, principalmente no estado da Califórnia; e posteriormente, no século XIX, por parte dos imigrantes chineses que promoveram este tipo de construção. Quanto à zona central e sul do continente, o património revela-se consideravelmente mais vasto na América Latina, destacando-se particularmente no Brasil.

Relativamente à América do Norte, a renovação da arquitetura doméstica em terra, deu-se na década de 1960 no Novo México, EUA e, desde então, tem vindo a expandir-se com maior intensidade em direção a oeste e sudoeste. Este desenvolvimento no território estadunidense e também a nível global, deve-se ao contributo de alguns arquitetos pioneiros em construção em taipa na contemporaneidade, como: David Easton (n.1937 - m.2020), através de projetos inovadores desenvolvidos pela sua empresa *Rammed Earth Works* (fundada em 1976 na Califórnia), bem como pelas suas conceituadas obras na região de Arizona, iniciadas a partir da década de 1990; e Rick Joy (n.1958) “*partidario de un minimalismo conceptual y material (...)*” (Dethier, 2019, p. 396), atualmente arquiteto, foi também carpinteiro, músico e escultor, o que explica a sua sensibilidade poética para com a natureza. Joy conjuga a tradição com a modernidade através da combinação de materiais industrializados (como o aço Corten) com materiais naturais (terra e madeira), essencialmente em Tucson, Arizona [Figs. 19 e

20]. “Rick Joy es uno de los cinco arquitectos que fueron elevados en el año 2016 al rango de «pionero» por el jurado del TERRA Award.”. (Dethier, 2019, p. 448)



Fig. 20: Imagem de Tucson Mountain House. (à esquerda) Fonte – [internet] Disponível em: <https://studiorickjoy.com/work/>

Fig. 19: Imagem do interior de Catalina House. (a direita) Fonte – [internet] Disponível em: <https://studiorickjoy.com/work/>

## OCEÂNIA

De acordo com Fernandes (2013) a introdução da construção em taipa na Oceânia, principalmente na Austrália, deve-se à tradução dos manuais de François Cointeraux por Henry Holland (s.d) no ano de 1832. É na segunda metade do século XIX, que esta técnica se afirma em várias cidades australianas, mais concretamente nos estados de Adelaide, Vitória e Nova Gales do Sul [Fig.21]. Ao longo do tempo a taipa sobrepôs-se às outras técnicas em terra crua, sendo atualmente considerada um dos países que mais promoveu, e continua a incentivar, a execução de diversificados edifícios em terra, bem como a sua respetiva regulamentação e legalização.



Fig. 21: Imagens da Universidade Charles Sturt, em Thurgoona, Nova Gales do Sul, Austrália; Fonte – [internet] Disponível em : <https://www.enduringdomain.com.au/2016-11-10-holistic-sustainability-in-practise-charles-sturt-university/>

Como se pode constatar, a taipa é uma técnica construtiva universal que evidencia uma extraordinária versatilidade ao longo da História, uma vez que, se adequa a distintos climas, culturas, necessidades e contextos das diferentes épocas e sociedades. Esta adaptação, apesar de tradicional, é atualmente louvável e capaz de resolver muitas das questões contemporâneas, em virtude do interesse sustentável, pela sua eficiência, pela durabilidade, pela simplicidade, e até à compatibilidade com a inovação.

Seguidamente, será descrito com maior detalhe o conceito da taipa, considerado enquanto técnica nas suas vertentes vernacular e moderna, bem como o processo do sistema construtivo nos diferentes elementos construtivos. Serão igualmente retratados os benefícios e limitações do material.

- **CONCEITO DA TAIPA**

A taipa é uma técnica construtiva ancestral que consiste na compactação de terra crua (ligeiramente humedecida), por camadas sucessivas dentro de cofragens (taipais), de modo a obter elementos construtivos (portantes e/ou de preenchimento) como paredes monolíticas e pilares. Um dos aspetos relevantes e vantajosos desta técnica é que o seu processo construtivo - desde a extração da matéria-prima até à execução das paredes-, pode ser elaborado totalmente *in situ*; isto significa que não há desfasamento entre as fases.

Os elementos da terra são compostos por três estados, sendo: o líquido a água; o gasoso o ar; e o sólido a areia, silte, gravilha, argila e pedra. E, para desenvolver qualquer técnica construtiva com a terra crua, assim como a taipa, é necessário compreender o comportamento e a relevância de cada um, pois “(...) *os sólidos são a estrutura física e o corpo da construção, os líquidos são a sua ativação, e os gasosos são o indicador das suas valências.*” (Mendes, 2023, p. 24) Segundo o livro *Rammed Earth: Design and Construction*, de Pete Walker, *et al.* (como citado em Krahn, 2019, p. 28), para a técnica da taipa, é necessário que as percentagens da constituição da terra sejam ideais para garantir, principalmente, a estabilidade e o conforto, ou seja, é importante que a terra seja muito arenosa e rica em cascalho (confere rigidez) entre 45-80%, apresente uma pequena quantidade de silte (10-30%) e que seja pouco argilosa (5 a 20%). O teor da matéria-

orgânica deve ser nulo ou muito reduzido (<2%), sendo que, compromete na durabilidade e resistência da construção.

As argilas correspondem às partículas de menor tamanho do solo, e funcionam como um ligante natural, permitindo a coesão (agregação das partículas), a densidade total e a plasticidade, porém, e se acaso a terra se encontre demasiado argilosa, durante o processo da secagem, a probabilidade de originar fendas por retração é muito elevada; mas, se a terra for pouco argilosa, este ligante não tem a capacidade necessária, nem características suficientes, para exercer o seu papel de aglutinante.

Os siltes, são elementos que aparentam ter as (mesmas) propriedades suficientes de ligante (tal como a argila), pois as suas partículas têm um tamanho intermédio, que variam entre a areia e a argila, - isto significa que não têm a capacidade da coesão das argilas, nem a estabilidade granulométrica das areias. E, os siltes, não dispõem igualmente de propriedades de inerte - componentes que proporcionam estabilidade e controle de retração: pedras, areia e gravilha. Neste sentido, as quantias de siltes são determinantes e significativas, uma vez que, necessitam ser controladas, pois comprometem a resistência mecânica e a estabilidade da taipa. (Mendes, 2023, pp. 24–26)

A água desempenha um papel crucial na preparação e execução da taipa, garantindo a plasticidade necessária (permite que a terra seja moldada e trabalhada com facilidade) e a coesão para uma estrutura estável. É necessário ter em conta que a mistura excessivamente húmida provoca o amolecimento (excessivo) do material, comprometendo a coesão; e, por outro lado, uma mescla demasiado seca impede que a união das partículas do solo seja adequada. Em ambos os casos, o material torna-se vulnerável para a construção, dado que a estabilidade e a resistência ficam comprometidas.

Relativamente ao estado gasoso da terra, o ar é um aspeto essencial para garantir: a densidade do construído; a potencialidade de isolamento acústico e térmico; e a resistência mecânica. Isto acontece porque este constituinte ocupa os espaços vazios entre os grãos da terra e a água.

Em suma, a seleção da matéria-prima deve-se, essencialmente, ao comportamento perante a água e a resistência mecânica, tal como, a estrutura em terra é determinada pela união das partículas e de como ocorre a circulação do ar e da água. Evidentemente, que a resistência mecânica é um fator que está condicionado pela água. (Patrícia Lourenço, Brito, & Branco, 2001, p. 4)

- **PROCESSO CONSTRUTIVO**

Após verificar o tipo e a qualidade do solo através de ensaios e testes, bem como a análise cuidadosa do tipo de granulometria e das proporções ideais, segue-se a preparação da terra. O processo de peneiração do solo é necessário para remover impurezas que possam comprometer a uniformidade da mistura (como pedras de dimensões não pretendidas ou elementos orgânicos), pois é significativo que a terra esteja totalmente limpa, sem grumos ou conglomerados. Antes de se proceder à etapa seguinte, é importante verificar se a terra precisa de estabilizantes, terras ou inertes: mistura com outra terra, estabilização química, incorporação de agregados e/ou ajuste do teor de humidade. Estas mesclas devem ser previamente elaboradas a seco, para que, de seguida, se proceda à adição de água, com o objetivo de alcançar uma humedificação homogénea da mistura. Durante esse processo, a terra é trabalhada para desagregar possíveis conglomerados, permitindo que as partículas se distribuam uniformemente e as argilas tenham um período de ativação adequado. Desta forma, e para atingir uma consistência homogénea da matéria-prima pode-se recorrer a três processos: mecanizado através de um misturador ou betoneira; parcialmente mecanizado com uma moto-enxada; ou completamente manual com o auxílio de uma enxada. (Mendes, 2023, pp. 22, 89)

Para esta técnica é necessária uma cofragem de dois taipais laterais e frontais (ou comportas, são de uso opcional), tradicionalmente em madeira (*“banches”*), posicionadas paralelamente até formarem um molde sem topo nem base. Tradicionalmente a cofragem era modular e móvel, e a sua montagem era constituída pela sobreposição de três a quatro tábuas horizontais, e pregadas pelos costaneiros/costeiros na lateral. As tábuas ficam assentes pelas agulhas na sua base (também atravessam na parede) e são unidas pelas cangas na parte superior (ou côvados, servem também para formarem furos atravessantes às agulhas para as seguintes fiadas), de maneira a fixarem bem os taipais durante todo o processo construtivo. Na maioria das

vezes as cangas eram substituídas por uma corda entrelaçada, para que os costaneiros proporcionassem estabilidade a todo o conjunto de peças.

Mais recentemente, para outros sistemas de cofragens (deslizante, por fiadas, contínua, vertical, etc.) utiliza-se com maior frequência taipais de metal (aço ou alumínio), fibra de vidro, ou madeira própria e mais rígida (como contraplacado). O método de cofragem é idêntico ao tradicional, porém os taipais modernos (geralmente painéis) resultam numa otimização de tempo através não só desses mesmos moldes, como também do tipo de compactação, pois a metade do tempo é destinada ao processo da montagem dos taipais, e a outra parte para a compactação da matéria-prima. As dimensões dos taipais variam consoante a zona sísmica e o tipo da construção, nomeadamente face à altura e espessura das paredes pretendidas. As dimensões convencionais relativas à altura compreendem os 75 cm e 1 m; o comprimento varia entre os 1,70 m e os 3 m; e a espessura geralmente é de 40 a 90 cm.

Uma vez que a terra tenha sido depositada para o interior dos taipais, o processo construtivo prossegue com a compactação da terra previamente preparada, - densificação através da ação mecânica de compactação. A única maneira de comprimir os grãos que constituem a matéria-prima é reduzindo o espaço entre eles, neste caso, o ar presente. Sendo que, os grãos apresentam tamanhos distintos e estão “desorganizados”, o método eficaz é mediante a sucessão de impactos para que o ar seja eficazmente reduzido, e os diversos tamanhos de grãos ocupem os espaços pretendidos. Em síntese, reduzir a quantidade de ar significa uma maior densidade da matéria.

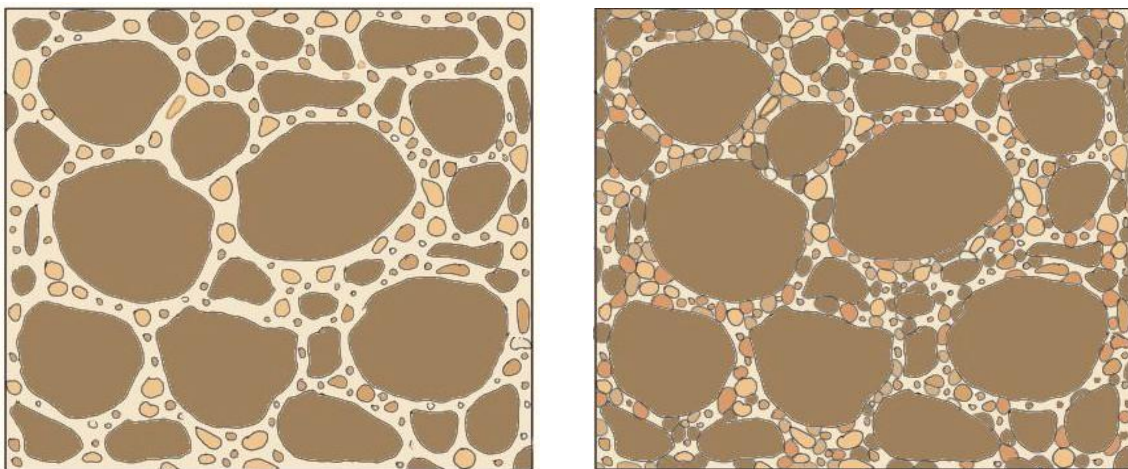


Fig. 22: Representação das várias dimensões dos grãos e dos espaços entre eles (ar). Antes e depois da compactação. (Autora, 2025)

Para obter a compactação da matéria, esta pode ser: manual, através de um maço ou pilão de madeira ou de metal; ou pneumática, segundo um pilão pneumático que funciona com ar comprimido. A ferramenta pneumática pode ser mais vantajosa no que se refere à consistência da compressão e ao aumento de rendimento, contudo, apresenta a desvantagem do taieiro não ter a mesma percepção da força aplicada na terra, assim como, passa a ser exigido o uso de taipais com maior resistência. A intensidade da força exercida é fulcral, pois confere resistência e durabilidade ao bloco de taipa.

A compactação deve ser feita por camadas sucessivas de 15 cm de terra não comprimida, até que, gradualmente, os taipais sejam preenchidos por camadas compactadas de 8 a 10 cm. Inicia-se a compactação pelo perímetro da cofragem, ou seja, pelos cantos, visto que ao retirar os taipais serão as áreas mais expostas do bloco. Subsequentemente, a zona a ser apiloada será a central, até ficar tudo comprimido uniformemente, e até que o som se torne “surdo”.

A (cuidadosa) desmontagem das cofragens é realizada posteriormente à compactação de todo o enchimento inserido dentro dos taipais, sem que haja qualquer tipo de secagem ou cura, pois o bloco de taipa é deixado secar ao sol.

A inovação da construção em taipa tem sido impulsionada devido aos avanços tecnológicos, pela integração de aditivos e pelo crescente interesse das práticas ecológicas. Como foi referido anteriormente, a taipa tem sido modernizada com o uso de ferramentas pneumáticas ou vibratórias, sistemas de cofragem mais eficientes e também com a adição de materiais que aumentam a durabilidade e resistência. A introdução de aditivos, como: cimento, cal (hidratada ou aérea), betume, fibras vegetais, entre outros estabilizantes, nomeadamente químicos, pode ser conveniente (em caso de a matéria-prima não apresentar características favoráveis) para a sua estabilização e/ou corrigir a sua constituição. Contudo, ao alterar o material quimicamente e ao modificar a sua respetiva composição torna-se incoerente, pois a terra deixa de garantir muitas das suas vantagens, comparativamente aos fatores de: sustentabilidade; de harmonia entre a Natureza e a Humanidade; na dificuldade em reutilizar o material: no equilíbrio de humidade do ar interior, etc.

Uma outra novidade na construção com a taipa, inventada em 1986 na França pelo construtor Nicolas Meunier (s.d), é a taipa pré-fabricada, que proveio, essencialmente, das necessidades circunstanciais. Este sistema construtivo resulta na produção em série de elementos construtivos, e permite: reduzir a mão-de-obra, facilita quando o clima não é favorável por longos períodos e, em contexto urbano, contribui em caso do espaço ser insuficiente para a futura construção.

- **VANTAGENS E DESVANTAGENS**

Seguidamente, serão explorados as vantagens e os inconvenientes da taipa, uma técnica que, apesar de apresentar semelhanças com outras formas de construir com a terra crua, distingue-se pelo seu forte potencial na era contemporânea.

Vantagens:

- Baixo impacte ambiental, uma vez que não gera poluição nem danos significativos ao meio ambiente, quando comparado às construções de tijolos cozidos e betão armado. Resulta, portanto, numa redução substancial do consumo energético na sua produção;
- O seu processo construtivo é simples e permite a autoconstrução (não exige mão-de-obra especializada e pode ser elaborado com ferramentas simples);
- É autoportante, ou seja, não necessita de estrutura de suporte adicional, reduzindo custos e simplificando o processo construtivo;
- Material natural e reciclável, sob a condição de que não contenha aditivos para a sua estabilização, podendo ser reintegrado à natureza através da demolição dos elementos construtivos em taipa. Esta desintegração não requer qualquer tipo de tratamento prévio;
- Absorve e liberta rapidamente a humidade, regulando o ar interior e garantindo um ambiente saudável, e, simultaneamente, previne problemas como a condensação;

- Ótimo comportamento acústico;
- Nas paredes a inércia térmica é eficiente, devido à alta densidade e capacidade de retenção de calor da terra compactada. O calor é armazenado ao longo do dia, e à noite é libertado gradualmente, isto significa que, as paredes em taipa proporcionam um equilíbrio constante ao ambiente interior. Assim, torna-se praticamente desnecessário a utilização de sistemas de aquecimento e/ou arrefecimento;
- Depende de energia para a preparação e o transporte;
- Económico e sustentável;
- Material incombustível;
- Pode ser combinada com materiais tradicionais e contemporâneos (aço, vidro, betão, revestimentos impermeabilizantes, etc.). Contudo, e de acordo com Gonçalves & Gomes (2012), exige-se atenção cuidada para algumas supostas compatibilidades com a terra crua, por exemplo, na interface de alguns elementos construtivos em betão pode originar humidade;
- Compatível com diversos os ambientes e climas, desde que sejam adotadas soluções adequadas para a proteção contra a humidade e as infiltrações;
- Esteticamente é agradável e apresenta uma gama de cores aprazíveis (diversidade cromática);
- Alternativa sustentável na construção contemporânea;

Desvantagens:

- Baixas propriedades mecânicas, especialmente na resistência à tração;
- Fraco desempenho sísmico;

- Vulnerabilidade perante a ação da água (bastante permeável). Em muitas das situações, nomeadamente climatéricas, são adicionados ligantes para estabilizar as paredes de taipa, e/ou utilizar específicos métodos de proteção (coberturas, fundações, revestimentos, etc.);
- Em países desenvolvidos a mão-de-obra pode ser uma limitação monetária (não há grande conhecimento técnico na maior parte dos países), já que em muitas das situações deve de ser um processo exigente e responsável;
- Suscetível a retração (fissuras), devido à perda de água durante o processo de secagem;
- É necessária uma manutenção constante para prevenir a degradação do edificado;

## **2.4 Sistema Construtivo de terra em Portugal**

A prática da construção em terra em Portugal continental tem uma forte presença há vários séculos, e possui um rico património vernacular, militar e civil, sob as principais técnicas da taipa, adobe, tabique e *cob* (terra empilhada). As introduções destes métodos construtivos em terra crua, de acordo com Correia (2007), devem-se aos cartagineses, fenícios, romanos e muçulmanos, sendo que se encontram atualmente vestígios arqueológicos que comprovam estes factos, como por exemplo: o povoamento com fundações e argamassa de terra em Paniachos, Quinta do Freixo (Período Neolítico); os vestígios de estruturas de adobe em Alcácer do Sal (da Idade do Cobre e da Idade do Ferro); o túmulo em adobe localizado próximo à igreja de Alvito (estima-se que seja da época céltica); etc.

O adobe encontra-se essencialmente nas regiões de grande aluvião, isto é, o centro litoral de Portugal, predominando os distritos de Leiria, Coimbra, Aveiro, Setúbal e Santarém (era adicionado cal à mistura em zonas onde predomina o solo muito arenoso e pouco argiloso). Após os anos sessenta e setenta, esta prática perdeu expressão. O tabique foi das primeiras técnicas em terra crua a ser abandonada, estando inserido nas paredes exteriores das regiões Centro e Norte de Portugal, nomeadamente no interior

(especialmente em Trás-os-Montes, Covilhã, Fundão e Guarda). A sul, o tabique é aplicado somente nas paredes interiores das habitações. O *cob* manifesta-se no património militar na região do Alto Minho, como se verifica na fortificação de Valença (séc. XVII). Relativamente à taipa esta foi a técnica mais utilizada até à década de 50 do século passado, principalmente em edifícios de habitação no Sul de Portugal. (Correia, 2007, pp. 29–31; Morot-Sir et al., 2011, pp. 165–167) Com a impactante introdução do betão armado e, também do tijolo em Portugal, a construção em terra crua caiu em desuso e começou a ser considerada como arcaica.

Não havendo certezas de como a taipa surgiu no território português, julga-se, em teoria, que foi difundida pelos muçulmanos através da ocupação da Península Ibérica a partir do séc. VIII, deixando um legado significativo. Tendo uma boa adaptação na zona sul do país, observam-se os exemplos mais antigos em taipa militar as muralhas dos castelos de Paderne, Alcácer do Sal e Silves, que correspondem às dinastias de Almóada e Almorávida. A taipa militar apresenta uma elevada percentagem de cal, conferindo ao material uma alta resistência, tendo, uma semelhança com o betão. Assim sendo, a taipa militar permitiu assegurar inúmeras fortificações portuguesas perante as intempéries, dado que, a cal apresenta uma boa resistência face à erosão e à água, como se verifica, por exemplo, no castelo de Juromenha.

Na época dos Descobrimentos os colonizadores portugueses desempenharam um papel importante na disseminação da técnica da taipa em alguns países da Ásia, América do Sul e África. Pensa-se que, foi neste período que a taipa foi introduzida no Brasil, adaptada e reconhecida como taipa de pilão. Relativamente à América do Norte e à Oceânia, a taipa foi difundida em vários países pela colonização europeia, nomeadamente por espanhóis, franceses e ingleses, entre os séculos XVI-XIX.

A construção com a terra crua em Portugal, especialmente a técnica da taipa e do BTC, ressurgiu no fim dos anos 1980 e início dos anos 1990. Este feito deve-se, a arquitetos e engenheiros que revitalizaram e continuam a investigar este imprescindível material, dado que: promovem o rico e vasto património arquitetónico em terra crua em Portugal; consciencializam e garantem a sustentabilidade; e valorizam a identidade cultural.

Observando e considerando as normas construtivas, e até ao momento, Portugal não tem qualquer regulamentação específica e/ou direcionada à construção em taipa, nem a qualquer outra técnica construtiva com a terra crua, apesar deste material ter um impacto muito positivo. Contudo, e tal como afirma Mendes (2023), acaso ou aquando seja desenvolvida regulamentação dirigida à construção em terra, é importante distinguir o “normalizar as práticas construtivas” de “normalizar as soluções construtivas”, ou seja, a taipa (ou outra técnica em terra) necessita de ter diferentes cuidados enquanto a estratégias e abordagens no seu projeto-obra. A taipa requer processos minuciosos que dependem de vários fatores como foi já referido, o que, não deve ser normalizada ou estandardizada como certos materiais industriais, por exemplo o betão, que apresenta critérios e cálculos (a nível estrutural e mecânica) iguais num projeto-obra para qualquer região ou país.



Fig. 23: Distribuição da construção em taipa em Portugal continental. Fonte [livro] - *Taipa*, 2023, p.17, de Miguel Ferreira Mendes; imagem editada pela autora

Certos países têm desenvolvido normas que regulamentam e apoiam a construção em terra crua, incluindo a taipa, como França, Espanha, Alemanha, Nova Zelândia, Austrália, etc. Infelizmente, em “(...) *Portugal, ainda não existe, no entanto, ainda, essa consciência política que incentive a exploração destas técnicas construtivas, apesar da situação vantajosa do país a nível climático e geológico.*” (Duarte, 2013, p. 9)

Relativamente ao processo de financiamento, e em continuidade com o autor, o projeto em taipa segue os mesmos princípios que qualquer outro, não impedindo assim, de construir com esta técnica. Atualmente já é possível construir paredes de taipa com as espessuras tradicionais, bem como deixou de ser exigida a implementação de sistemas complementares de isolamento, devido à Portaria 138-I/2021 que expressa um regime de exceção, na alínea c) do n.º 1.2 do ANEXO I, para *soluções construtivas com taipa ou similares* (referindo-se ao comportamento térmico).

Apesar da construção em terra crua apresentar desafios relacionados ao licenciamento e à ausência de normas específicas a este tema, não deixa de ser notório o crescente interesse pelas práticas sustentáveis, bem como a valorização do património nacional. Esta prática tem vindo a crescer progressivamente em Portugal, desde a reabilitação de edifícios existentes até à conceção de projetos de raiz.

## Capítulo 3

*"Sustainability being a synonym of beauty."*

Anna Heringer

### 3. O Potencial da taipa

A construção em terra crua tendo vindo a ganhar destaque desde as últimas décadas, não apenas como uma alternativa económica, mas também como uma solução sustentável e eficiente para os desafios da arquitetura contemporânea. A baixa pegada ecológica, a sua boa inércia térmica, e a sua disponibilidade fazem da terra crua, um material alternativo e viável face à escassez dos recursos naturais. Este capítulo demonstra e explora como a taipa representa uma mais-valia na construção, não só em termos de durabilidade e conforto térmico, mas pelo seu reduzido impacto no meio ambiente.

#### 3.1 A Escassez de Recursos Naturais e a Consciência Ambiental

*La simbiosis de las innúmeras iniciativas desplegadas en los cinco continentes entre 1789 y 1968 permitió que, a partir de principios de la década de 1980, la construcción con tierra alcanzase su desarrollo bajo múltiples formas ecorresponsables, a la vez que prometedoras, mientras que nos encontramos enfrentados a la más grave crisis medioambiental de la historia. (Dethier, 2019, p. 307)*

Atualmente, um dos grandes desafios ambientais deve-se à crescente escassez de recursos naturais, pelo seu exorbitante consumo intensivo que acelera a exploração da água, dos minerais, da madeira, dos combustíveis fósseis, entre outros. Um dos setores mais exigentes em matéria-prima e energia, é o da construção civil, uma vez que, tem um forte impacto na extração excessiva de recursos (contribui quase 40%), na emissão de gases de efeito de estufa (40%), na produção de resíduos e na degradação ambiental. Neste sentido, é necessário reavaliar e repensar a forma como construímos, de modo que essa consciência proporcione soluções dignas a nível económico e social, sem prejudicar, o meio ambiente. A consciência ambiental é crucial para travar o ritmo acelerado da exploração dos recursos naturais, tendo em conta que ameaça o equilíbrio ecológico do planeta.

É pertinente, portanto, procurar um equilíbrio ecológico e humano através de uma gestão eficiente dos recursos e, conseqüentemente, dos consumos. Uma das alternativas mais vantajosas para alcançar esse equilíbrio, é mediante a utilização de recursos renováveis (desde que não ultrapassem a sua capacidade) de origem animal ou vegetal (lã de ovelha, cânhamo, cortiça, palha, madeira, bambu, etc.), bem como de materiais naturais (sobretudo locais) com baixo impacte ambiental, como a terra crua. Para obter a sustentabilidade na construção é necessário compreender e avaliar certos fatores: disponibilidade da matéria-prima, durabilidade, impacte ambiental (ao longo do ciclo da vida dos recursos utilizados), recursos envolvidos, eficiência energética e o transporte (um material que exija transportes de longa distância não é sustentável). (Caramelo, 2016, pp. 67–68)

Sendo a terra um matéria-prima abundante em praticamente todo o planeta, disponível localmente (possibilidade do seu processo ser *in situ*), e com um ciclo de vida sustentável, tanto a nível de pegada de carbono quanto em consumo energético, torna-se um material que consegue lidar e atenuar face à escassez de recursos naturais. Contrariamente aos materiais industriais, como por exemplo o cimento, a terra crua requer menos energia para ser extraída, produzida e transportada, o que perfaz uma redução significativa do consumo de recursos (nomeadamente dos não renováveis). Para além disso as suas excelentes propriedades naturais de regulação dos níveis térmico, acústico e higrotérmico, melhoram o conforto no espaço interior, e diminuem, ou simplesmente não requerem, de sistemas de climatização, ou seja, reduzem o consumo energético.

Ao utilizar a terra enquanto material construtivo, evita-se o uso excessivo de recursos não renováveis, como a pedra ou minerais para o fabrico de cimento ou tijolo, e promove um ciclo mais responsável, mais eficiente e com menor impacto - isto é, a economia circular. Assim sendo, há uma redução de desperdício através da reutilização e da reciclagem, prolongando a vida útil dos materiais e recursos por maior tempo possível.

A taipa, enquanto técnica construtiva da terra crua, contribui significativamente na redução do impacto no meio ambiente, dado que: a matéria-prima tem a vantagem de ser extraída no próprio local, e evita longos transportes; a sua produção não requer processos industriais intensivos (a taipa não necessita de ser sujeita a temperaturas

elevadas nem a processos químicos), minimizando a emissão de gases de efeito de estufa; a taipa apresenta uma elevada inércia térmica, permitindo um bom desempenho no isolamento térmico, reduzindo o consumo de energia tanto para aquecimento quanto para arrefecimento do ambiente interior; e sendo um material local e reutilizável, favorece a economia circular e evita a exploração excessiva de recursos não renováveis. Partindo destes factos, pode-se afirmar que a técnica da taipa promove uma maior consciência ambiental, visto que, é uma prática construtiva responsável, sustentável e de baixo impacto.

Desde os primórdios que as soluções construtivas observadas nas edificações com terra crua, segundo os vestígios arqueológicos, permitem obter critérios e princípios da sustentabilidade ambiental, como: a eficiência energética, a reciclagem, a integração com o envolvente, a planificação urbana, e o conforto segundo soluções passivas. (Gandreau, 2019, p. 71) Por conseguinte, deve-se aprender com a História, reproduzindo métodos semelhantes ou inovadores, para construir um futuro melhor, mais consciente e responsável. *“La construcción con tierra se convertirá, así, en un componente imprescindible de la renovación ecológica tan esperada para hacer frente a los riesgos del cambio climático”*. (Dethier, 2019, p. 475)

### 3.2 Práticas de Construção Sustentável

A arquitetura condiciona, direta ou indiretamente, o quotidiano, a saúde e as emoções da sociedade, assim como a sociedade influencia a arquitetura, refletindo o modo de vida e adaptando-se às transformações sociais, económicas e culturais. Desta forma, a arquitetura torna-se um componente crucial na vida da Humanidade, assim como tem a capacidade de alterar o paradigma social através de soluções, práticas e materiais mais sustentáveis e ecológicos.

*En todas las épocas, el hombre ha utilizado los recursos de la mayoría de los suelos para satisfacer dos necesidades vitales: su alimentación al explotar las tierras agrícolas de la superficie y su vivienda al transformar las capas inferiores de la tierra en muros y edificaciones. Pero es también en casos excepcionales en los que estas dos lógicas distintas se unen para conducir a una creación de fusión. Es el caso, en Asia (...) (Dethier, 2019, p. 148)*

Com mais de um milénio, a Ásia sustenta incríveis paisagens agrícolas, tal como se verificam os cultivos de arroz nas montanhas de Sri Lanka, Vietnam, Filipinas, Indonésia e China. Este paisagismo agrícola é equilibrado no que consta à ecologia, pois há um consenso respeitoso entre os ecossistemas e as práticas sustentáveis. É feita uma gestão hídrica nos arrozais que utilizam a água da chuva, e através de uma extensa área de socacos permite não só a retenção da água e nutrientes, como também protege a terra da erosão, - eficiência produtiva. As comunidades asiáticas destes locais permitem um respeito pelos ciclos naturais, pela conservação ambiental e pela harmonia entre o ser humano e a natureza, uma vez que, otimizam o solo sem danificar o meio ambiente através de técnicas ecológicas (estrupe como fertilizante) e da reutilização de resíduos das cascas do arroz (serve para cobrir os terrenos e de alimento para certos animais).

Por outro lado, a Humanidade explora irresponsavelmente a terra, a água e o ar, e demonstra pouca consideração por estes elementos fundamentais para a vida de todas as espécies. Esta forte descontextualização que é atualmente visível, não só compromete os ecossistemas, o meio ambiente e os recursos naturais, como resulta por contaminar o próprio corpo humano. Diante deste cenário, torna-se urgente repensar as práticas construtivas, de forma a adotar soluções que preservem e respeitem os ciclos naturais,

que reduzam a pegada ecológica e, especialmente, conciliar eticamente o equilíbrio entre usufruir e preservar.

*A sustentabilidade não é uma questão ambiental, com um enquadramento mais ou menos verde, envolvendo mais ou menos reciclagem ou outros milagres. A sustentabilidade não é, tão pouco, uma questão económica, com um plano financeiro e de desenvolvimento positivo médio ou longo prazo, que cria riqueza e gera emprego, numa lista infundável de chavões e tecnicidades. (...) é um território de interseção e concomitância de quatro esferas: a ambiental, a económica, a social e a cultural. (Mendes, 2023, p. 97)*

Neste contexto, entende-se que o conceito da sustentabilidade vai muito além de soluções isoladas ou estandardizadas, pois as alternativas devem ser pensadas como um equilíbrio dinâmico que garantam estabilidade e prosperidade sem comprometer os recursos naturais. Na arquitetura, essa visão integrada dos quatro pilares da sustentabilidade pode ser elaborada através de práticas construtivas, como a arte de construir com a terra.

A terra enquanto material que corresponde aos fundamentos da sustentabilidade, parte do princípio de que a matéria-prima é extraída diretamente do solo, utilizando ferramentas simples, sem gerar resíduos ou consumir muita energia, e sem causar danos ou contaminação nas paisagens, no lençol freático, no solo ou no ar. Para que a terra seja considerada um material ecológico não deve recorrer a aditivos químicos, de modo que, por vezes, a terra seja mesclada com outro tipo de materiais naturais, como a palha e o cânhamo. *“La arquitectura de tierra, (...) es portadora de una modernidad alternativa que responde a las exigencias de la crisis ecológica.” (Dethier, 2019, p. 24)*

A técnica da taipa tem um excelente potencial não apenas por respeitar o meio ambiente, como: fortalece a economia local; promove a participação e integração da comunidade; possibilita a transmissão intergeracional; resgata a identidade cultural; “fomenta uma participação direta e ativa do(s) indivíduo(s) e da comunidade em todo o processo (conceção-construção-utilização) e confere autonomia na gestão e manutenção dos edifícios, a longo prazo” (Mendes, 2023, p. 98). São múltiplas as razões e aspetos

positivos que se podem considerar tanto a técnica quanto o material para construir de forma mais consciente utilizando práticas sustentáveis.

Conforme se constatou, a taipa é uma prática construtiva sustentável que utiliza um dos materiais mais abundantes e ecológicos do mundo, a terra. No entanto, e como foi mencionado anteriormente, a sustentabilidade no setor da construção não se rege somente na utilização desse material, mas na gestão equilibrada dos recursos naturais, aliada à consciencialização sobre todos os restantes fatores a nível económico, cultural, ambiental e social. Existem maneiras de aproveitar a matéria-prima extraída do subsolo de grandes obras urbanas, como a construção de metros, transformando-a num recurso muito valioso para as edificações sustentáveis e práticas ecológicas.

Desde 2016 que a França tem demonstrado e comprovado cientificamente que quantidades consideradas de terra que são extraídas do subsolo para a construção de grandes infraestruturas nas cidades (como a construção de novas linhas de metro), são adequadas à construção ecológica, assim como, é apropriada as toneladas de terra que são retiradas das obras, desde a pequena a grande escala. Embora uma parte insignificante seja destinada ao revestimento de vias, a outra grande parte das extrações é distribuída e colocada nas periferias urbanas, o que reflete num desequilíbrio dos ambientes naturais (alterando a paisagem e os ecossistemas locais). Desde 2010 que muitas cidades europeias se têm interessado em adotar estratégias de recuperação da terra retirada dos subsolos para fins construtivos, de modo a evitar o impacto ecológico negativo. (Dethier, 2019, pp. 367, 478)

Em suma, a construção com a terra crua, nomeadamente a taipa, é uma opção apta e benéfica, pois tem a capacidade de proporcionar ações estratégicas para muitas das questões atuais, - promove a sustentabilidade, a eficiência energética, reduz o consumo de recursos naturais e o impacte ambiental, preserva o património e a cultura, e tem a facilidade de se adaptar às transformações e exigências da sociedade e do planeta. *“Construir con tierra hoy en día contribuye de manera destacable a la indispensable transición ecológica y social.”* (Gauzin-Muller, 2019a, p. 486)

### 3.3 Casos de Estudo

Neste presente subcapítulo proceder-se-á à compilação reflexiva e analítica de casos de estudo que permitem verificar a autenticidade da construção em taipa em contexto contemporâneo, satisfazendo os princípios de construção sustentável. A seleção destes projetos deve-se a uma justificação dos capítulos da dissertação, tendo em especial consideração a pertinência da resiliência perante os desafios ambientais, a sua adaptação a diferentes climas, e às estratégias que conjugam as técnicas tradicionais e inovadoras, incluindo em zonas propensas à atividade sísmica.

Posto isto, o principal objetivo é combater o estigma da arquitetura em terra crua, promovendo e demonstrando o potencial da taipa. Ainda que o foco principal do estudo seja a Europa, dado que é o continente que apresenta menor expressão em termos de aplicação prática, de valorização e de reconhecimento, será explorado um projeto de interesse que se integra nos objetivos referidos e que contribuem para o desenvolvimento do protótipo da presente dissertação.

#### 3.3.1 *Moradia Herdade Delgado* | Quintos, Beja, Portugal (2004-2008)



Fig. 24: Moradia Herdade Delgado, Beja. Fotografia de: Manuel Botelho. Fonte – [internet] Disponível em: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bartolomeu\\_Costa\\_Cabral\\_Moradia\\_no\\_Alentejo\\_2\\_img\\_6864.jpg#mw-jump-to-license](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bartolomeu_Costa_Cabral_Moradia_no_Alentejo_2_img_6864.jpg#mw-jump-to-license)

Arquiteto: Bartolomeu Costa Cabral (n.1929 - m. 2024)

Área de construção: 50 m<sup>2</sup>

Volume da taipa: 260 m<sup>3</sup>

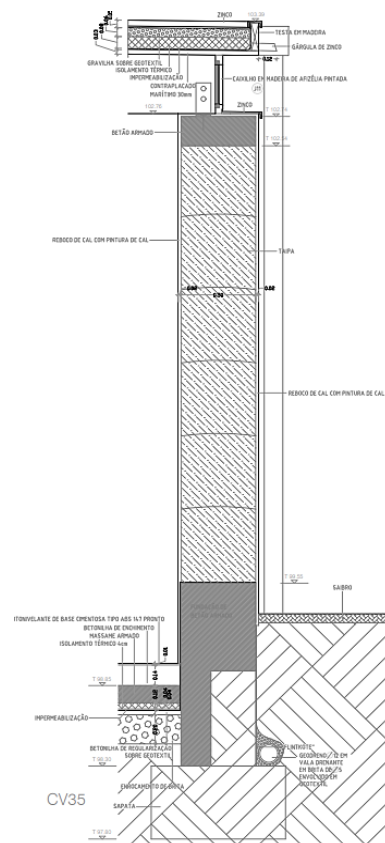
A moradia *Herdade Delgado* corresponde a uma habitação unifamiliar que evidencia o diálogo entre a envolvente e as paredes exteriores em taipa (com 50 cm de espessura), sendo a matéria-prima proveniente das escavações do local de intervenção. A taipa é uma técnica tradicional muito utilizada no sul de Portugal, e a seleção deste material permite ao edificado obter vários benefícios, nomeadamente a nível de adaptação climática e de eficiência energética, apresentando uma elevada capacidade de inércia térmica perante o calor do Alentejo (ótimo isolamento natural).

Comummente designada “Casa em taipa”, a moradia integra uma estrutura bipartida (um núcleo de ateliers com, aproximadamente, 260 m<sup>2</sup> de área e um núcleo habitacional com ≈180 m<sup>2</sup>), e reticulada em betão armado e madeira. Os elementos construtivos apresentam remates em zinco e as paredes exteriores estão protegidas da intempérie através da caiação e rebocos de cal com a adição de pigmentação natural, embora os muretes não possuam capeamento algum. Conforme estudado e analisado durante a fase de desenvolvimento deste projeto, concluiu-se que o sistema construtivo em taipa, para além da falta de regulamentação específica para este tipo de sistema, não assegurava um bom comportamento face às ações horizontais. Assim, em função destes dois critérios, optou-se por complementar às paredes de taipa uma estrutura de betão armado (fundações, vigas verticais de suporte, lajes de cobertura) que comprovou ser mais resistente. (Couto, 2020, pp. 486–487)



Fig. 26: Cobertura da Moradia Herdade Delgado, Beja. Fotografia de: Manuel Botelho. Fonte – [internet] Disponível em: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bartolomeu\\_Costa\\_Cabral\\_Moradia\\_no\\_Alentejo\\_2\\_img\\_8960\\_1.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bartolomeu_Costa_Cabral_Moradia_no_Alentejo_2_img_8960_1.jpg)

Fig. 25: Pormenorização construtiva 1/20. Bartolomeu Costa Cabral, João Gomes, Mário Carneiro A. C. Crespo, Arquitectos. Fonte – [internet] Disponível em: <https://arquivoatom.up.pt/index.php/hbq6-zms3-q2ky>; adaptada pela autora



A cobertura é constituída por uma laje de betão armado e vigas de madeira, e o controlo térmico está salvaguardado através de um sistema de arrefecimento ambiental inovador (sistema evaporativo) que se encontra acima dos quartos e da sala. A camada de água com 5 cm de espessura, é isolada pelas lajetas isolantes, integrando-se ainda uma caixa de ar, de maneira a permitir que o edificado se adapte às condições sazonais mais severas. No verão o sistema tem a capacidade de reduzir os 40°C do exterior para 25°C no ambiente interior, isto significa, que quando a evaporação da água aumenta resulta no arrefecimento da água e, respetivamente da casa. No inverno, este sistema é desativado e esta caixa de ar é confinada de maneira que as próprias placas não deixem trespassar o frio para o ambiente interior, funcionando apenas como uma cobertura bem isolada. (Couto, 2020, p. 488; Duarte, 2013, p. 119) Relativamente aos pavimentos, no interior optou-se por betonilha autonivelante, à exceção dos quartos, onde foi colocado soalho de pinho nórdico; no exterior, o pavimento é em tijoleira artesanal.

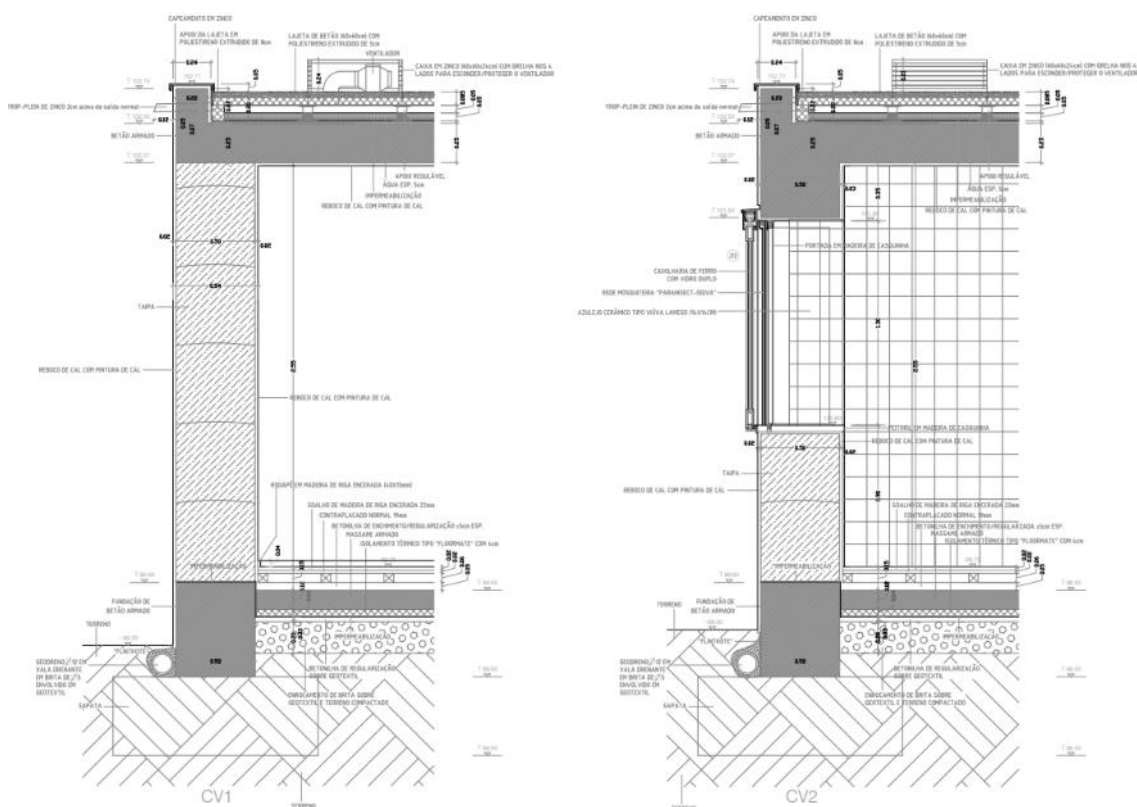


Fig. 27: Pormenorização construtiva 1/20. Bartolomeu Costa Cabral, João Gomes, Mário Carneiro A. C. Crespo, Arquitectos. Fonte– [internet] Disponível em: <https://arquivoatom.up.pt/index.php/hbq6-zms3-q2ky>



Fig. 28: Imagens do interior da Moradia Herdade Delgado. Fotografias de: Lourenço Teixeira de Abreu. Fonte– [internet] Disponível em: <https://amazingarchitecture.com/houses/a-hideaway-artist-retreat-in-beja-alentejo-by-portuguese-modernist-architect-bartolomeu-costa-cabral>

A moradia encontra-se isolada, e uma vez que está distante das infraestruturas, tornou-se importante para o arquiteto que esta fosse autossuficiente no domínio energético e hídrico: a eletricidade provém de painéis fotovoltaicos [Fig.29], o aquecimento a partir de uma caldeira a gásóleo, a água (própria) advém de um furo de captação e a possibilidade de a água ser quente é obtida através dos painéis solares. Não obstante, foi integrado uma cisterna para a recolha, rede de rega e reserva das águas pluviais.

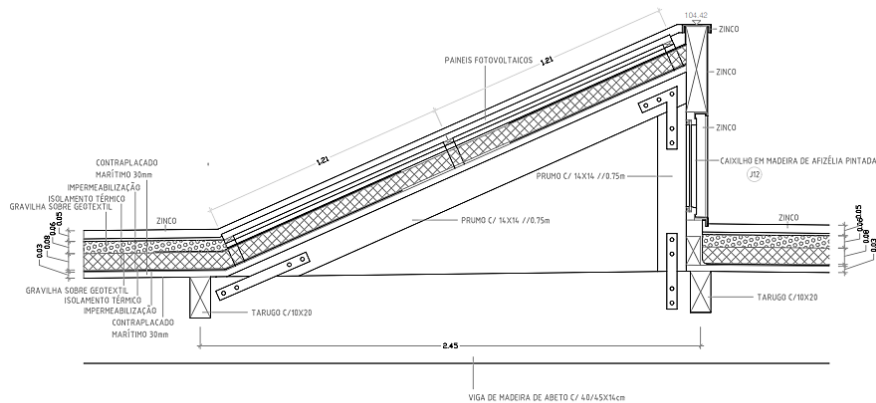


Fig. 29: Pormenorização construtiva 1/20. Bartolomeu Costa Cabral, João Gomes, Mário Carneiro A. C. Crespo, Arquitectos. Fonte– [internet] Disponível em: <https://arquivoatom.up.pt/index.php/hbq6-zms3-q2ky>; adaptada pela autora

A “Casa em Taipa” trata-se de um caso de elevado interesse no que concerne à capacidade de responder às necessidades contemporâneas através de uma excelente fusão entre as técnicas construtivas ancestrais e as técnicas inovadoras, à qual respeita e se integra perfeitamente com a paisagem natural do Alentejo [Fig.30]. Esta conciliação entre a tradição e a inovação, entre os materiais naturais e os materiais industriais (a certos esforços tem maior resistência que a terra e a pedra) têm a capacidade de responder positivamente perante: a durabilidade, a resiliência face às alterações climáticas, e aos sismos de pequena a moderada intensidade, - sem perder a sua autenticidade e mantendo os critérios atuais de estabilidade estrutural.



Fig. 30: Moradia Herdade Delgado. Fotografias de: Lourenço Teixeira de Abreu. Fonte– [internet] Disponível em: <https://amazingarchitecture.com/houses/a-hideaway-artist-retreat-in-beja-alentejo-by-portuguese-modernist-architect-bartolomeu-costa-cabral>; adaptada pela autora

Correia & Carlos (2015) referem que Beja é um distrito inserido numa área com registo recorrente de sismicidade histórica de intensidade média, que varia entre VI e VII na escala de Mercalli [Fig.31]. Por este motivo, tornou-se indispensável a combinação da taipa com betão armado para responder às exigências sísmicas, sem comprometer a segurança estrutural. Porém, ao analisar a distribuição do edifício, que permite obter diversos espaços e vivências, este, por sua vez, caracteriza-se com alguma complexidade formal, dado que os diferentes volumes recuam e avançam. Esta complexidade espacial apesar de ter um programa funcional e eficiente, pode comprometer desafios adicionais quando exposto à ação sísmica, tendo em conta que as formas irregulares, cotas diferenciadas e a assimetria tendem a aumentar a vulnerabilidade estrutural. Não obstante, a incorporação estratégica de elementos de reforço em betão armado e madeira, mitiga as questões sísmicas e garante um melhor desempenho, considerando que se trata apenas de uma intensidade média.

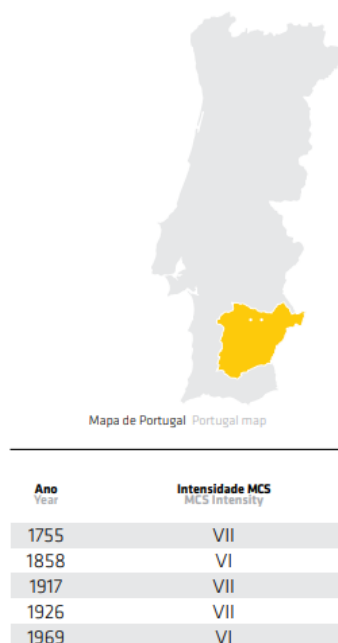


Fig. 31: Principais sismos ocorridos no Baixo Alentejo. Fonte [livro] - *Cultura Sísmica local e em Portugal*, 2015, p.45, de Mariana Correia *et al*; com dados de LNEC, 1986

Como se pode verificar, esta abordagem para além de valorizar as técnicas vernaculares representa também uma resposta consciente face às questões sísmicas da região, e de resiliência e adaptação às condições climáticas. A taipa enquanto elemento construtivo preponderante para este projeto, expressa um claro compromisso pelos recursos regionais. De igual modo, as alternativas de sistemas e técnicas inovadoras (autonomia energética e hídrica) demonstram uma abordagem consciente que se

consegue adaptar às necessidades e desafios atuais. Apesar do comportamento sísmico ser comprometido pela composição formal, a solução estrutural revela uma harmonia entre a expressão arquitetónica e a segurança. Partindo destas considerações analisadas, este caso de estudo revela ser pertinente e eficiente para o contexto contemporâneo.

### 3.3.2 Casa Lasso | Cotopaxi, Equador (2019)



Fig. 32: Casa Lasso, Equador. Fonte – [internet] Disponível em: <https://ramaestudioec.com/portfolio/casa-lasso/>

Atelier: RAMA estudio

Área de construção: 350 m<sup>2</sup>

A *Casa Lasso* é uma habitação unifamiliar que valoriza os materiais que são naturais e localmente disponíveis, tendo sido inspirada nas técnicas tradicionais e nas práticas vernaculares, recorrendo à mão de obra *in situ*. Esta voluptuosidade que transmite serenidade e simplicidade é composta, essencialmente, por quatro linhas paralelas entre si e no sentido longitudinal com o terreno, que constituem cinco paredes de taipa autoportantes assentes numa base de pedra e de betão [Fig.33], cujo seio da casa é dedicada à vida familiar.

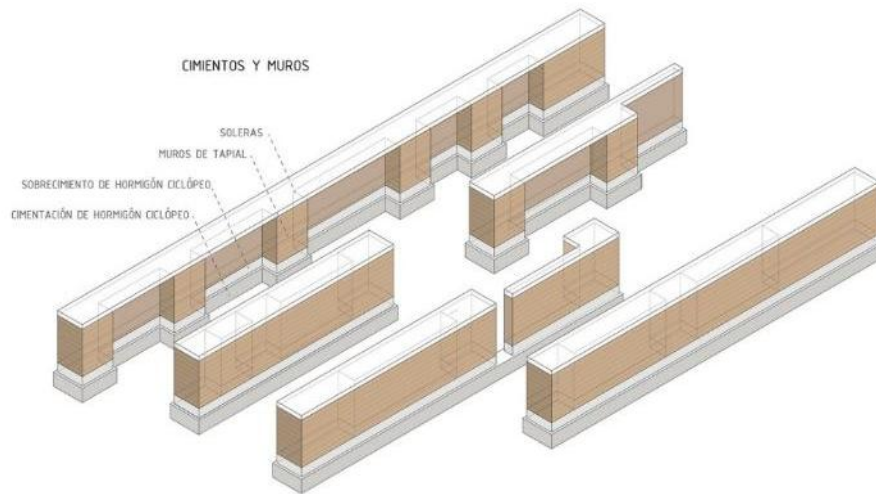


Fig. 33: Axonometria do sistema das paredes. Fonte – [internet] [https://www.archdaily.com.br/br/911849/casa-lasso-rama-estudio/5c5d8b48284dd12364000086-casa-lasso-rama-estudio-rear-elevation?next\\_project=no](https://www.archdaily.com.br/br/911849/casa-lasso-rama-estudio/5c5d8b48284dd12364000086-casa-lasso-rama-estudio-rear-elevation?next_project=no)

As empenas cegas apresentam uma considerável inércia térmica, permitindo o conforto do ambiente interior, tendo as paredes monolíticas de taipa 40 cm de espessura. Em certas áreas que necessitavam de um complemento de reforço estrutural foram adicionados contrafortes de 80 cm, de modo a aumentar a sua estabilidade e garantir uma forte proteção perante agentes externos, nomeadamente os ventos de elevada intensidade. Foram colocadas sapatas de alvenaria em pedra, de forma a evitar o contacto direto com a humidade. Numa análise atenta, observa-se que há pedras salientes entre a fundação e as paredes de taipa [Fig.34], de modo a garantir uma maior aderência na união.



Fig. 34: União entre as paredes e a fundação. Fonte – [internet] Disponível em: <https://ramaestudioec.com/portfolio/casa-lasso/>

A madeira, é um dos elementos muito presentes neste projeto, e estabelece um rico diálogo com a taipa: nos pavimentos, no mobiliário (embutido nas paredes no intervalo dos contrafortes), e na cobertura da casa. No topo das paredes foi introduzido um coroamento de betão com a função de conectá-las entre si, e com a finalidade de servir de apoio aos elementos estruturais em madeira (como vigas e painéis pivotantes).

Os espaços são configurados e subdivididos de acordo com os painéis pivotantes, que adquirem, simultaneamente, a função de isolamento térmico, de porta e também de paredes, proporcionando uma flexibilidade dos espaços consoante as necessidades [Fig.35]. No seio da moradia e a uma cota inferior com o objetivo de enfatizar a ideia de “acolhimento”, encontra-se a lareira, que reflete não só o conceito de “lar” como constitui o ponto confluyente de todos os espaços [Fig.36].

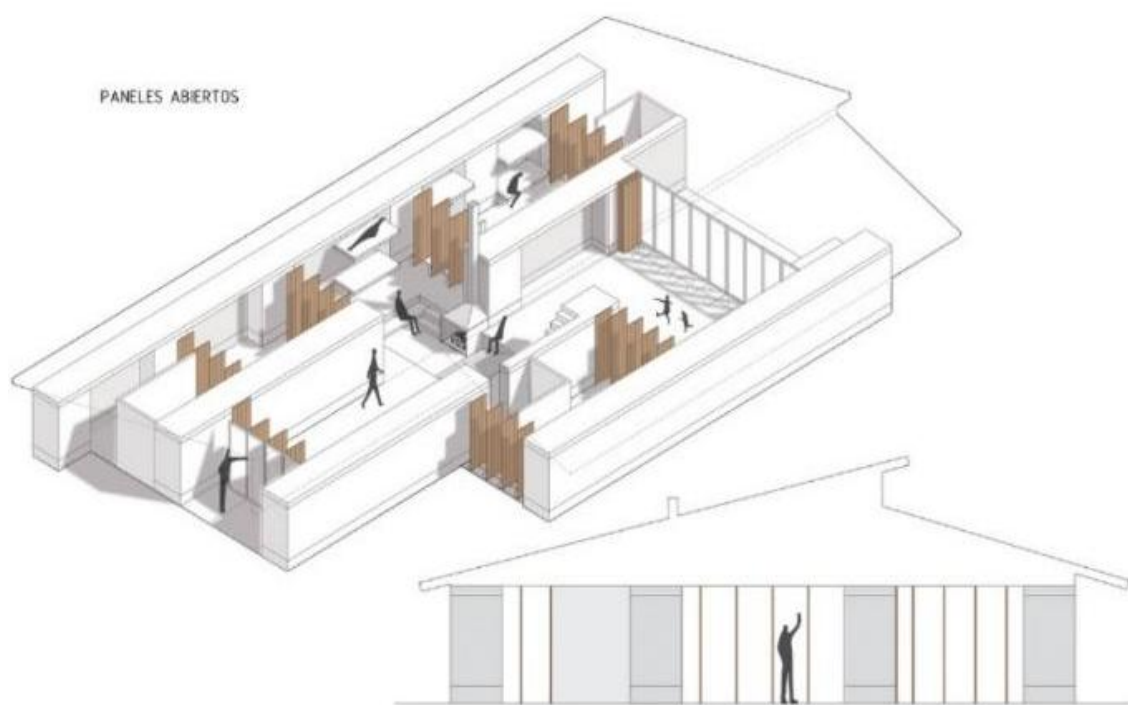


Fig. 35: Imagens explicativas do sistema de painéis pivotantes. Fonte – [internet] [https://www.archdaily.com.br/br/911849/casa-lasso-rama-estudio/5c5d8b48284dd12364000086-casa-lasso-rama-estudio-rear-elevation?next\\_project=no](https://www.archdaily.com.br/br/911849/casa-lasso-rama-estudio/5c5d8b48284dd12364000086-casa-lasso-rama-estudio-rear-elevation?next_project=no)

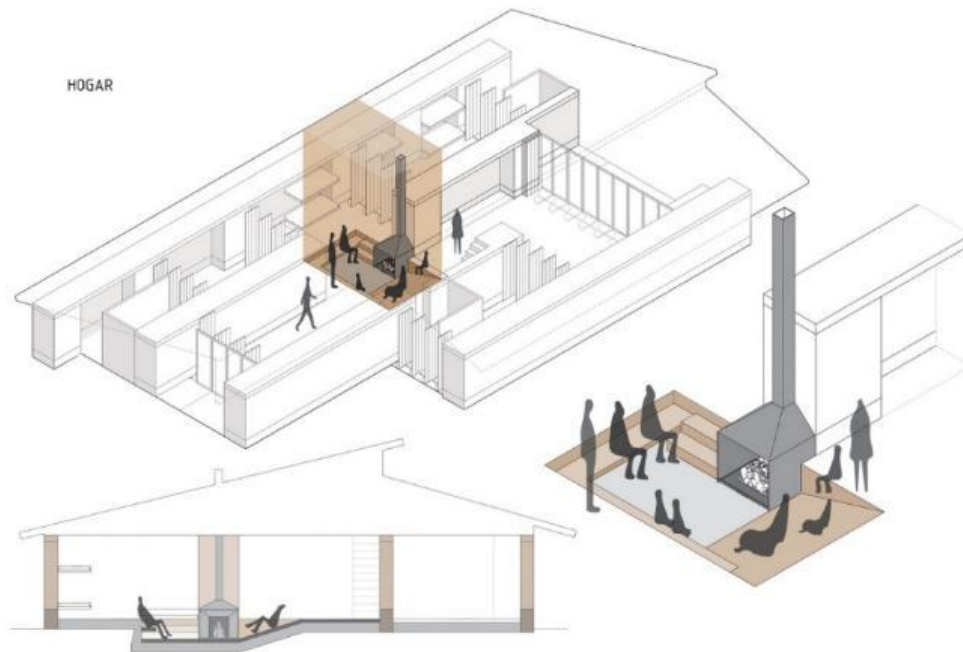


Fig. 36: Imagens explicativas do conceito de “lar”. Fonte – [internet] [https://www.archdaily.com.br/br/911849/casa-lasso-rama-estudio/5c5d8b48284dd12364000086-casa-lasso-rama-estudio-rear-elevation?next\\_project=no](https://www.archdaily.com.br/br/911849/casa-lasso-rama-estudio/5c5d8b48284dd12364000086-casa-lasso-rama-estudio-rear-elevation?next_project=no)

A cobertura é composta por duas águas, que estão asseguradas por duas grandes asnas de madeira que formam e suportam a inclinação, e funcionam como caixilharia dos vidros [Fig.37]. A iluminação indireta é adquirida graças à abertura zenital, permitida pela diferença de nível de quebra entre a cumeeira e as paredes, concedendo um maior contraste de luz natural aos espaços da casa.



Fig. 37: Axonometria explicativa da cobertura. Fonte – [internet] [https://www.archdaily.com.br/br/911849/casa-lasso-rama-estudio/5c5d8b48284dd12364000086-casa-lasso-rama-estudio-rear-elevation?next\\_project=no](https://www.archdaily.com.br/br/911849/casa-lasso-rama-estudio/5c5d8b48284dd12364000086-casa-lasso-rama-estudio-rear-elevation?next_project=no)

Esta casa baseia-se numa arquitetura passiva, verificando-se não só na aplicação de materiais naturais como integra um sistema interno para o reaproveitamento de águas pluviais e águas cinzas.

Este estudo de caso revela-se interessante pela conjugação e distribuição funcional dos espaços, e pela adoção de soluções construtivas que conjugam a tradição com a inovação, valorizando a envolvente e os materiais naturais e locais. Não obstante, a reduzida presença de betão (armado) pode desequilibrar a intenção dos princípios de sustentabilidade, porém, e dado que o local é extremamente sujeito à atividade sísmica, deve-se compreender a necessidade de reforçar a estrutura para aumentar a sua estabilidade.

Verifica-se que, para obter um equilíbrio entre práticas mais sustentáveis pode, por vezes, ser paradoxo e com algum grau de complexidade em muitas das situações, isto é, conceber um projeto que se adapte de forma consciente a um dado clima e local de forma pragmática, pode, em certas ocasiões, ser imprescindível recorrer a materiais que permitam o equilíbrio do edificado perante as ações externas. Em suma, ao utilizar parcialmente este tipo de materiais, em situações que sejam concretas, pontuais e excecionais, contribui, ainda assim, consideravelmente numa diminuição do impacto ambiental.

### 3.3.3 *L'Orangerie* | Confluence, Lyon, França (2021)



Fig. 38:Escritórios *L'Orangerie*, Lyon. Fonte – [internet] Disponível em: <https://vergelyarchitectes.com/en/lyon-confluence>

Ateliers : Clément Vergély Architectes + Diener & Diener Architekten

Área de construção: 1000m<sup>2</sup>

Construtor da taipa: Nicolas Meunier

Na região de Ródano-Alpes, o edifício (escritórios) em taipa, *L'Orangerie*, está implantado e centralizado num bairro urbano na cidade de Lyon (La Confluence), que caracteriza o renascer e o dar continuidade à arquitetura em terra na era contemporânea. Como já foi referido anteriormente, a região de Auvérnia-Ródano-Alpes é caracterizada pela forte presença de *terre de pisé* (taipa), e da Europa é o local onde estão inseridos o maior número de edifícios em taipa, observando-se inúmeros exemplos desta arquitetura, principalmente nas áreas circundantes de Lyon, tal como a aldeia de Dauphine.

De acordo com Jeske (2020), a maioria dos edifícios em taipa na cidade de Lyon foram alvo de fortes inundações ao longo do séc. XIX, nomeadamente no ano de 1856. Contudo, muitos dos bairros que se localizam nas áreas mais elevadas da cidade não sofreram inundações, e, por conseguinte, observam-se atualmente vários casos de construção em taipa: Vaise, Croix-Rousse, Tassin e Saint-Just (na maioria com fachadas rebocadas).

A matéria-prima do local de intervenção para a construção de *L'Orangerie* era inadequada e, por isso, esta não foi utilizada, porque o solo “(...) *consisted primarily of backfilled material from the 19th century wholesale market that occupied much of the La Confluence site and was partially polluted.*” (Jeske, 2020, p. 4) Por este motivo, as 380 toneladas de terra provieram de Saint-Quentin-Fallavier, a cerca de 30 km de distância. Antes da pré-fabricação de 286 blocos individuais de taipa, estes foram previamente analisados e testados a nível de: densidade, volume, fissuração, absorção de humidade, resistência à compressão, entre outros. “*An advantage of this method was the ability to meticulously control the quality and optimise the homogeneity of the prefabricated rammed earth blocks, including determining the moisture level of the earth mix and recording the geometry of each individual block.*” (Jeske, 2020, p. 5)



Fig. 39: Processo da montagem dos blocos pré-fabricados de taipa. Fonte – [internet] Disponível em: <https://vergelyarchitectes.com/en/lyon-confluence>

O edifício dos escritórios de *L'Orangerie* integra três pisos com pouco mais de 11 m de altura e a sua tipologia, conforme Jeske (2020), teve inspiração no parque de Lyon, “Le Parc de la Tête d’Or”. A planta é retangular (14 m x 32 m) e contém um núcleo central rígido (ligação das escadas com as paredes a partir das lajes do teto) com a função de absorver as ações horizontais (por exemplo um sismo).

O edifício apresenta uma forte resistência devido: às suas majestosas paredes afuniladas (80 cm no rés do chão, 65 cm no 1º piso e 50 cm no último andar); e, especialmente, pela integração dos quatorze arcos catenários (com uma largura na base de 4,75 m). O arco catenário [Fig.40] é uma forma estruturalmente eficiente e ideal, dado que, reduzem substancialmente a carga estrutural e o seu peso, bem como distribui uniformemente as cargas de compressão e evita a tração (a taipa só suporta as forças de compressão). 40% da superfície da parede corresponde às aberturas dos arcos. No ápice de cada arco catenário está inserido um lintel arqueado que aumenta a estabilidade estrutural, auxilia na destruição das cargas e evita a fissuração.



Fig. 41: Arco catenário (à esquerda). Fonte – [internet] Disponível em: <https://vergelyarchitectes.com/en/lyon-confluence>

Fig. 40: Disposição simétrica dos arcos catenários. Fachada principal. Fotografia (à direita) da autora, 2025

Sendo a terra crua um excelente material de inércia térmica, e uma vez que não foi adicionado qualquer aditivo à taipa, as paredes apresentam ótimas propriedades reguladoras do ambiente interior e, conseqüentemente, de uma ventilação natural, dispensando tanto de isolamento térmico quanto de ar condicionado. No inverno mais rigoroso o aquecimento do ambiente é garantido pelas serpentinas de piso radiante.

Para unir os blocos de taipa foi incrementado argamassa em terra, de modo a evitar a aplicação de materiais incongruentes, e *"Instead of including lime or stone chippings, the edges were simply progressively chamfered. This lends the edges of the building and of the arches a specific delineation that anticipates their future weathering and maintains the overall monolithic impression of the structure."* (Jeske, 2020, p. 6)

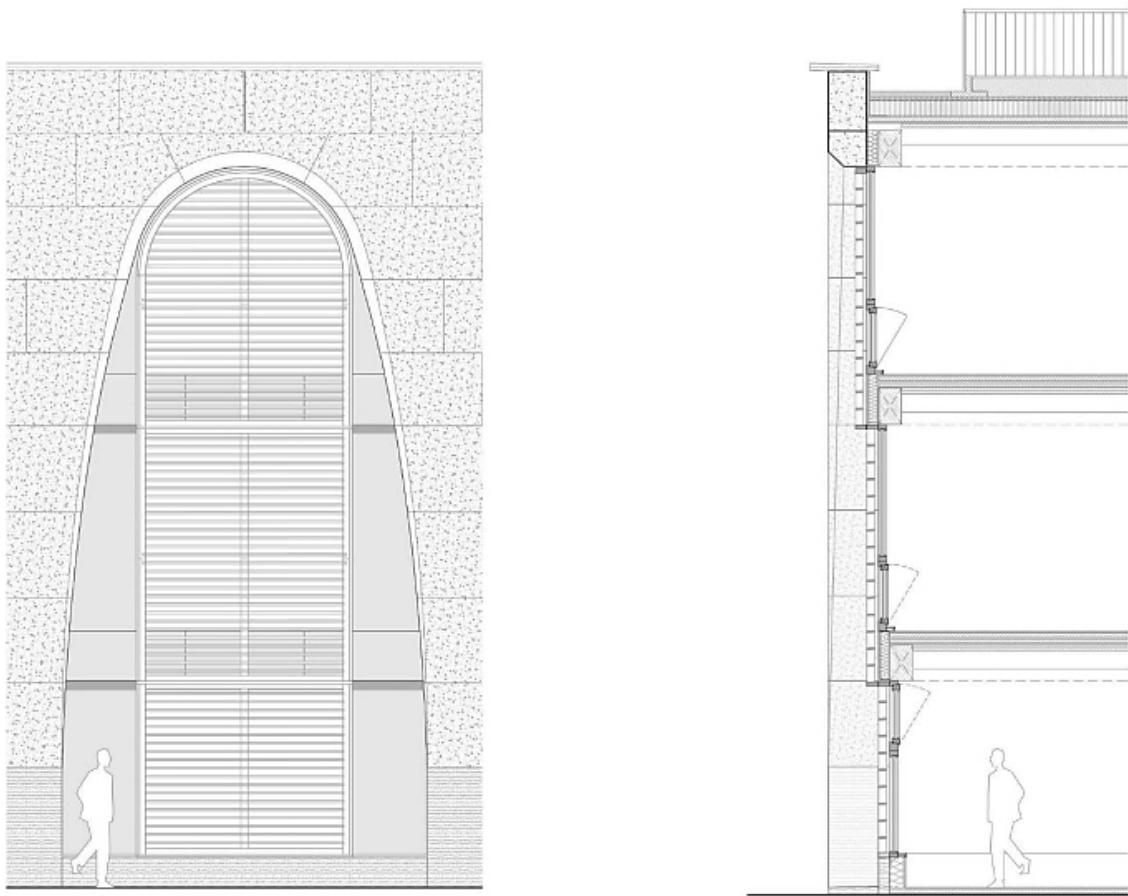


Fig. 42: Detalhes construtivos. Arco catenário. Imagem editada pela autora. Fonte – [internet] Disponível em: <https://vergelyarchitectes.com/en/lyon-confluence>

Um material totalmente compatível com a terra e que está muito presente no interior deste projeto é a madeira, que compõe os elementos de suporte e tetos. Note-se que nos tetos as vigas de madeira têm uma forte importância na estrutura e na distribuição das cargas uniformes, dado que, estão assentes sobre as placas de ancoragem metálicas (elemento de ligação) e embutidas nos blocos de taipa. No exterior, a base do edifício é composta por blocos de pedra (mesmo formato que os blocos de taipa); e no topo das paredes, em torno dos beirais, encontra-se um perfil de encaixe nas extremidades para proteger contra qualquer infiltração de humidade. A cobertura do edifício é um jardim (cobertura vegetal) que pode ser frequentado.



Fig. 43: Fase final de obra. Imagem editada pela autora. Fonte – [internet] Disponível em: <https://vergelyarchitectes.com/en/lyon-confluence>

Este projeto revela-se sustentável devido à utilização de materiais naturais, às técnicas construtivas e às estratégias que se consideram tanto eficientes quanto de baixo impacto ambiental: por promover o conforto térmico passivo e favorecer a eficiência energética (respeitando a regulamentação francesa a nível de proteção térmica (RT 2012)); e pela apropriada adaptação em contexto climático e cultural. Demonstra igualmente de como é possível construir atualmente com a taipa de forma resiliente, sem a adição de aditivos (não estabilizada), recorrendo apenas a soluções construtivas adequadas e adaptadas às diferentes condições climáticas e meteorológicas, como é exemplo o clima da cidade de Lyon. Da mesma forma, *L'Orangerie* comprovou que apesar da terra não ser estabilizada, somente (bem) compactada, é possível abrir grandes vãos, - desde que sejam bem projetados e concebidos, como se verifica com os arcos catenários.

A simetria, na sismicidade, é fundamental na construção, sobretudo em terra crua, o que neste caso, representa ser uma mais-valia, pois a sua configuração formal e estrutural evita ou minimiza os efeitos de torção e/ou a ocorrência de colapso do edificado; e permite que as forças se dissipem de maneira mais uniforme e aumente a estabilidade estrutural. Portanto, verifica-se a importância da centralização do núcleo em planta, neste projeto, pois assegura o equilíbrio do centro de massa (CM) e o centro

de rigidez (CR). As disposições simétricas dos arcos (elementos estruturais) contribuem igualmente para uma melhor distribuição das cargas e para um comportamento mais favorável, previsível e estável às ações horizontais, tal como, um sismo. [Fig.44]

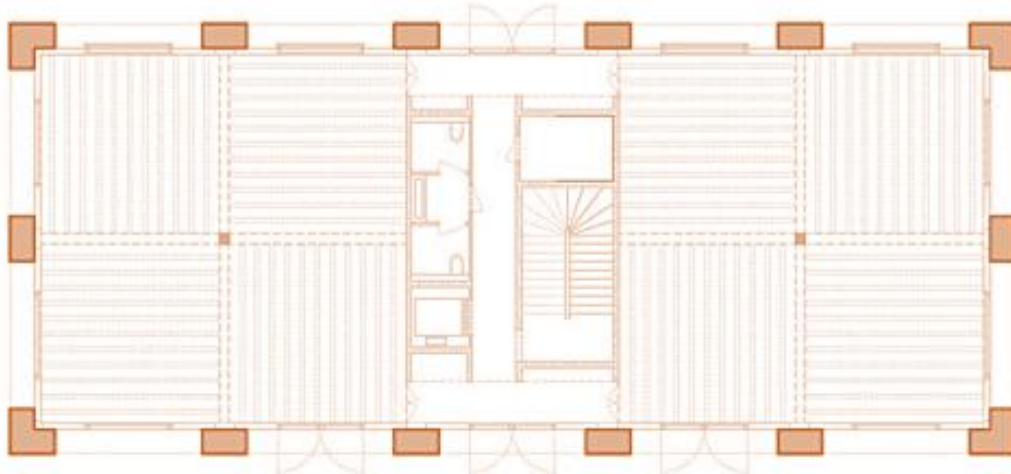


Fig. 44: Planta do piso térreo. Simetria e núcleo centrado. Imagem editada pela autora. Fonte – [internet]  
Disponível em: <https://vergelyarchitectes.com/en/lyon-confluence>

Esta obra evidencia claramente a viabilidade, a resistência, a resiliência e a durabilidade da construção em taipa perante os diferentes contextos climáticos sem comprometer o desempenho nos diferentes níveis: estrutural, ambiental, hidrotérmico, térmico, funcional, estético e cultural.

### 3.3.4 *Pavilhão Natural* | København, Dinamarca (2023)



Fig. 45: Protótipo A Natural Pavilion, Dinamarca. Fonte – [internet] Disponível em: <https://afasiaarchzine.com/2023/08/revaerk-arkitektur/>

Atelier: ReVærk

Área de construção: 45 m<sup>2</sup>

O Pavilhão Natural trata-se de um protótipo à escala real desenvolvido para o projeto (efêmero) de “4to1 Planet” que adota o conceito de moradia “NaturligRækkerne”, interpretação de habitação do futuro. É explorado uma alternativa à habitação convencional, dando ênfase a determinados critérios: sustentabilidade, qualidade sensorial dos espaços interiores, e materiais naturais.



Fig. 46: Fotografias do protótipo. Relação madeira-taipa. Fonte – [internet] Disponível em: [https://www.archdaily.com/1004372/a-natural-pavilion-revaerk/64b9ce22edf1692cd87f276e-a-natural-pavilion-revaerk-photo?next\\_project=no](https://www.archdaily.com/1004372/a-natural-pavilion-revaerk/64b9ce22edf1692cd87f276e-a-natural-pavilion-revaerk-photo?next_project=no)

Os principais objetivos são respeitar tanto o meio ambiente quanto o interior habitacional, minimizando ao máximo as emissões de carbono. Simultaneamente, foi essencial demonstrar a autenticidade de que os materiais mais básicos e naturais têm a capacidade de corresponder às expectativas e necessidades contemporâneas, tais como: a madeira roliça, o isolamento de fibra de madeira e a terra crua.

O pavilhão integra uma estrutura que combina paredes de taipa (solo argiloso *in situ*), com painéis pré-fabricados (constituídos por isolamento de base biológica). A madeira encontra-se amplamente presente neste modelo, tanto nos pavimentos e revestimentos, como na estrutura, incluindo todo o interno esqueleto portante. Este modelo proporciona uma construção mais sustentável, de baixo impacto ambiental e mais eficiente.



Fig. 47: Fotografias do exterior do protótipo. Fonte – [internet] Disponível em: <https://afasiaarchzine.com/2023/08/revaerk-arkitektur/>

A proposta concerne no pensamento crítico e na conceção de uma habitação que dialogue com o contexto natural e cultural, promovendo a utilização respeitosa e cuidada de materiais naturais e das técnicas tradicionais. A finalidade é de baixo impacto ambiental e transformar o espaço físico numa linguagem sensível ao corpo e à percepção humana. *Natural Pavilion*, ilustra a possibilidade de conciliar uma habitação funcional e de qualidade a partir da utilização de elementos, materiais e técnicas que respeitem o contexto natural e cultural, garantindo conforto, sustentabilidade e eficiência.

### 3.4 Resiliência perante as Alterações Climáticas

As alterações climáticas têm desencadeado desafios cuja complexidade tem vindo a aumentar, tanto em contexto urbano quanto rural, exigindo estratégias eficientes e resilientes de modo a mitigar os eventos climáticos extremos, como secas prolongadas, cheias e ondas de calor. Assim sendo, as alterações climáticas são um facto com que as sociedades se deparam, e em que a ação humana parece ter um papel muito relevante. Os acontecimentos associados a eventos extremos relacionados com o clima ocorrem cada vez com mais frequência. Nesse sentido, os desafios que se colocam são por um lado mitigar os efeitos desses eventos, e por outro reduzir os efeitos da ação humana, ao nível das emissões, com a utilização de materiais e soluções sustentáveis e num contexto de circularidade. Ou seja, são ao mesmo tempo desafios de resiliência e sustentabilidade.

De acordo com Fraga (2024), as cidades são as que têm maior impacto no que consta ao (assoberbado) consumo de recursos naturais e nas emissões de GEE, visto que, são áreas densamente povoadas e com grande aglomeração de atividades económicas. O meio urbano desempenha um papel determinante na pegada ambiental do planeta, sendo imprescindível debater sobre as questões climáticas, particularmente em zonas de maior vulnerabilidade.

*Com o crescimento das cidades, aumenta também a pressão sobre recursos naturais, sistemas de infraestrutura e serviços públicos, além de uma maior exposição a riscos ambientais (...) Nesse contexto, torna-se imprescindível o desenvolvimento de estratégias urbanas que consigam promover um desenvolvimento sustentável, capaz de mitigar os impactos ambientais e, ao mesmo tempo, melhorar a resiliência das cidades frente a crises climáticas. (M. F. da Silva, Moldero, Trindade, & Barbosa, 2024, p. 18587)*

Alves (2020) especifica que desde a Revolução Industrial a atmosfera tem sofrido alterações na sua composição, predominantemente pela atividade humana mediante: a produção de materiais, os transportes, a construção, a agricultura, a desflorestação, a queima de combustíveis fósseis e a indústria. Uma das consequências das alterações climáticas são os eventos extremos (com exceção dos sismos), cuja relação, segundo o autor e conforme explicitado nos relatórios do IPCC, estão comprovadas cientificamente.

O setor da construção, é um dos setores que contribui significativamente para o agravamento das alterações climáticas, através da sua acentuada emissão de dióxido de carbono, pela elevada produção de resíduos, e do uso e extração intensiva de recursos naturais. “*A atividade da construção consome cerca de 50% dos recursos naturais disponíveis e produz aproximadamente 40% dos resíduos sólidos existentes no planeta.*” (Alves, 2020, p. 22). De acordo com UNEP-SBCI, o setor da construção constitui cerca de 40% do consumo mundial de Energia Final, e aproximadamente 37% das emissões globais de CO<sub>2</sub> são referentes à energia e aos processos industriais, - isto significa, que este setor é um dos maiores consumidores de energia do mundo. Perante este cenário, é fulcral repensar abordagens e métodos construtivos, que reduzam o impacto ambiental e que garantam maior durabilidade, segurança e resiliência face às condições climáticas.

Face às exigências impostas pelas alterações climáticas, tanto a sustentabilidade como a resiliência assumem um papel substancial na construção, uma vez que, garantem que a utilização e a extração de recursos sejam efetuadas de forma mais consciente e equilibrada. Assim, é imprescindível adotar abordagens (mais) sustentáveis para mitigar os impactos, como a utilização de materiais e técnicas construtivas de baixa pegada ecológica.

*A resiliência urbana é um conceito essencial no contexto das crescentes incertezas ambientais e sociais que caracterizam as cidades contemporâneas, refere-se à capacidade das cidades de resistir, absorver e se recuperar de eventos adversos, minimizando os impactos sobre a população e a infraestrutura. (Godoy & Benini, 2024, pp. 4–5)*

A resposta do setor da construção aos desafios impostos pelas alterações climáticas precisa de uma abordagem muito focalizada relativamente aos conceitos de sustentabilidade e resiliência. Estes não podem ser dissociados, uma vez que os mesmos podem resultar de procedimentos ou soluções em sentidos contraditórios. A sustentabilidade que promove práticas que reduzem os impactos ambientais, aumenta a eficiência dos recursos e permite às populações maior capacidade de adaptação às mudanças. No setor da construção não pode implicar fragilidade, menor resistência e resiliência limitada, ou seja, tem de ser vista numa perspetiva integral e de longo prazo

em que os recursos, materiais e técnicas são utilizados sempre com uma justificação preponderante, numa junção dinâmica entre o desempenho estrutural, o comportamento ao longo do ciclo de vida e o menor impacto ambiental possível.

Posto isto, um dos compromissos sustentáveis que a sociedade contemporânea deve garantir na construção face às alterações climáticas rege-se, principalmente, na introdução de materiais naturais que dispensem de transformações industriais (intensivas), ou seja, materiais que produzam menores quantidades de gases de efeitos de estufa e que consumam pouca energia durante todo o seu processo, desde a extração até à aplicação e desempenho durante e após o ciclo de vida.

É fundamental reconhecer e compreender que a terra, enquanto matéria-prima e material reciclável, possui todas as características necessárias para satisfazer este compromisso para com o planeta, contribuindo na redução da pegada de carbono e na diminuição do consumo de energia. *“El tapial, por ejemplo, posee una huella de carbono de una veintena de gramos de CO2 por kilogramo de material, un valor destacadamente bajo.”* (Houben & Damme, 2019, p. 39)

A construção em terra crua, tal como foi evidenciado no subcapítulo 3.1 é considerada um método eficaz para as distintas problemáticas atuais: social, económico, cultural e ambiental. Bem como, a técnica da taipa, para além de atenuar nas mesmas questões, comparativamente aos outros sistemas de terra crua, esta, destaca-se nas características que reforçam a capacidade da técnica para enfrentar as exigências impostas face às alterações climáticas. Essas particularidades são em termos de inércia térmica, sustentabilidade e durabilidade, que garantem um bom desempenho em condições normais de serviço. Contudo, estas qualidades não constituem resiliência perante os desafios resultantes das alterações climáticas, mas favorecem na resposta da técnica.

- **Inércia térmica** – a taipa contém uma elevada inércia térmica, uma vez que tanto o próprio material quanto o seu processo de compactação permitem que as paredes de taipa possuam uma excelente capacidade de armazenar o calor ao longo do dia, e de libertá-lo gradualmente durante a noite, otimizando consequentemente o conforto térmico do ambiente interior dos edifícios. Em virtude desta característica, pode-se verificar que consumo de energia é muito

reduzido, dispensando sistemas de arrefecimento e aquecimento, isto significa que em climas mais severos a taipa pode ser uma mais-valia e autossuficiente. E, havendo uma diminuição de consumo de energia, há naturalmente uma redução de emissões de gases prejudiciais ao meio ambiente, como o CO<sub>2</sub>. Em termos gerais, este aspeto promove a eficiência energética e um ambiente mais sustentável, através da sua regulação natural de temperatura, na minimização da pegada de carbono e na redução significativa de energia;

- **Sustentabilidade** – Todas as técnicas dos diferentes sistemas de construção em terra crua são consideradas ecológicas, desde que não sejam aditivadas ou estabilizadas com materiais industrializados, como o cimento. A taipa é, portanto, uma das técnicas construtivas mais ecológicas, sendo que: minimiza o impacto ambiental, dado que, tem a possibilidade de extrair a matéria-prima localmente e de desnecessitar de (longos) transportes; não requer de processos que impliquem grandes consumos de energia ou de emissões poluentes, como a produção de cimento ou o fabrico de tijolo cerâmicos; e tem a capacidade de reintegração na natureza sem danificar o solo, pois o material tem a vantajosa possibilidade de ser, indeterminadas vezes, reutilizado sem que perca qualquer das suas propriedades naturais (na condição de que o material não seja quimicamente aditivado ou estabilizado). Desta forma, a taipa promove a sustentabilidade, uma vez que, fomenta a economia circular, evita o desperdício de resíduos, o seu processo construtivo consome pouca energia, e promove a gestão eficiente dos recursos;
- **Durabilidade** – Contrariamente à percepção de que a terra equivale a um material frágil, esta, destaca-se pela elevada resistência ao longo do tempo, desde que bem protegida contra os agentes externos. Independentemente de a terra crua ter vulnerabilidade às intempéries, nomeadamente à ação da humidade e da água, esta questão pode ser mitigada através de estratégias construtivas e arquitetónicas que garantam a durabilidade da construção, bem como soluções que evitem os efeitos das intempéries. A densidade da taipa confere à estrutura coesão e robustez através do seu processo de compactação, contudo poderá ter a necessidade de ser adicionada (face às exigências atuais) complementos em casos excecionais, como uma adição (ínfima) do cimento para uma zona de elevada perigosidade sísmica. A durabilidade pode ser constatada em inúmeras

construções ancestrais e históricas, demonstrando que a taipa tem uma forte capacidade de resistência (algumas perduram há séculos) e adaptação em distintas regiões e climas.

*(...) después de tantos siglos y en todo el mundo, este material natural ha acumulado suficientes pruebas de su resistencia y durabilidad cuando se utiliza de manera adecuada. Saben sobradamente que resulta necesario proteger las construcciones con tierra de la intemperie. (...) las construcciones con tierra han resistido durante siglos las tempestades, el hielo y el deshielo, y en ocasiones incluso sismos. (...) Toda la arquitectura de tierra debe tener en cuenta la relativa fragilidad de este material, a la vez que le da valor. «Hacer más y mejor con menos»: esta es la orientación ética (...) (Doat, 2019, p. 477)*

De forma sucinta, pode-se entender que o potencial da terra crua é uma mais-valia enquanto alternativa sustentável e resiliente face às alterações climáticas, uma vez que garante segurança, durabilidade e eficiência das edificações, assim como, cumpre a capacidade de resistir, de mitigar e de se adaptar às adversidades ambientais e climatéricas (como se verifica no subcapítulo 2.3). A durabilidade dos edifícios promove igualmente a sustentabilidade, na medida em que, minimiza a necessidade de recorrer a grandes intervenções de manutenção, reduzindo, conseqüentemente, o impacto ambiental (recursos, desperdício e consumo de energia). Quando adequadamente protegida, a integridade estrutural da taipa é prolongada.

### **3.4.1 Durabilidade**

Na construção a durabilidade é um dos parâmetros fundamentais para garantir a funcionalidade, a sustentabilidade e a integridade estrutural dos edifícios ao longo do tempo, a fim de resistirem aos fatores de degradação, desgaste e deterioração. A durabilidade depende de diversos fatores, como: os elementos e as técnicas construtivas; a manutenção; a qualidade dos materiais; o clima local; a exposição aos agentes naturais; a manutenção, entre outros.

No âmbito da construção em taipa, o paradigma é de uma complexidade acrescida, dado que o material apresenta uma significativa fragilidade às ações dos

agentes erosivos externos (água e vento), tal como possui vulnerabilidade às intempéries. Todavia, se forem adotadas estratégias adequadas de proteção e que estas sejam adaptáveis a cada contexto, é possível que a construção em taipa seja resistente a essas ações, roborando, assim, a sua durabilidade e o seu desempenho.

A ação da água, é, de facto, o principal inconveniente para este material, pois aquando em contacto prolongado (chuva, ascensão de água por capilaridade, inundações), pode promover a degradação, porém, esta ação pode ser prevenida e reduzida através de uma boa proteção nas fundações, cobertura e paredes. De igual forma, perante a possibilidade de humidade nas construções em terra crua, nomeadamente em taipa, deve-se proceder e intervir com o mesmo tratamento que as construções convencionais. (Patrícia Lourenço et al., 2001, p. 6)

A perceção de que a terra crua é frágil ainda persiste atualmente: *“(...) a falta de conhecimentos relativamente a aspetos de resistência estrutural e processos construtivos apropriados foram motivo para considerar esta como uma técnica construtiva pobre e fraca.”*(Patrícia Lourenço et al., 2001, p. 2) Contudo, seja através de procedimentos mais sofisticados, formas, técnicas, materiais ou elementos construtivos, é possível viabilizar a construção em terra crua perante o contexto contemporâneo, e por conseguinte, desmistificar e ultrapassar estigmas para com este material.

Neste sentido, torna-se crucial compreender os princípios de conceção de um projeto em taipa e dos seus respetivos elementos construtivos, de forma a aprimorar e a proteger as edificações em taipa sob fatores externos. Todos os pormenores e a forma de aplicação resultam importantes para a sua conceção, na condição de que estejam estreitamente correlacionados com a matéria e o material.

Sendo a água um elemento “paradoxal”, ou seja, fundamental para a sua preparação e execução, mas um dos maiores obstáculos para a construção em terra crua; deve-se ter um cuidado acrescido para com as paredes, protegendo-as na sua base e no seu topo. Na base, os embasamentos e as fundações são importantes para paredes em taipa, na medida em que, são responsáveis de protegê-las contra a ascensão por capilaridade (através do solo), da água estagnada, do escoamento da cobertura, dos salpicos, etc. Enquanto a cobertura e os capeamentos das paredes são essenciais para evitar a infiltração da água da chuva.

Logo, para garantir a durabilidade das construções em taipa é imprescindível considerar os elementos e pormenores construtivos que compõem o sistema, e os cuidados específicos na sua implementação, ou seja, todo o processo deve de ser estrategicamente e cuidadosamente concebido e planeado. Nesta fase será descrito como construir em taipa através de umas “boas botas e de um “bom chapéu” [Fig.48].

Sendo que a taipa tem uma significativa suscetibilidade à água, Mendes (2023) esclarece que a localização torna-se um aspeto fundamental, devendo-se assim, implantar o edificado em zonas com uma boa drenagem e distanciá-lo das linhas de água. No que diz respeito aos ventos fortes, o cuidado deve ser redobrado pois podem provocar erosão na superfície, tornando-se importante proteger e/ou minimizar a parede exposta. Se a implantação estiver próxima do mar, as salinidades depositam-se na parede através do vento. Assim sendo, e de acordo com o autor, uma solução eficaz consiste no posicionamento de uma empena cega na direção desses ventos.

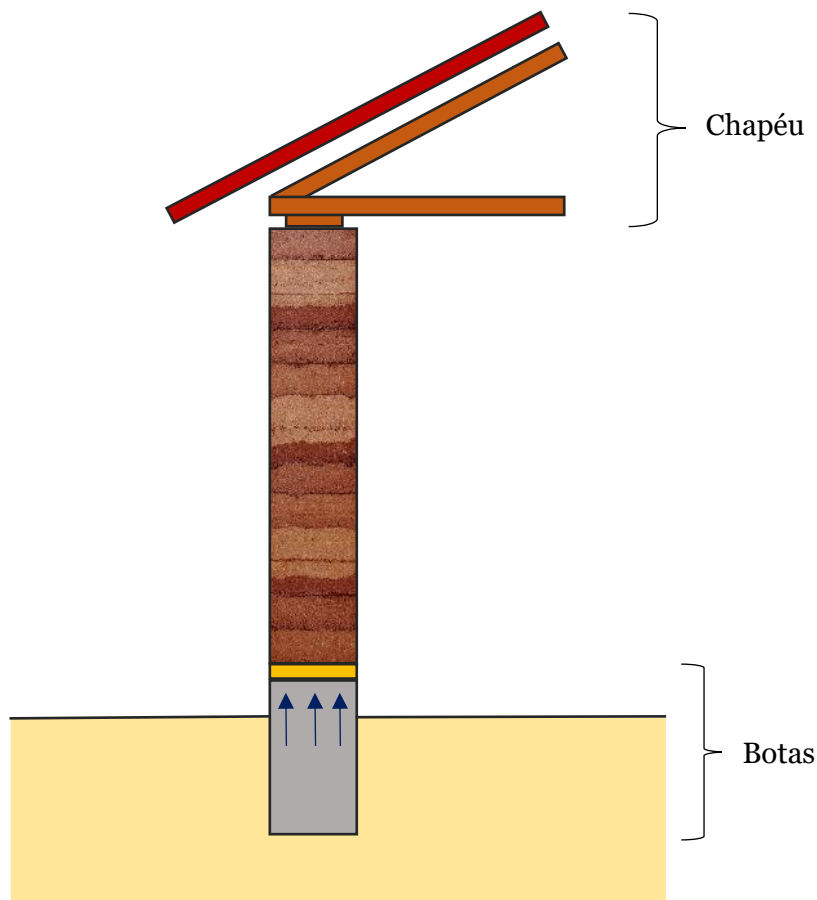


Fig. 48: Corte esquemático das “botas e do chapéu”. Representação da proteção das paredes através da cobertura, embasamento e barreira capilar (retângulo a amarelo). Autora, 2025

As fundações de uma construção em taipa devem garantir resistência estrutural (distribuição uniforme das cargas do edifício sobre o solo) e proteção contra a humidade e a água do solo por capilaridade ascendente. Todo o tipo de fundações é válido, na condição de que contenha os seguintes parâmetros: dimensionamento proporcional às cargas, assentamento adequado, e robustez. As fundações podem ser de betão (armado ou ciclópico), pedra, alvenaria e taipa estabilizada. Segundo Eires *et al.* (2014), a base das fundações devem impedir a ascensão de água por capilaridade através de uma cota superior à do terreno.

Os embasamentos correspondem à extensão vertical das fundações, e apesar de não terem qualquer função estrutural, são essenciais neste tipo de construção, visto que, os embasamentos mantêm uma distância de segurança entre o solo e as paredes. Essa distância, varia consoante a localização do edifício e os respetivos fatores regionais, como: níveis freáticos, drenagem efetiva e os índices de precipitação. Acima da face superior do embasamento, é conveniente introduzir uma barreira de anti capilaridade de modo a evitar humidade ascendente [setas a azul na Fig.48], que habitualmente está inserida nos embasamentos e nas fundações. (Mendes, 2023, pp. 56–57) Apesar do embasamento ser definido consoante os fatores regionais, Eires *et al.* (2014), explica que deve ser considerada uma altura mínima de 30 a 60 cm, e este pode ser concebido, dependendo do contexto regional, em: alvenaria de pedra, blocos de betão pré-fabricados, tijolo cerâmico, blocos de terra compactada com adição de cimento (como BTC), entre outros.

As paredes desempenham um papel fundamental tanto na estrutura quanto nas propriedades acústicas e térmicas do edifício. Como já mencionado, as paredes devem ter uma proteção acrescida na base e no topo (“umas boas botas e um bom chapéu”), e para esse efeito é recomendável que estejam a uma elevação de 30 cm como mínimo. Estruturalmente, Mendes (2023) esclarece que as paredes exteriores em taipa, têm a capacidade de ser autoportantes no que concerne a construções de um a dois pisos, porém quando se considera construções com mais pisos, é frequente adotar estruturas complementares, normalmente as de pórtico (pilar-viga) em madeira, betão armado ou metal. A madeira é o material que melhor se adequa em termos de compatibilidade com a terra crua (claramente também com a técnica da taipa), desde o comportamento higrométrico e mecânico, até em termos de sustentabilidade. Pode ser adicionada

precedentemente ou a seguir à execução da taipa, na medida em que a madeira esteja inteiramente imersa na taipa para que a madeira consiga responder às condições higrométricas homogêneas a que esta deve estar sujeita. Caso contrário a estrutura ou elementos em madeira devem ser independentes da taipa.

Normalmente, quando as paredes de taipa possuem uma boa execução e que se encontram em bom estado, não há necessidade em revesti-las, exceto em algumas ocasiões: grande incidência de ventos e chuva, áreas adjacentes ao mar, danos superficiais (reabilitação), terra com pouca coesão, entre outros. Tal como a taipa o reboco proporciona proteção mecânica, mas este deve cumprir o papel de satisfazer as trocas gasosas das paredes (evitar as eflorescências<sup>7</sup>) e de permitir o desempenho higratérmico da terra compactada. Em concordância com estes dois parâmetros verifica-se que os rebocos de terra e de cal são os mais adequados e compatíveis com a taipa, sendo o reboco de terra ideal para as paredes interiores e o reboco de cal para o exterior. Quanto ao reboco à base de cal (aérea e/ou hidráulica) pode ser feito por cal-terra, cal-areia ou cal-terra-areia, sem que necessite de qualquer acabamento adicional (caso contrário pode-se optar por tintas de cal, para garantir o desempenho adequado dos parâmetros e das características da taipa). (Mendes, 2023, pp. 64–67)

A cobertura é um elemento construtivo completamente independente das paredes, contudo é necessário que os esforços gerados sejam apropriados para as paredes. Outro aspeto a ser considerado é que a cobertura deve resguardar as paredes em taipa da chuva (o “chapéu”), nomeadamente nos paramentos e na sua extremidade superior. Se a cobertura possuir duas ou mais águas, a introdução de asnas ou tirantes entre fachadas evitam esforços descendentes oblíquos (são tensões inadequadas, pois as paredes de taipa só trabalham à compressão) [Fig.49].

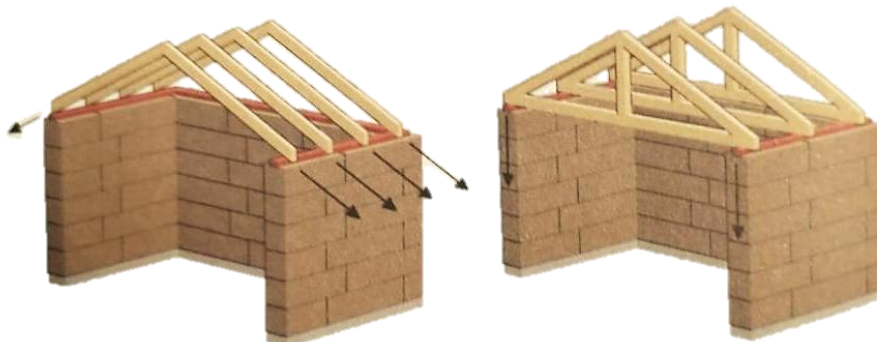


Fig. 49: Cargas transmitidas pela cobertura às paredes de taipa, com e sem sistema de asnas. Fonte [livro] - *Taipa*, 2023, p.68, de Miguel Ferreira Mendes; imagem editada pela autora

<sup>7</sup> Resultado da cristalização de sais higroscópios que migram para a superfície das paredes através água, formando depósitos (visíveis).

Os pavimentos térreos tanto interiores quanto exteriores, podem ser executados por qualquer material e técnica, dada a condição de que não favoreçam na propagação de humidade, ou seja, por abafamento do solo, limitando a circulação de ar. Neste sentido, deve-se colocar uma faixa respirável em torno do edifício, como gravilha, deck, areia, terra, entre outros; e para obter uma boa drenagem o recomendável, é evitar o desenvolvimento de vegetação no exterior face à proximidade da base. É igualmente importante, que a colocação dos pavimentos esteja sempre abaixo da face superior do embasamento. (Mendes, 2023, pp. 61–62)

Em relação às instalações sanitárias é importante que as paredes de taipa evitem o contacto direto com a água (como lavatórios e banheiras), todavia a taipa não deixa de ser uma excelente estratégia para essas instalações, pois qualquer técnica com a terra crua têm a capacidade de conferir nas instalações sanitárias: a diminuição dos odores, o equilíbrio higrotérmico e a retenção do vapor de água (desde que as paredes estejam bem protegidas). Para uma adequada proteção dessas paredes, deve-se optar por revestimentos que sejam do tipo azulejos ou painéis, ou através de reboco hidrófugo.

Tanto a tubagem da rede de águas, como as cablagens de eletricidade não podem estar inseridas (dentro) nas paredes de taipa, visto que ficarão destruídas com o impacto do apisoamento da terra. Portanto, em ambos os casos deverão ser colocados por fora das paredes de taipa. Se considerarmos a tubagem, a melhor solução será através de “(...) *calhas de passagem criadas em negativo na taipa, que podem ou não ser tapadas ou escondidas.*”, ou seja, abordagens que permitam um acompanhamento constante; mas se explorarmos as cablagens, encontram-se várias alternativas: “*pelo pavimento, pelo teto, por negativo previsto na taipa ao nível do rodapé ou da cimalha, por fixação mecânica na taipa, por calhas, etc.*” (Mendes, 2023, pp. 69–70) A canalização da rede de esgotos no piso térreo tem o mesmo procedimento que a instalação de rede de águas; enquanto que nos restantes pisos soluciona-se através da respetiva laje, pavimento ou sobrado. Face às prumadas é executada sob calha ou corete.

Quanto ao mobiliário, equipamentos sanitários, ou outros elementos que necessitem de recorrer à fixação, é importante analisar o seu peso e o tipo de funcionalidade (se é estático ou móvel). É possível fixar diretamente à parede, por encastramento ou a taco de espera. E como descreve Mendes (2023) para “*objetos mais leves, menos móveis e com menos variação de peso (...)*” podem ser “*fixados*

*diretamente à parede, enquanto objetos mais pesados (armário suspenso), mais dinâmicos (tampo basculante) ou com peso que varia em função do uso (sanita suspensa) devem ser fixados a tacos de espera embebidos na parede*”. Na necessidade de colocar pregos na parede de taipa, é recomendado untá-los com azeite ou óleo vegetal, para evitar o risco de fissuração.

Em síntese, a durabilidade da construção em taipa depende de vários aspetos que dizem respeito à forma como se protegem as paredes, através de umas “boas botas e de um bom chapéu”. Para que o material não seja deteriorado, sobretudo pela água, é necessário recorrer a estratégias eficientes que resultem na longevidade do edifício. Deste modo, e apesar das vulnerabilidades da taipa, é possível garantir não só a estabilidade estrutural, a sustentabilidade, ou a durabilidade, como, paralelamente, tem a capacidade de se adaptar às demandas contemporâneas e às adversidades climáticas.

Quando a dúvida persiste, pode-se e deve-se recorrer às inúmeras construções de arquitetura ancestral e vernacular, que comprovam a durabilidade. Assim como, se recuarmos até aos primórdios, constata-se que as sociedades dos séculos passados, conseguiram construir obras robustas e duradouras face às condições adversas e que ainda perduram, apesar dos meios e recursos serem limitados (dependendo da região em questão). De igual modo, compreenderam que a preservação estava interligada a uma proteção da base e do topo do edificado, com uma manutenção regular. Por várias regiões do mundo, está demonstrada a eficácia da construção em taipa no tema da durabilidade e resiliência, desde a habitações, fortificações ou outros edifícios históricos

Aprendendo com a História e com as práticas tradicionais, compreende-se que a fragilidade do material pode ser solucionada pela própria arquitetura, tal como, atualmente pode ser inovada mediante as novas técnicas e meios tecnológicos, capaz de proporcionar um melhor desempenho do material.

### **3.4.2 Estabilidade Estrutural**

A estabilidade estrutural resulta da capacidade das construções em equilibrarem as forças geradas pelas ações (peso, sobrecarga, ambientais) com manutenção da forma e a utilização. Essa capacidade resulta da resistência e da rigidez, parâmetros determinantes das forças equilibrantes.

No que diz respeito à estabilidade da construção em taipa, esta requer cuidados nas questões de fissuração, de resistência e de deformação. E, por essa razão é preciso identificar os fatores que influenciam a estabilidade da taipa, especialmente para obter uma boa resistência mecânica, como: a seleção da terra, o processo de compactação, os tipos e técnicas de estabilização e a conceção dos elementos construtivos.

Após a extração (com uma profundidade de 50 cm sob a camada orgânica superficial), é necessário selecionar o tipo de matéria-prima (removendo as impurezas) e analisar a composição granulométrica e o tipo de constituintes, de modo a determinar as características e o seu comportamento à água, garantindo a necessária coesão e resistência do material. É necessário ter em atenção o tipo de inertes, como a gravilha e a pedra (<50mm), já que apresentam um papel fundamental nas paredes de taipa, uma vez que, são responsáveis por conferir durabilidade e resistência mecânica. Da mesma maneira, é imprescindível verificar o tipo de argila, dado que, apresenta diferentes variações dimensionais, o que significa que em contacto com a água têm comportamentos distintos, nomeadamente os níveis de dilatação-retração (podendo decorrer o fenómeno de fissuração). (Mendes, 2023, pp. 33–36; Patrícia Lourenço et al., 2001, p. 4) Estes são aspetos importantes a considerar devido à influência direta que estes constituem na resistência mecânica da técnica construtiva em terra crua.

A resistência mecânica está relacionada à capacidade que o material tem de resistir aos esforços, nomeadamente de tração, compressão e flexão. No âmbito da taipa, é igualmente importante não só considerar esses esforços como ter em consideração a distribuição de cargas, de maneira que a integridade e a estabilidade sejam garantidas ao longo do tempo. De seguida será explicitado qual o comportamento da taipa segundo o esforço de compressão e de tração:

- **Compressão:** A pressão de compactação para produção da taipa confere-lhe densidade e resistência à compressão uma vez que melhora as ligações internas e reduz os vazios. Embora não muito elevada em comparação com outros materiais, como a pedra natural ou o betão, a resistência à compressão da taipa permite a execução de paredes portantes estáveis, assegurando estabilidade e conforto ao longo do tempo. Mendes (2023) ressalta que em edifícios de taipa de um a dois pisos, pode ser utilizado o sistema de paredes autoportantes, embora em edifícios com mais pisos ou de cargas excepcionais, é recomendável

averiguar a resistência. Como alternativa o autor aconselha uma estrutura colaborante ou autónoma;

- **Tração:** A resistência à tração não é possível de ser considerada. Assim, na conceção é necessário evitar esforços de tração, por exemplo resultante de flexão por efeito de cargas laterais (vento e sismos). Adicionalmente, são de evitar cargas pontuais, que implicam forças de tração localizadas. A utilização de elementos horizontais leves, para os pavimentos e elementos de cobertura apoiados em elementos que distribuam as tensões é um tipo de solução que pode ser adequado. Por outro lado, no caso de ações extremas como sismos ou tempestades com ventos muito fortes, a disposição de um sistema de contraventamento revela-se indispensável, como a utilização de asnas ou tirantes.

A fim de mitigar as fragilidades do material e com a intenção de aumentar a sua durabilidade e resistência, é necessário recorrer à estabilização da matéria-prima. Estabilizar a terra crua significa melhorar as propriedades mecânicas e físicas do material, especialmente na resistência ao esforço de tração. *([...] os principais objetivos da estabilização são: obter um melhor comportamento mecânico, (...) melhor coesão, reduzir a porosidade e as variações de volume, melhorar a resistência à erosão do vento e da chuva, reduzir a abrasão da superfície e impermeabilizar.)* (Patrícia Lourenço et al., 2001, p. 4) Deste modo, existem três processos de estabilização da terra crua para fins construtivos: mecânica, física e química. Abaixo serão descritos os três processos de estabilização destinados à construção em taipa:

- Estabilização mecânica: consiste na compactação e densificação da terra, reduzindo a porosidade e aumentando a sua resistência.
- Estabilização física: é o método que corrige a granulometria da matéria-prima, através da adição de elementos (como a areia) sem alterar as propriedades naturais do material.
- Estabilização química: refere-se à introdução de agentes que aumentam substancialmente o desempenho do material, mas alteram completamente as propriedades da terra. Para este processo fazem parte os seguintes

estabilizantes: cimento, betume, resinas (sintéticas ou naturais), cal, entre outros aditivos naturais e sintéticos.

Massa Volúmica [ $\rho$ ]	( kg/m <sup>3</sup> )	1.700 - 2.400	varia em função da densidade – que, por sua vez, depende da constituição da terra e da acção mecânica aplicada.
Resistência à Compressão [ $R_{ck}$ ]	( MPa )	0,7 - 4,0	[ $R_{ck}$ ] aumenta quando [ $\rho$ ] aumenta. classes de taipa, em função do valor de $R_{ck}$ : 0,4MPa < classe1 < 1MPa ≤ classe2 ≤ 1,8MPa < classe3
Resistência à Tração [ $R_e$ ]	( MPa )	0,07 - 0,4	
Módulo de Elasticidade [ $E$ ]	( GPa )	1 - 3,5	também chamado Módulo de Young
Resistência ao fogo		A1 <sup>(1)</sup> REI 30 <sup>(2)</sup>	(1) equivale à anterior classificação M0 – materiais incombustíveis; (2) Euro-classe REI30: Resistência mecânica / Estandaridade a gases e chamas / Isolamento térmico - 30 minutos mínimo <sup>xiv</sup>
Condutividade Térmica [ $\lambda$ ]	( W/m.K )	0,8 - 1,1	varia em função da Massa Volúmica [ $\rho$ ]: $\lambda$ aumenta quando $\rho$ aumenta
Índice de Redução Sonora [ $R'_w$ ]	( dB )	40 - 60	para 50cm de espessura e Massa Volúmica [ $\lambda$ ] = 2.000 kg/m <sup>3</sup>
Porosidade [ $\eta$ ]		0,3 - 0,5	
Resistência à Difusão de Vapor de Água [ $\mu$ ]		5 - 13	

Fonte: CRATERre

Fonte: Röhlen, Ulrich & Ziegert, Christof (2011) – *Earth building practice: planning, design, building.*

Tabela 1: Comportamento mecânico, térmico, hídrico e acústico de uma parede de taipa não-estabilizada. Fonte [livro] - *Taipa*, 2023, p.55, de Miguel Ferreira Mendes; tabela editada pela autora

Posto isto, pode-se afirmar que tanto a estabilização mecânica quanto a estabilização física correspondem à terra não-estabilizada, pois apesar de alterar a constituição da terra, não modificam as suas propriedades. Embora, os aditivos mais utilizados atualmente são o cimento e a cal, ou seja, a estabilização predominante e recorrente é a química.

O cimento é atualmente o estabilizante (industrial) mais utilizado por todo o mundo. Este ligante apresenta múltiplos inconvenientes para a terra crua, especialmente para com a taipa, podendo provocar patologias nos elementos construtivos, como as paredes. Dentro das incompatibilidades encontram-se as desvantagens de o cimento ser um material com impermeabilidade ao vapor de água e de conter sais solúveis. Os sais solúveis podem favorecer na desagregação superficial das paredes de taipa e no surgimento de eflorescências (consequência da cristalização e expansão dos sais solúveis), e, além disso, o cimento dificulta ou impede as trocas gasosas entre a massa das paredes de taipa e o ar ambiente, ou seja, o cimento retira uma das mais-valias tão

características deste material natural – controle higrométrico. (Mendes, 2023, pp. 39, 110)

*Hace falta incorporar 5 kilos de cemento por metro cúbico de hormigón (...) para obtener un aumento de la resistencia de 1 mega pascal, pero se precisa (...) entre seis a ocho veces más para el tapial (...). La conclusión es evidente: la estabilización de la tierra con el cemento no es recomendable ni en términos mecánicos ni en términos medioambientales.* (Houben & Damme, 2019, p. 39)

A cal, empregue desde a Antiguidade (Eires et al., 2014), é um dos estabilizantes mais utilizados atualmente, devido ao seu efeito de estabilização, isto é, tem a capacidade de se interligar com os inertes da terra, e simultaneamente tem uma reação com as argilas, de modo a controlar a sua ação excessiva. Desta forma, a cal permite reduzir (um pouco) a plasticidade, melhorar a coesão e de tornar o material menos suscetível à humidade. Todavia, antes de recorrer à utilização da cal na estabilização, é necessário averiguar se as paredes em taipa vão estar sujeitas a intensas agressões de água, e se assim se constatar, por norma, o recomendável é aplicar cal hidráulica. (Mendes, 2023, p. 38) De acordo com Lourenço *et al.* (2001), a dosagem para a estabilização com cal varia entre 6% a 12%.

Há quem defenda que a terra não necessite de aditivos sintéticos, porque muitas das vezes desconhecem por completo as qualidades da terra virgem, como a possibilidade de reciclar o material. Apesar da terra ter fragilidades perante a resistência mecânica, por vezes é necessário, como defende a arquiteta Anna Heringer, abraçar a vulnerabilidade, ao invés de incrementar uma absurda adição de cimento que por vezes atingem os 15% em certos países, tal como os EUA e a Austrália. (Wilson, 2019, p. 360)

É preciso refletir e compreender a seguinte frase: *“Si el tapial cuenta con una composición granulométrica óptima (grava, arena y arcilla), no hay necesidad de estabilizarlo con cal o cemento para aumentar su resistencia.”* (Dethier, 2019, p. 47) Se nos depararmos com as construções de há vários séculos e refletirmos ao longo da história da arquitetura em terra, pode-se concluir que este material natural aquando protegido das intempéries e construído adequadamente, mais do que comprova a sua durabilidade e resistência sem a necessidade de adição de ligantes sintéticos:

*La arquitectura tradicional muestra que la tierra es un material mecánicamente resistente: en Shibam, en Yemen, las casas de adobe de siete pisos desafían al tiempo desde el siglo XVI; en el centro de Lyon, los inmuebles de tapial con cuatro o cinco plantas aún están habitados desde la década de 1800. El material es compatible con todos los climas, incluso los lluviosos, cuando la concepción prevé una protección constructiva con, entre otros, «unas buenas botas y un buen sombrero». (Gauzin-Muller, 2019b)*

No que concerne às patologias estruturais, e conforme Lourenço *et al.* (2001), os principais motivos são: conceção inadequada, fraca qualidade da matéria-prima, má execução, ação excessiva da água e/ou humidade e esforços de tração ou flexão (sismos, movimentos das fundações, etc.). Para evitar essas patologias destacam-se os seguintes objetivos: estrutura adequada (conjunto de condições construtivas); manutenção e conservação recorrentes; e uma congruente implantação. Em virtude do que foi referido, e prosseguindo com a explicitação dos autores, as considerações e estratégias que garantem e/ou aumentam a estabilidade estrutural baseiam-se nos seguintes aspetos:

- Evitar assimetria de formas (optar preferencialmente pela planta circular ou quadrangular) e revigorar a zona dos ângulos;
- Reduzir os impactos causados pelas forças horizontais;
- Implantação e fundação adequadas, rigorosas e bem executadas;
- Seleção cuidadosa dos materiais;
- As coberturas requerem uma boa fixação às paredes e devem distribuir as cargas para evitar tensões muito elevadas sobre as paredes, logo é recomendado que sejam o mais leves possíveis;
- Convém que as armaduras horizontais compreendam sensivelmente um intervalo de 50 a 50 cm;

- Para maior estabilidade e distribuição de tensões, recomenda-se a utilização de um lintel de coroamento contínuo;
- As paredes não devem superar uma altura de seis vezes a sua espessura (40cm como mínimo);
- Entre dois elementos de ligação vertical (como pilares) não superar uma distância de 3 m.

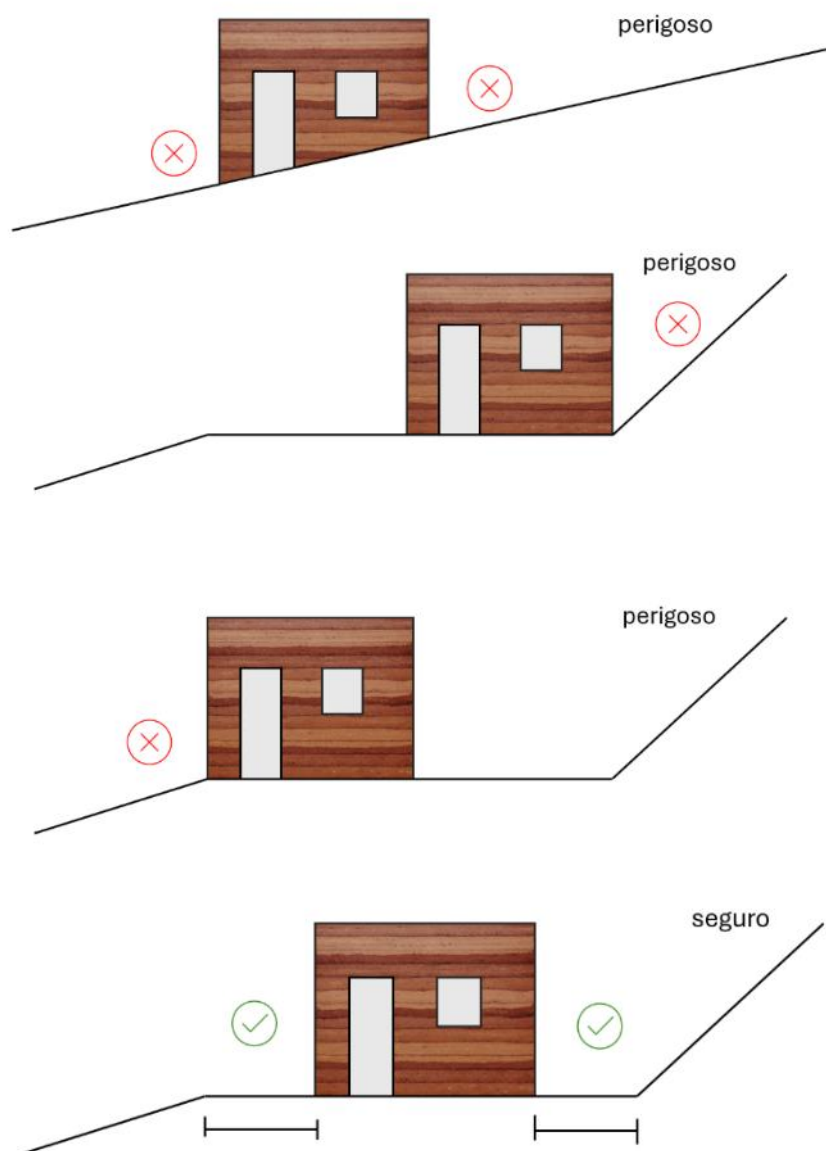


Fig. 50: Representação das áreas seguras e de risco para a implantação de edifícios em taipa em terrenos inclinados. Autora, 2025

O conceito de vãos na construção em taipa impõe desafios que devem de ser considerados, no âmbito de: localização, dimensão, forma e consequências pela combinação de cargas nas paredes. É recomendável que a soma da área dos vãos não exceda 1/3 da área da parede onde estarão inseridos, de modo a evitar o agrupamento de vãos e proximidade face aos cunhais do edifício (zonas estruturais críticas). É muito importante observar e examinar o que ocorre junto ao peitoril e à verga, pois:

*(...) um vão consiste numa zona de ausência de massa num sólido (a parede). (...) Por outras palavras, (...) o troço de parede que está por baixo de uma janela de peito não tem cargas diretamente por cima (onde está o vazio do vão), mas o troço de parede que está acima da verga dessa janela também não tem apoio (está sobre o vazio do vão) e isto cria um diferencial de forças na parede que se pode traduzir em fissuração – geralmente desenvolvendo-se na diagonal, a partir dos cantos da verga. (...) Outra estratégia, (...) passa por construir arcos de descarga sobre os lintéis, que recebem as cargas descendentes e as encaminham para as paredes, minimizando a solicitação à verga e a potencial fissuração na parede daí decorrente. (Mendes, 2023, p. 63) [Fig.51]*

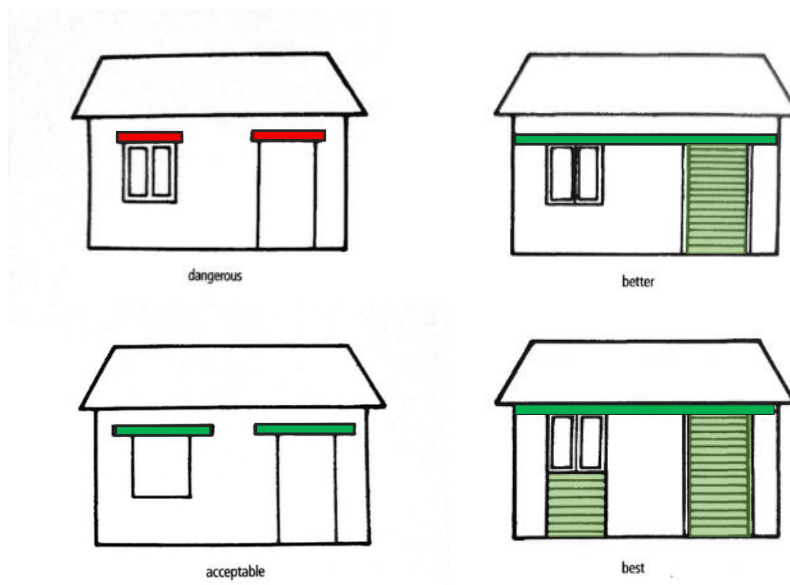


Fig. 51: Representação dos elementos estruturais que aumentam a estabilidade dos vãos (lintéis e painéis de madeira) e evitam a fissuração nas paredes. Fonte [livro] - *Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*, 2006, p.140, de Gernot Minke; imagem editada pela autora

O autor também faz destaque para a amarração das paredes de taipa, sendo que, é vivamente aconselhado que na parte superior seja colocado uma cinta de travamento em todo o seu perímetro, permitindo uma maior estabilidade ao edifício (é igualmente aplicável em zonas sísmicas). De madeira ou betão armado, esta cinta deve estar carregada pelo seu próprio peso, pela cobertura e pela parte superior dos muros de taipa (isto significa que a cinta deverá ser colocada antes da última fiada de terra compactada). Se a estrutura for em pórtico, a cinta de travamento deve ser incorporada ao sistema.

Neste âmbito, verifica-se que as técnicas, as estratégias, a morfologia e a seleção dos materiais devem de ser as mais adequadas, pois têm uma forte influência nos fatores da durabilidade, resistência, segurança e estabilidade das edificações em terra. Seguidamente, serão abordados alguns aspetos que devem ser considerados, como a distribuição de cargas e a conceção, de maneira a promover e a assegurar um eficiente desempenho estrutural das construções em taipa, principalmente o seu comportamento face às ações horizontais.

A distribuição de cargas refere-se às cargas aplicadas e distribuídas uniformemente pela estrutura. Em construções de taipa, deve-se privar das cargas pontuais, devido à composição granulosa e plasticidade da matéria-prima. Neste sentido, Mendes (2023) sugere a utilização de elementos de distribuição de cargas, para distribuir as tensões de maneira mais uniforme, ou seja, os elementos estruturais que se apoiam diretamente sobre as paredes de taipa devem de ser evitados, minimizando o risco de fissuração, punçoamento e/ou esforços de corte. Se as cargas forem bem distribuídas através de elementos construtivos adequados, conseguem-se prevenir danos na estrutura.

### 3.5 Comportamento Sísmico

As construções em terra crua, assim como as estruturas de taipa, apresentam uma vulnerabilidade às ações horizontais, especialmente provocadas pelos sismos. Em contrapartida, a maioria destas construções estão implementadas em zonas de moderada a elevada intensidade sísmica. (Oliveira, Silva, Schueremans, & Lourenço, 2010, p. 5)

No dia 26 de dezembro no ano de 2003, a cidadela de Bam (Irão), construída há mais de dois mil anos, foi destruída após um grave sismo [Fig. 52]. A magnitude moderada do sismo provocou aproximadamente 26 mil mortos num dos maiores complexos urbanos a nível mundial, à qual construções em terra crua (especialmente terra empilhada e adobe) não resistiram, devido, sobretudo pela “(...) qualidade de construção inadequada, baseada em deficientes conceções estruturais e execução, com recurso a diferentes materiais e incluindo um amplo uso de terra.” (Paulo Lourenço, 2005, p. 189) De modo a evitar situações tão críticas como a destruição da cidadela iraniana, torna-se fundamental conhecer as fragilidades e as formas de proteger as estruturas em terra para minimizar, e até mesmo evitar, perdas humanas e danos materiais (em algumas situações perda de património).



Fig. 52: Terramoto na cidadela de Bam no ano de 2003. Da esquerda para a direita – o antes e o depois. (Lourenço, 2005)

É através de certos fatores como a morfologia, as técnicas de reforço estrutural (tradicionais ou inovadoras), e a estabilização da matéria-prima que proporcionam uma maior resistência a estas ações, e simultaneamente, previnem consequências como fissuração ou colapso. Em conformidade com Barroso (2017), a vulnerabilidade sísmica na construção em taipa deve-se a fatores que são semelhantes, ou até mesmo comuns, a outro tipo de construções, principalmente a construção em alvenaria de pedra e a de

terra. Essa analogia, que compromete o desempenho estrutural, advém: da baixa resistência à tração; nas irregularidades em planta e no plano; na fragilidade aos agentes externos; e na debilidade dos materiais.

No que concerne à construção vernácula as causas mais iminentes aquando induzidas pela atividade sísmica devem-se essencialmente: ao colapso da cobertura (causado pelo peso da massa ou pela má ligação entre as paredes exteriores e os seus apoios); ao colapso dos pisos superiores (que se deve ao fraco sistema de suporte ou também pela má ligação com as paredes exteriores); ao colapso fora do plano das paredes exteriores (em consequência da fraca eficiência de ligação entre os pavimentos, cobertura e paredes perpendiculares); e à fissuração severa nas paredes (devido à degradação, às grandes aberturas e à fraca qualidade da alvenaria). (Correia, Varum, & Lourenço, 2015, p. 2)


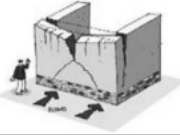
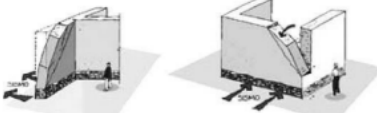
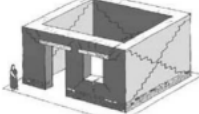

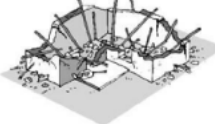

Modo de rotura/dano	Esquema
Rotura por flexão para fora do plano da parede. Fendilhação horizontal na base ou numa altura intermédia da parede. Adicionalmente, formam-se fendas verticais intermédias.	
Rotura por flexão para fora do plano da parede. Formação de uma fenda vertical a meio da parede. Posterior formação do mecanismo de colapso por fendilhação diagonal e desprendimento da parede por fendilhação da parte superior dos cunhais	
Rotura por flexão para fora do plano de paredes isoladas ou de paredes contraventadas com ligação deficiente às paredes de contraventamento e com ausência de contrafortes.	
Rotura por corte no plano da parede, associada a impulsos horizontais elevados. Fendilhação diagonal através dos blocos e juntas, amplificada por pavimentos e coberturas pesadas e pelas aberturas.	
Colapso da cobertura para o interior da construção devido a um suporte deficiente na parede. O colapso é geralmente devido à rotura da zona superior das paredes.	
Colapso generalizado da cobertura devido a um suporte deficiente na parede e à adopção de uma solução estrutural desadequada para a cobertura.	
Rotura por má ligação das paredes do segundo piso com as do primeiro. Formação de uma fenda horizontal generalizada por desprendimento das paredes, resultando na instabilidade generalizada do segundo piso.	

Tabela 2: Modos de rotura em construções vernáculas, nomeadamente às construções em terra. Fonte [artigo] - *A Construção em Taipa e os Sismos*, 2010, p.7, de Correia, Varum, & Lourenço. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1822/17615>

Estas consequências, devem-se essencialmente pelas seguintes razões: fraca qualidade dos materiais; paredes exteriores com baixa resistência; má ligação entre as paredes; fraco ou ausência de sistema de fundações; incorreta distribuição das aberturas; apoio curto dos lintéis dos vãos; ligações inadequadas nos cantos do edificado; sistemas de coberturas pesados; paredes longas; aberturas de grandes dimensões; e vãos próximos dos cantos do edifício. (Correia et al., 2015, pp. 2, 3)

As paredes de taipa ou similares apresentam grande vulnerabilidade relativamente a ações sísmicas, especialmente quando solicitadas na direção perpendicular ao plano (colapso fora do plano). O facto de não terem resistência à tração é a causa dessa fragilidade. A vulnerabilidade pode ser mitigada quando se dispõem de paredes de contraventamento que equilibram as paredes que lhe são ortogonais, dada a sua maior rigidez no plano. No entanto, este comportamento está dependente da existência de um efeito de diafragma que proporciona um comportamento do conjunto e também da adequada ligação entre elementos estruturais. Este tipo de função não é exclusivo das construções em taipa sendo também uma solução adequada para a construção de alvenaria de pedra com condicionamentos similares. Quando este comportamento monolítico é garantido surge a possibilidade de explorar a capacidade de dissipação de energia que essa solução proporciona com vantagens relevantes na prevenção do colapso. *“(...) a construção tem capacidade de resistir a um sismo de magnitude moderada sem colapsar, apesar da resistência dos materiais em terra ser baixa. (...) mas a ductilidade conferida pelo comportamento monolítico impede o colapso.”* (Oliveira et al., 2010, p. 7)

Segundo Duarte (2013), há duas alternativas para proteger as edificações em terra da ação sísmica: conceder total rigidez ou que a construção seja leve e flexível (ou seja, que oscile durante um sismo sem que esta entre em rotura). Isto significa, para que uma estrutura obtenha um desempenho mais eficiente perante as solicitações sísmicas, consideram-se duas principais características: ductilidade e resistência às ações horizontais. (Carranza, 2010, p. 28) Neste sentido, coloca-se em evidência o seguinte: *“structural quality = resistance x ductility. This means that the lower resistance of a given structure, the higher its flexibility must be, while the higher its flexibility, the lower the required resistance.”* (Minke, 2006, p. 135) Observa-se, correspondentemente, no intuito de garantir que uma estrutura tenha qualidade relativamente à atividade sísmica, esta deve, por sua vez, de assegurar uma conjugação

equilibrada entre a resistência e ductilidade, visto que permite obter uma maior segurança estrutural.

Assim, para certificar que uma estrutura seja resistente à atividade sísmica deve-se considerar, previamente, dois aspetos principais, - estabilidade da matéria-prima e a distribuição homogénea dos elementos estruturais. Em razão disso, torna-se fundamental seguir princípios para obter uma boa conceção estrutural e reforçar a construção a partir de técnicas que melhorem o seu desempenho e comportamento estrutural. Outra particularidade, na resistência e eficiência de uma construção em taipa, é essencial que o material “trabalhe” da maneira mais confortável possível, para garantir ao máximo o seu desempenho estrutural, especialmente aos esforços de tração e de corte.

Em virtude do que foi mencionado, será explicitado, primeiramente, a importância da morfologia (forma, proporção, volumetria, contraventamento, etc.), e posteriormente as fragilidades e estratégias que asseguram uma adequada resistência à ação sísmica e durabilidade de uma construção em taipa.

A forma é, de facto, um dos aspetos mais decisivos para um sistema construtivo podendo implicar numa menor necessidade de reação horizontal, diminuição das forças de tração e numa distribuição mais homogénea das forças. A geometria dos volumes confere ao edifício estabilidade, nomeadamente as formas mais básicas, como o quadrado, o retângulo e o círculo. Minke (2006), defende que o volume de planta quadrangular confere mais resistência que o volume de planta retangular, todavia, a planta circular proporciona uma melhor distribuição das forças (maior rigidez) e apresenta uma maior resistência à atividade sísmica comparativamente à planta quadrada. Assim pode-se deduzir que “(...) um elemento sobre o qual incide uma carga não axial terá maior resistência ao esforço resultante se for de forma curva (convexa, em relação à força) do que se for de forma reta (perpendicular ao esforço).” (Mendes, 2023, p. 47) Entende-se, portanto, que os elementos curvos reduzem a concentração das tensões e distribuem melhor os esforços.

Os ângulos podem também ser uma estratégia antissísmica para a construção em taipa aquando se pretende reduzir a espessura das paredes (não sejam curvas), no entanto, é indispensável recorrer a regras de dimensionamento:

*A simple solution for stabilising rammed earth walls of lesser thickness is to use L, T, U, X, Y or Z shaped elements. Due to their angles, they have better stability against lateral forces. If a wall is 30 cm thick, the free ends of the elements should not be longer than  $\frac{3}{4}$  and no shorter than  $\frac{1}{3}$  of their heights. This minimal length is necessary to transfer loads diagonally to the plinth or foundation. If the free ends are longer than  $\frac{3}{4}$  of their heights, they should be stabilised by another angle. (...) The forces perpendicular to the wall are transferred into the angle parallel to the direction of force. This means that it is transferred, instead of creating a concentration of stress at the inner corner of the angle. (Minke, 2006, p. 139)*

A relação entre a forma e a força é muito sólida, sendo a forma determinante para o equilíbrio de uma estrutura, pois define como as forças se distribuem ao longo dela, ou seja, a forma tem influência na resistência e na rigidez face a cargas externas e internas (o próprio peso). Em utilizações estruturais de materiais de baixa resistência a relação entre forma e forças adquire uma importância elevada, na medida em que, pelos pormenores da forma é possível evitar forças que, global ou localmente, impliquem efeitos negativos para o comportamento da estrutura. No caso de estruturas em taipa esses efeitos podem surgir com maior relevância nas zonas de ligação (transição) entre elementos estruturais onde o sistema de forças complexas que aí se gera não é compatível com as capacidades mecânicas dos materiais. Nesses casos os efeitos negativos podem ser eliminados ou mitigados através de transições que permitam distribuições de tensões mais confortáveis, isto é, ajustadas às capacidades do material.

*The resistant virtues of the structures that we make depend on their form; it is through their form that they are stable and not because of an awkward accumulation of materials. There is nothing more noble and elegant from an intellectual viewpoint than this; resistance through form. (Dieste, 2004, p. 187)*

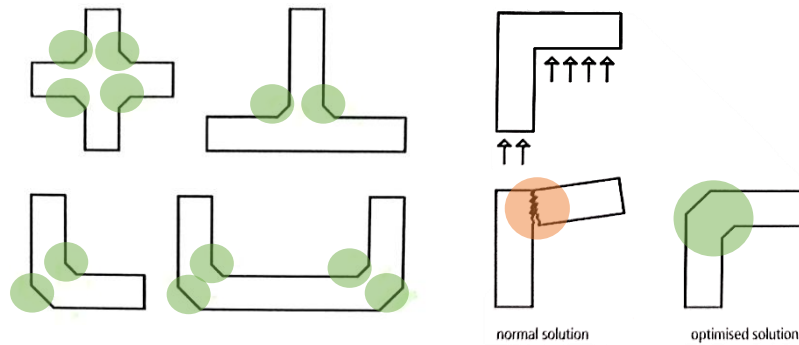


Fig. 53: Estratégias antissísmicas a partir dos ângulos. Fonte [livro] - *Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*, 2006, p.139, de Gernot Minke; editada pela autora

Não obstante, a simetria tem uma particularidade para com a conceção estrutural, pois melhora o comportamento dos edifícios perante a sismicidade, isto quer dizer que as formas simétricas oscilam de maneira mais uniforme e previsível, enquanto formas assimétricas têm o risco de sofrer colapso e/ou deslocamentos. Por outro lado, se a geometria irregular for uma opção preferencial, note-se que, e em sintonia com os documentos de Gernot Minke, as plantas em U ou em L, são bastante mais instáveis e menos seguras face a uma abordagem fragmentada dessas formas geométricas, como é possível compreender através da figura 54.

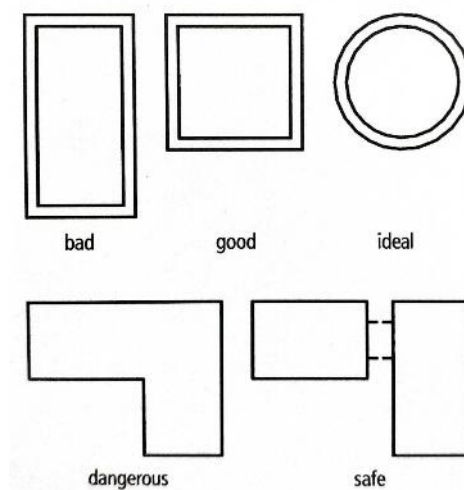


Fig. 54: Conceção estrutural a partir da geometria. Fonte [livro] - *Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*, 2006, p.136, de Gernot Minke

Neste âmbito, constata-se que um dos princípios fundamentais para uma construção sísmo-resistente, é considerar uma boa distribuição em planta dos elementos estruturais, considerando que, quanto mais compacta for a geometria de uma estrutura, melhor será a sua estabilidade (reduz o risco de colapsos diferenciais e distribui melhor as forças). É crucial projetar edifícios tendo em consideração a distribuição em planta dos elementos estruturais, pela necessidade de conjugar o centro de rigidez (CR) com o centro de massa (CM), para que, quando o edificado esteja exposto à atividade sísmica, este sofra minimamente o efeito de torção. (Parreira, 2007, p. 79) “A irregularidade construtiva em planta tem como efeito a distribuição irregular da rigidez, que poderá levar ao desenvolvimento de movimentos de torção global e por isso a um comportamento inadequado durante a ocorrência de sismos.” (Correia & Carlos, 2015, p. 60)

No tema da construção em terra crua a dimensão e a proporção, segundo Mendes (2023), a taipa caracteriza-se como uma técnica mais adequada à horizontalidade, a pretexto de critérios específicos que as paredes portantes necessitam a nível de índices de resistência mecânica e esbeltez. As relações entre altura, largura, comprimento e espessura devem ser consideradas, devido à fraca resistência que a taipa apresenta à tração, evitando assim situações de risco, como a flambagem (encurvamento ou deformação de um elemento sob carga, nomeadamente pelo esforço de compressão). [Tabela 3]

Sempre que a configuração das paredes de taipa sejam retas, Mendes (2023) aconselha vivamente a colocação de contraventamento (travamento de elementos estruturais - sistema de reforço para aumentar a estabilidade e resistência da estrutura, contra esforços, nomeadamente os horizontais), de modo a prevenir fissuração ou colapso, e preservar a estabilidade estrutural. Sendo a terra um material com baixa resistência à tração, as paredes tornam-se muito suscetíveis aos movimentos fora do seu plano axial. O autor faz destaque para a colocação do contraventamento no eixo vertical e longitudinal do plano da parede.

		taipa classe1 * $0,4MPa < R_{ck} < 1MPa$	taipa classe2 * $1MPa \leq R_{ck} \leq 1,8MPa$	taipa classe3 * $1,8MPa < R_{ck}$	
Espessura [ e ] medida, na horizontal, entre os dois paramentos, sem contar com rebocos	$e_{min}$ n	0,40m	0,35m	0,35m	
Comprimento [ l ] medida, na horizontal, ao longo do plano, entre os topos da parede ou juntas	$l_{max}$	10 x e ( ≤ 5m )	12 x e ( ≤ 5m )	15 x e ( ≤ 5m )	no caso da taipa tradicional (blocos sequenciais e juntas entre eles), este limite está assegurado por essas juntas
	$l_{min}$	3 x e	3 x e	3 x e	três vezes a sua espessura
Altura [ h ] medida, na vertical, entre a base (arranque da taipa) e o topo da parede	$h_{max}$ x	5m <sup>(1)</sup>	6m <sup>(1)</sup> 3,5m <sup>(2)</sup>	7m <sup>(1)</sup> 4m <sup>(2)</sup>	<sup>(1)</sup> $h_{max}$ para o piso térreo <sup>(2)</sup> $h_{max}$ para cada um dos restantes pisos pressupõe a existência de viga ou laje, a cada piso
Número de pisos [ # ] acima do solo, incluindo r/c	$\#_{max}$ x	1	3	5	pressupõe a existência de viga ou laje, a cada piso; caso contrário, o número máximo de pisos é ditado por $h_{max}$
Índice de Esbeltez [ λ ] altura : espessura	$\lambda_{max}$ x	10	12 <sup>(3)</sup> 10 <sup>(4)</sup>	15 <sup>(3)</sup> 10 <sup>(4)</sup>	<sup>(3)</sup> $\lambda_{max}$ para o piso térreo <sup>(4)</sup> $\lambda_{max}$ para cada os restantes pisos

\* São definidas três classes de taipa em função da resistência à compressão [ Rck ]  
Fonte: *CRATerre, Traité de Construction en Terre.*

Tabela 3: Critérios de dimensionamento de paredes portantes de taipa não estabilizada. Fonte [livro] - *Taipa*, 2023, p.49, de Miguel Ferreira Mendes; tabela editada pela autora

Constata-se que a geometria revela ter uma significativa pertinência no que concerne à estabilidade de uma construção, embora não seja por si só suficiente, uma vez que, é preciso assegurar o seu comportamento através do reforço horizontal e vertical. O reforço vertical é responsável por assegurar a integridade estrutural e aumentar a resistência aos esforços de corte, e, para isso, tem de estar devidamente unido à viga de bordadura, limitando que o movimento da flexão ocorra no sentido perpendicular ao plano da parede (deformação). O reforço horizontal destina-se a propagar as forças de inércia e a distribuir melhor os esforços, permitindo reduzir assim as fissuras verticais. (Gomes, Brito, & Lopes, 2008b, p. 6)

Segundo Oliveira *et al.* (2010), uma das estratégias para obter maior ductilidade nas paredes de taipa, e conseqüentemente na resistência à tração, é através de elementos que possuam a função de reforço à tração, tendo em consideração o facto dos materiais que compõem os elementos de reforço sejam compatíveis com a matéria-prima, tal como a madeira e o bambu. Estes elementos são dispostos na vertical e internamente centrados nas paredes de taipa, devendo estar corretamente conectados à fundação e à viga de bordadura.

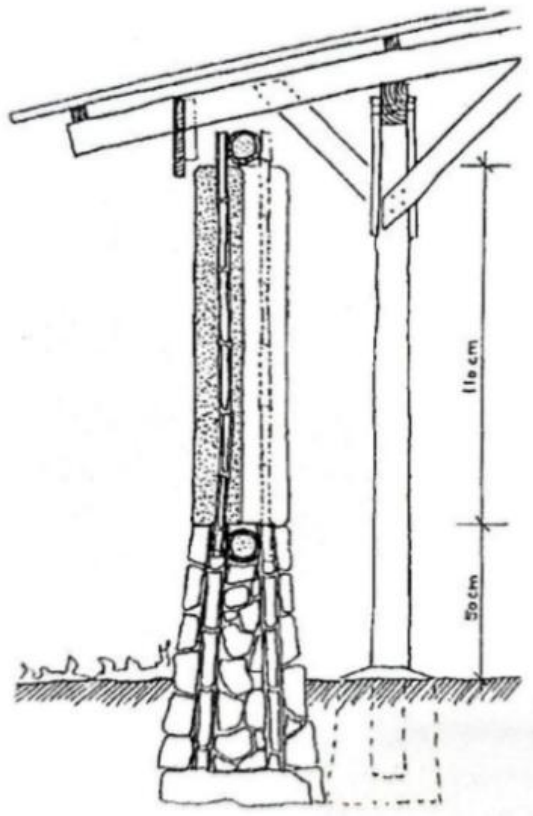


Fig. 55: Reforço estrutural de bamboo no interior das paredes de taipa do protótipo em Guatemala no ano de 1978. Fonte [livro] - *Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*, 2006, p.142, de Gernot Minke

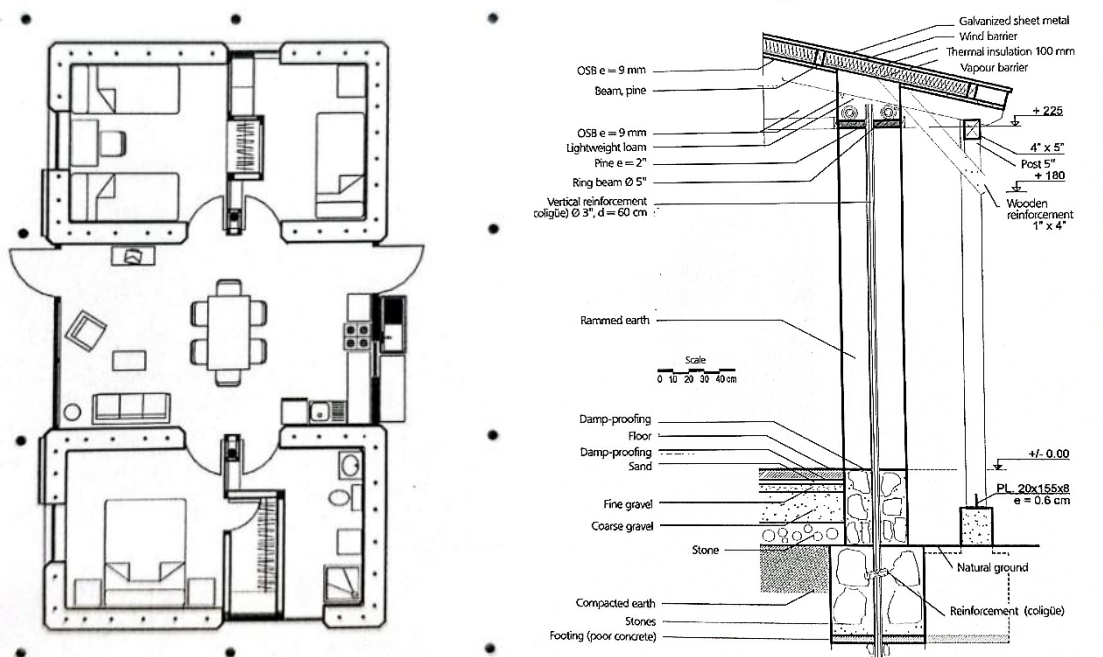


Fig. 56: Reforço estrutural de bamboo no interior das paredes de taipa do protótipo em Alhué, Chile no ano de 2001. Fonte [livro] - *Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*, 2006, p.143, de Gernot Minke

Na construção em taipa as vulnerabilidades a nível estrutural situam-se nas uniões entre elementos, dado que, são das situações mais críticas que comprometem a integridade estrutural do edificado face aos agentes externos, incluindo as ações perpendiculares às paredes induzidas pelas forças sísmicas. Dessas uniões resultam ser, principalmente as seguintes:

- a) **Fundações e paredes:** Tal como Castro (2012) menciona, é importante que as fundações adquiram um travamento adequado e eficaz, e, para tal, convém que a conexão entre as superfícies das fundações e as paredes de taipa não apresentem áreas lisas. O autor ainda alude que uma das estratégias favoráveis de interligação entre as fundações e as paredes é mediante a introdução interna de elementos verticais nas paredes que serão unidos desde a fundação até à viga de bordadura.
  
- b) **Entre paredes (cunhais):** A união entre paredes ortogonais (as esquinas), são zonas onde as forças se concentram com maior intensidade, e uma maneira eficaz de resolver esta questão é reforçando-as através da utilização de contraventamento sob a forma de cunhal, por exemplo com uma pilastra de pedra. (Oliveira et al., 2010, p. 8) De acordo com Castro (2012), os cunhais, na

maioria das vezes, têm como função estrutural por suportar a cobertura, o que resulta ser imprescindível estarem devidamente interligados aos elementos estruturais. Ainda conforme o autor, este exemplifica que pela fragilidade da área dos cunhais é, na maioria das vezes, essencial optar por um reforço de elementos para reduzir o risco de colapso e fissuração, tal como: a madeira, o betão armado e o tijolo cerâmico.

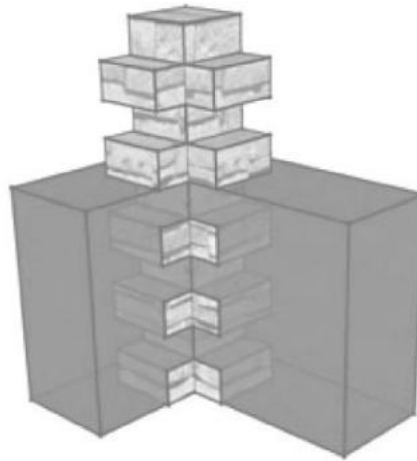


Fig. 57: Exemplificação de um cunhal reforçado por uma pilastra de pedra. Fonte [artigo] - *A Construção em Taipa e os Sismos*, 2010, p.8, de Correia, Varum, & Lourenço. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1822/17615>; imagem editada pela autora

- c) **Juntas:** Entre os blocos de taipa as juntas são zonas vulneráveis às tensões sísmicas, promovendo a fissuração ou a fraca resistência ao corte. Assim, uma maneira de mitigar esta eventual causa, é através da conceção de juntas em rampa (oblíquas), facilitando o deslizamento entre blocos aquando exposto à atividade sísmica, ao contrário das juntas verticais que propiciam na separação destes. (Mendes, 2023, p. 93) Todavia, e uma vez que se trate de juntas horizontais, estas carecem de atrito, sendo, portanto, integrados às paredes de taipa elementos que aumentem a resistência, como telhas, tijolo cozido ou pedra. (Oliveira et al., 2010, p. 9)
- d) **Parede e viga de bordadura:** Esta interligação é substancialmente importante, pois a viga de bordadura (de madeira ou betão armado) é um elemento com função estrutural que recebe e distribui as cargas da cobertura às paredes, cumprindo o dever de estabilizar o edificado. A viga de bordadura deve estabelecer o coroamento das paredes e ser ancorada aos cunhais, de forma a impedir a fragmentação, deslocação ou desmoronamento dos elementos

estruturais. Esta união pode ser executada através de um encastramento de chumbadouros (elementos metálicos similares aos parafusos) que aumenta a sua resistência ao corte. (Parreira, 2007, p. 68; Costa, 2021, p. 27)

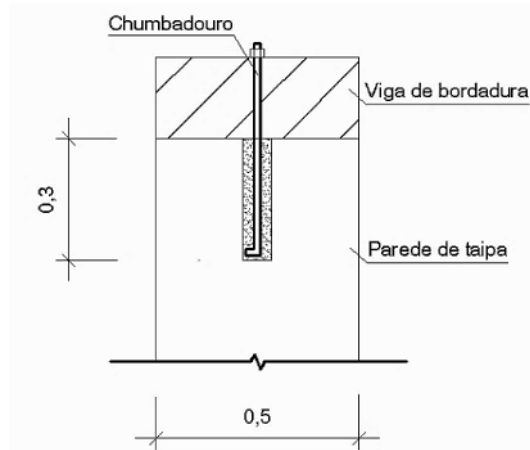


Fig. 58: Representação esquemática da união parede-viga de bordadura através do reforço de chumbadouro. Fonte [dissertação] - Análise Sísmica de uma Construção em Taipa, 2007, p.68, de Daniel Parreira. Disponível em: <https://scholar.tecnico.ulisboa.pt/records/In-zL9sf2uRYgZkS8fZrFGynbHT-NZMTuVuN>

- e) **Paredes e cobertura:** É bastante pertinente que no coroamento das paredes de taipa a união seja sólida entre a cobertura, para permitir uma distribuição uniforme das cargas e garantir a sua estabilidade quando a estrutura está sujeita a ações externas. Por conseguinte, a viga de bordadura é fundamental para cintar satisfatoriamente a junção entre as paredes e a cobertura. (Oliveira et al., 2010, p. 9)

Para além destas uniões, importa referir dois elementos de reforço que potenciam para uma maior estabilidade contra as ações horizontais - os lintéis e os contrafortes. Estes dois elementos ajudam a mitigar e a evitar questões, e paralelamente, aumentam a resistência estrutural, desde que seja garantido uma distribuição uniforme e simétrica dos elementos estruturais.

Os lintéis podem ser constituídos por madeira, betão armado, pedra ou aço, e são frequentemente utilizados para os vãos de portas e janelas, exercendo, essencialmente, a função estrutural na resistência às ações verticais. A alteração do caminho de forças verticais gerado por aberturas implica forças transversais de tração que não podem ser geradas pela taipa. Assim, a introdução desses elementos de madeira, betão, pedra ou aço com capacidade de funcionamento à flexão e à tração confere à estrutura a

capacidade de equilibrar as forças de tração que se geram pela existência de aberturas. De outro modo, os vãos constituem sempre zonas de vulnerabilidades associadas a fissuras que ao longo do tempo progridem para dano relevante. Dependendo da espessura e da largura da parede, estes elementos horizontais atravessam as aberturas e são assentes no interior das paredes de taipa, sendo embutidos, como mínimo, entre 30 e 40 cm nas suas extremidades.

A ligação entre as paredes e os lintéis resultam ser importantes, na medida em que, funcionem como um todo, ou seja, em conjunto. Essa fixação pode ser executada mediante chumbadouros, tal como ocorre entre a viga de bordadura e as paredes, o que resultam ser bastante eficientes. Outro aspeto relevante é pelo facto de os lintéis terem uma ótima resistência aos esforços de tração, e para as paredes que apresentam fragilidades à flexão vertical o ideal é a colocação de lintéis de madeira ou betão armado como resposta a esse problema. (Gomes et al., 2008b, p. 8; Parreira, 2007, pp. 69–71)

Os contrafortes (ou gigantes) são elementos maciços que reforçam as zonas das fachadas que adquirem maior solicitação e reforçam as áreas mais vulneráveis a nível estrutural. O objetivo destes elementos é evitar que as paredes sofram o movimento de rotação para fora do seu plano. (Correia & Carlos, 2015, pp. 69, 75) Os contrafortes encontram-se frequentemente empregues na construção vernácula portuguesa, assim como nas construções de terra, nomeadamente em zonas potencialmente sísmicas, dado que auxiliam na resistência face às ações horizontais (também resultantes dos impulsos laterais, como os arcos, os telhados inclinados e as abobadilhas).

De acordo com Gomes, Brito, & Lopes (2008a) estes elementos revelam ser de grande inércia à qual respondem positivamente aos sismos sob a absorção das cargas horizontais, sendo construídos maioritariamente em alvenaria de pedra. Como já referido, devem ser colocados em zonas críticas para suportar as paredes e otimizar o seu comportamento, tal como na área dos cunhais, com o intuito de reforçar a união entre as paredes.

Parreira (2007) demonstra que os contrafortes com comprimento livre elevado aquando colocados na zona intermédia das paredes em taipa conferem uma forte estabilidade face à ação sísmica, desde que a união entre os contrafortes e as paredes seja devidamente estabelecida. Ainda consoante o autor, este faz referência à torção global do

edificado perante o sismo, isto é, através de uma correta distribuição dos contrafortes pode significar uma aproximação do centro de rigidez com o centro de massa, o que, consequentemente, diminui os efeitos de torção (patologia grave a nível estrutural). Da mesma forma, o autor constatou que o alinhamento dos gigantes com as paredes do edificado pode aliviá-las relativamente a esses esforços, geralmente em situações onde se pretende abrir grandes ou várias aberturas (um dos problemas na construção em taipa).

Constata-se que as deficiências sísmicas das construções em terra derivam, essencialmente, pela baixa resistência mecânica, pelo seu comportamento débil e pelo peso excessivo das construções. (Paulo Lourenço, 2005, p. 190) Por fim, serão referidas de uma forma sucinta as principais características para uma boa conceção estrutural de uma construção (nova) em terra crua (independentemente da técnica construtiva), com ênfase na resistência à atividade sísmica.

- A implantação em zonas inclinadas não é recomendável, assim como se o edificado for robusto deve-se evitar o seu assentamento em solos rochosos (Minke, 2006, p. 136);
- Seleção adequada dos materiais e dos elementos de reforço a incrementar;
- Evitar a execução do edifício com diferentes cotas, assim como a construção em altura, sendo recomendado edifícios de apenas um piso sem exceder os 3,50 m de altura (Costa, 2021, p. 25). De acordo com Paulo Lourenço (2005) o comprimento livre deve corresponder a um mínimo de 10 vezes a espessura da parede (máximo 5 m) ;
- Distribuição uniforme dos elementos estruturais em planta, tendo em consideração que a simetria confere maior resistência;
- O círculo permite uma maior distribuição homogénea dos esforços;
- Fundação firme (uma a duas vezes a espessura da parede e com uma profundidade mínima de 0,40 m), de modo a assegurar a distribuição das cargas permanentes, de evitar a fissuração e de resistir face às ações horizontais

induzidas pelos sismos. As fundações devem ser reforçadas e bem ancoradas, e não devem apresentar diferentes níveis. “Desejavelmente, deveria ainda existir um plinto realizado na mesma alvenaria com uma altura mínima de 0,30 m acima do nível do terreno, acima do qual se coloca uma membrana hidrófuga e, em seguida, a construção em terra” (Paulo Lourenço, 2005, p. 191);

- A espessura mínima das paredes é de 0,40 m (considerando edifícios de um piso);
- Todas as uniões entre elementos são cruciais e devem de ser corretamente adequadas e interligadas, especialmente entre as fundações, paredes e cobertura;
- É deveras importante a incrementação da viga de bordadura sobre todas as paredes, para que estas funcionem em conjunto e aumentem a sua rigidez à flexão vertical (Parreira, 2007, p. 84);
- Os vãos devem de corresponder a pequenas dimensões (largura não deve superar 1,20 m), sendo mais favorável a altura para reduzir as cargas sobre os lintéis. E de acordo com Parreira ( 2007, p. 84), “ a capacidade resistente ao corte das paredes é maior quanto menor for a área de aberturas”;
- A cobertura deve ser o mais leve possível;

Conforme descreve Parreira (2007), a junção de elementos em betão com as paredes de taipa pode conferir à estrutura um melhor comportamento sísmico, contudo a aderência entre estes dois materiais é bastante vulnerável.

Em síntese, *“It is not earth as a building material which is responsible for structural failures, but instead the structural system of a given building and the layout of its openings (...)”* (Minke, 2006, p. 135)

## Capítulo 4

*“If we learn to build with local materials, we have a future (...)”*

Diébédo Francis Kéré

## **4. Construir com a Vulnerabilidade**

O presente capítulo estabelece a transição entre a componente teórica e prática, sob a forma de uma proposta arquitetónica que se articula em plena consonância com todos os capítulos anteriores. Gradualmente, é desenvolvido um protótipo que procura integrar os princípios da sustentabilidade e da resiliência, evidenciando a pertinência da matéria, do material e da técnica face à era contemporânea e aos seus respetivos desafios.

### **4.1 Enquadramento e Objetivos da Proposta**

Partindo da vertente teórica e de acordo com os objetivos da dissertação, surge a necessidade de realizar um protótipo como aplicação prática que procura verificar a viabilidade da técnica perante as condicionantes em contexto contemporâneo. A presente proposta pretende não só demonstrar as suas capacidades ecológicas e técnico-formais, como tenciona dar respostas adaptativas face ao contexto europeu, na medida em que a técnica da taipa assegure uma construção com honestidade de expressão e ética.

Este modelo arquitetónico caracteriza-se como uma habitação unifamiliar, concebido para (cor)responder às exigências e vulnerabilidades de habitabilidade contemporânea. No ponto de vista construtivo, objetiva-se que este projeto tenha a capacidade de ser adaptável e reprodutível a contextos semelhantes, assim como seja uma alternativa viável e idónea face à resiliência climática e a eventos extremos, nomeadamente em territórios suscetíveis à atividade sísmica.

A proposta desenvolvida, sob a perspetiva ambiental, adota um compromisso com a valorização de recursos de materiais naturais e locais, permitindo uma redução de pegada ecológica; bem como, explora os benefícios da matéria-prima e dos restantes materiais complementares, como por exemplo através da inércia térmica obtém-se o conforto hidrotérmico (estratégia passiva).

A habitação é pensada para satisfazer as necessidades atuais, de modo a cumprir os princípios de sustentabilidade e de resiliência estrutural tanto em condições normais de serviço como em cenários extremos, como os sismos ou ventos fortes. Para além da sua capacidade de adaptação a vários cenários, climas e territórios, este protótipo

assegura a dimensão tradicional, uma vez que, resgata a técnica ancestral, integra-a e reinterpreta-a no contexto contemporâneo europeu. Não se propõe “copiar” o passado, mas inspirar-se nele.

A escolha do contexto europeu enquanto enquadramento geográfico para o protótipo, deve-se ao facto de ser, desde a Revolução Industrial, um dos principais continentes que apresenta menor expressão a nível prático, de reconhecimento e de valorização, o que justifica a pertinência deste estudo. Do mesmo modo, a Europa sendo um continente que apresenta zonas de risco sísmico (moderado a elevado), torna-se outro fator importante a considerar, adaptando estratégias arquitetónicas que assegurem a estabilidade do ambiente construído e a respetiva segurança.

Apesar das condicionantes que a técnica e o material apresentam, são consideradas estratégias que garantem e viabilizam a idoneidade do projeto. O presente exercício configura-se na necessidade enquanto investigação no sentido lato, num momento de reflexão crítica face ao papel preponderante da taipa no passado, no presente e no futuro da construção sustentável.

## 4.2 Conceito e Referências

- **Conceito**

O conceito do projeto parte da premissa de “abraçar as vulnerabilidades”, no qual procura demonstrar “que” e “como” a habitação em taipa pode ser adaptada a vários fatores, contextos e fragilidades sem perder a sua integridade sustentável. A ideia base não é exclusivamente proteger, mas aceitar, integrar e adaptar face às condicionantes, mediante os elementos construtivos, a configuração construtiva, e a escolha dos materiais.

Neste sentido, as vulnerabilidades passam a ser incorporadas como ponto de partida do processo construtivo, sendo articulados três principais componentes que estruturam a proposta: material, formal e simbólica.

O domínio material corresponde à sustentabilidade, à integração, à continuidade, à tradição, à humildade e ao respeito pelo ambiente. A habitação é a junção de apenas três materiais simples, naturais e locais - pedra, madeira, terra - que conferem equilíbrio e dinâmica ao sistema construtivo, assegurando conforto e sustentabilidade.

A dimensão formal destina-se à estabilidade, à adaptabilidade, à organização espacial, à flexibilidade, à relação cheio-vazio, e à resposta às condicionantes. No fundo a forma não se limita a questões estéticas, mas como resposta ativa às vulnerabilidades, sejam elas climáticas, topográficas ou a eventos (extremos) inesperados. A forma estabelece a funcionalidade e flexibilidade, estabelece ritmos, proporções, relação interior-exterior, ou seja, traduz-se numa experiência do habitar e no diálogo entre o edificado e a envolvente.

O significado refere-se à memória, à cultura, ao manifesto ambiental e sociocultural, e à valorização do material e da prática construtiva. Esta componente permite de forma integrada o realce entre a tradição e a inovação, e o diálogo entre o passado e o futuro. A forma e a materialidade são dois princípios-chave do protótipo que se fundem e consolidam o modelo com potencial e humildade. O simbolismo e a coerência do projeto vão de acordo com as estratégias adequadas face aos problemas: objetivos – conceito- contexto – estratégias; matéria – técnica – forma.

Estas componentes são essenciais para o projeto, dado que, a seleção dos materiais, a definição da forma e a carga simbólica são os principais guias que estruturam o protótipo numa coerência entre a investigação teórica e a aplicação prática. Mais do que um simples modelo habitacional, é uma reflexão do habitar em resiliência que tenha a capacidade em dialogar com o território, de refletir os valores socioculturais e de se adaptar face às exigências contemporâneas.

- **Referências**

As referências são essenciais para uma reflexão (crítica) arquitetónica e para o desenvolvimento do exercício prático em questão. Neste sentido, e dentro de várias influências que alimentaram as escolhas para a conceção do protótipo, destacam-se duas referências: o protótipo de *Dymaxion House*, em Wichita (Kansas, EUA) de Richard Buckminster Fuller (n.1895 - m.1983); e as obras escultóricas de Richard Serra (n.1938 - m.2024), nomeadamente as esculturas *Torqued Ellipses*, *Cycle*, *Inside Out*, *Band* e *Torqued Spiral*.

*Dymaxion House, Wichita, Kansas (1944-46)*

*Dymaxion* é um protótipo utópico de habitação circular que deriva da junção de palavras “*dynamic*”, “*maximum*” e “*tension*”, - habitação dinâmica, com máxima eficiência e tirando partido da estrutura. Um dos principais objetivos de Fuller, era obter o máximo de benefício de tipologia com o mínimo de consumo de energia, tendo a possibilidade de o espaço evoluir consoante as necessidades. O modelo procurava responder aos desafios pós-Segunda Guerra Mundial, no sentido de ser uma proposta eficiente, adaptável e leve, assim como era pretendido a otimização dos recursos e a proteção contra intempéries (ventos extremos), sismos e incêndios.

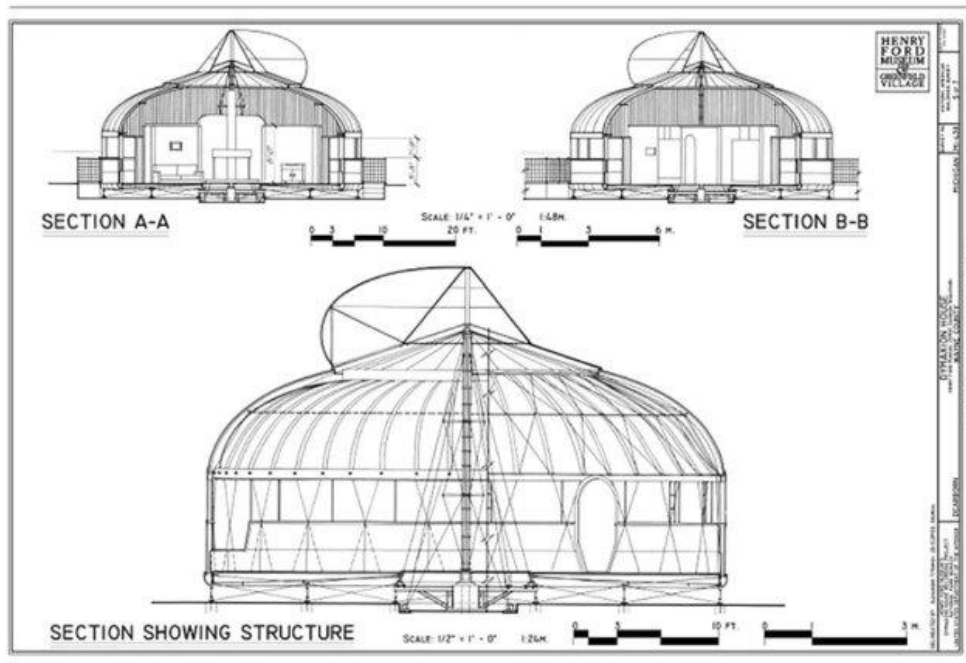


Fig. 59: Secções do protótipo *Dymaxion*. Fonte [artigo] - *Buckminster Fuller's Dymaxion House as a Paradigm for a Space Habitat*, 2020, p.13, de Marc Mitchell Cohen e Anastasia Prosina. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/346690422\\_Buckminster\\_Fuller%27s\\_Dymaxion\\_House\\_as\\_a\\_Paradigm\\_for\\_a\\_Space\\_Habitat](https://www.researchgate.net/publication/346690422_Buckminster_Fuller%27s_Dymaxion_House_as_a_Paradigm_for_a_Space_Habitat)

Os protótipos de Fuller seguiam os princípios da geometria, e neste caso em particular, adotou a forma circular, o que rompeu com o arquétipo tradicional da habitação unifamiliar da época. O núcleo para além de ter uma função estrutural, encontra-se ao centro da habitação, permitindo uma maior eficiência dos espaços, a ventilação ser natural e uma melhor distribuição das infraestruturas técnicas (sanitários, cozinha). Esta organização espacial permite uma planta flexível e reconfigurável, no sentido de se adaptar às necessidades dos moradores. Da mesma forma, a geometria circular favorece a eficiência energética, dado que, uma forma compacta exige uma quantidade menor de energia para o aquecimento/arrefecimento do ambiente interior.

O mobiliário foi pensado para ser parcialmente integrado à estrutura e as divisórias para serem leves, maximizando o aproveitamento dos espaços e simplificar a utilidade de cada compartimento.

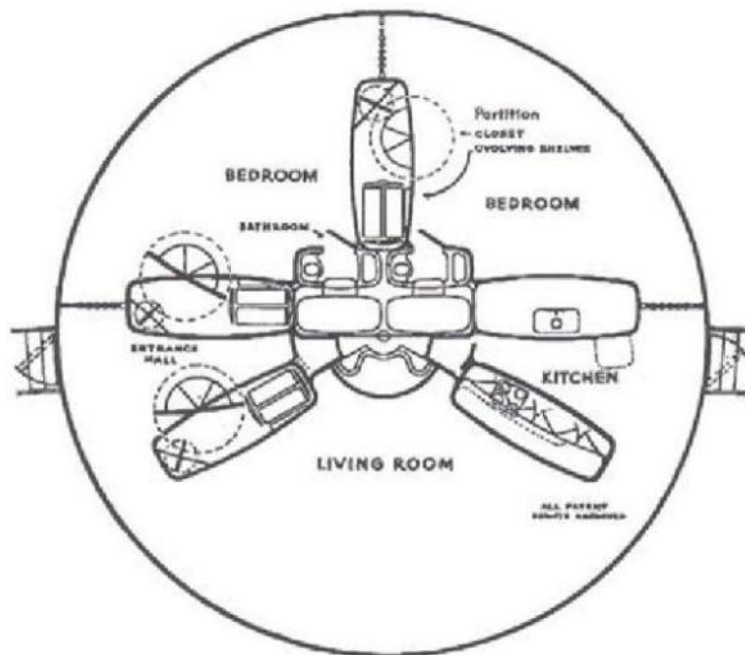


Fig. 60: Planta de piso do protótipo *Dymaxion*. Fonte [artigo] - *Buckminster Fuller's Dymaxion House as a Paradigm for a Space Habitat*, 2020, p.4, de Marc Mitchell Cohen e Anastasia Prošina. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/346690422\\_Buckminster\\_Fuller%27s\\_Dymaxion\\_House\\_as\\_a\\_Paradigm\\_for\\_a\\_Space\\_Habitat](https://www.researchgate.net/publication/346690422_Buckminster_Fuller%27s_Dymaxion_House_as_a_Paradigm_for_a_Space_Habitat)

*Dymaxion House* foi uma referência relevante para o desenvolvimento desta componente prática, devido a como Fuller encarava a habitação enquanto um sistema integrado, isto é, capaz de responder aos desafios tanto sociais quanto ambientais. Um dos pressupostos para o protótipo habitacional, desenvolvido para esta dissertação, é dar resposta às exigências e condicionantes contemporâneas, nomeadamente das alterações climáticas, da resiliência estrutural e da sustentabilidade. Contudo, a eficiência e a organização espacial foi, de facto, um aspeto determinante que se destacou durante a análise deste projeto, motivando o modelo habitacional em taipa a adotar os fundamentos de uma habitação funcional, simples e adaptada ao contexto.

Neste sentido, *Dymaxion House* foi importante não pelo resultado, mas devido ao seu processo de idealização, ou seja, pensar a habitação de maneira a abraçar as vulnerabilidades, sem colocar em causa a sua eficiência e funcionalidade. Assim, torna-se crucial para sustentar o projeto final como protótipo adaptativo de habitar em resiliência.

### Esculturas de Richard Serra

As obras escultóricas de Richard Serra, um dos escultores contemporâneos mais reconhecidos, persuadiram, por outro lado, uma reflexão crucial face à materialidade e à experiência sensorial para a presente proposta. As suas esculturas permitem ao espectador uma relação entre o corpo e o espaço, garantindo uma vivência através do objeto.



Fig. 61: Escultura *Cycle*, 2011. Fonte [internet] Disponível em: <https://www.artsy.net/article/artsy-editorial-how-richard-serra-changed-the-course-of-public-art>

Consoante se percorrem os espaços, a percepção do espectador vai modificando em virtude da geometria defina. Assim, a densidade, a escala, o peso e a forma moldam a experiência de cada espaço, acentuando um forte diálogo entre o indivíduo, o contexto, a escultura e a envolvente. Verifica-se que o autor desafia a gravidade, através da lógica do material (peso, rigidez, equilíbrio) e da sua forma.

Nesta perspetiva, há uma intensificação da noção de durabilidade e de intemporalidade do material e da percepção individual, isto é, as obras de Serra são mais do que eficiência ou funcionalidade, mas uma experiência imersiva, sensível e sensorial, resgatando a curiosidade num ato de descoberta contínua através da expressão formal e conceptual. Independentemente da passagem do tempo, as esculturas têm a capacidade de provocar novas e diferentes sensações e interpretações.



Fig. 62: Escultura *Inside Out*, 2013. Fonte [internet] Disponível em: <https://heromagazine.com/article/254361/remembering-the-monumental-work-of-richard-serra>

Em suma, denota-se um contraste entre as duas referências, mas que refletem ideias muito enriquecedoras para o protótipo da taipa: a primeira, simboliza adaptabilidade, leveza, inovação, funcionalidade e organização espacial; a segunda, evoca a materialidade, a experiência, a intemporalidade, e a densidade. Ambas são essenciais para ampliar o conceito do projeto, pois é pretendido um consenso entre a eficiência espacial e ambiental, com a presença material e simbólica da construção da taipa. Posto isto, reforça a ambição de conceber uma proposta que não se limite a ser “apenas” funcional ou uma “resposta” técnica, mas pretende contribuir para uma reflexão sobre o modo de habitar no hoje e no amanhã.

Pretende-se que este seja um modelo adaptativo que reconhece as fragilidades e condicionantes face à realidade contemporânea, capaz de abrir novos horizontes na forma de construir e de habitar, em que as vulnerabilidades sejam reconhecidas como oportunidades, onde a arquitetura desempenha um papel fundamental e comprometedor a nível social e ambiental.

### 4.3 Evolução Formal e Programa

- **Evolução da Forma**

A definição da forma do protótipo partiu da análise de investigação teórica e de um completo de esboços com base numa experiência em figuras geométricas elementares e curvas. A partir da investigação da componente teórica verificou-se que as formas curvas são mais estáveis que as planas face à resistência a esforços horizontais e a solicitações externas, induzidos, por exemplo, por um sismo e ventos fortes. Neste sentido, recorreu-se de imediato a uma experimentação com linhas curvas simples (“S”, “8”, “3”), tal como se pode observar nas figuras abaixo. Estas configurações geométricas foram testadas como alternativas mais resistentes.

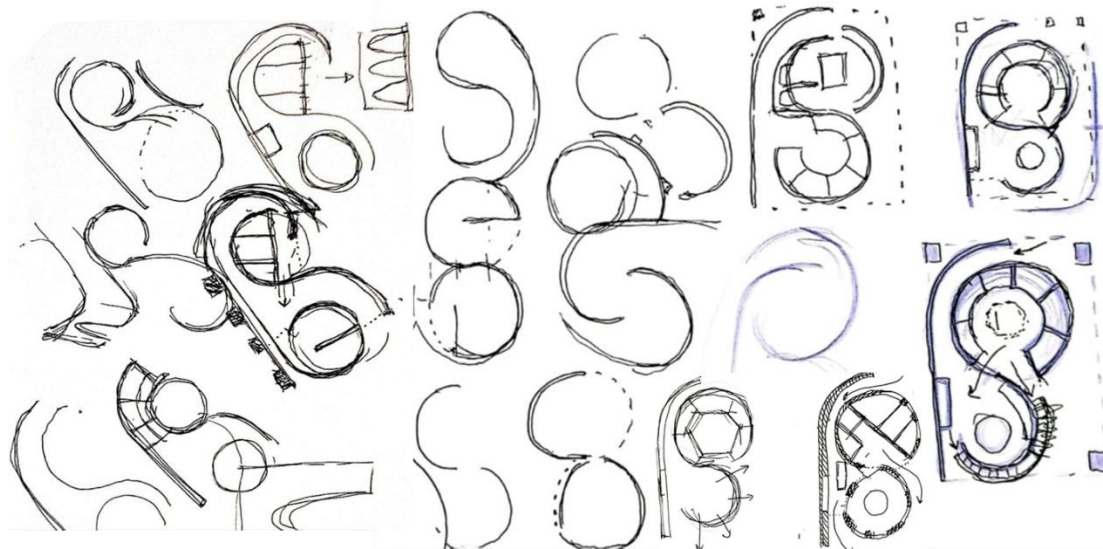


Fig. 63: Esboços da evolução da forma. (A autora, 2025)

Desde os primeiros estudos e esboços, que a geometria e a proporção assumem um papel fulcral, não somente como linhas orientadoras de ordem e harmonia, mas também como premissas essenciais para a estabilidade estrutural. A forma foi o fio condutor para o resultado arquitetónico.

Paralelamente, outro objetivo, como já referido, para o desenvolvimento deste protótipo foi aceitar e acolher as vulnerabilidades inerentes ao contexto, adaptando e transformando essas condicionantes em oportunidades de desenho. Posto isto, denota-se que as primeiras tentativas de paredes foram concebidas como elementos de proteção, tentando sempre envolver e reforçar a forma curva, atuando como um elemento protetor

e garantir estabilidade. Este princípio alia-se, também, de forma “discreta”, a um dos objetivos da sustentabilidade – a simplicidade formal.

A definição formal do protótipo baseia-se igualmente na função da tecnologia construtiva, ou seja, cada material (naturais e locais) assume um papel específico na ordem construtiva: a taipa destina-se à configuração escultórica das paredes, moldando o espaço; a pedra tem como função estrutural, garantindo estabilidade e proteção; a madeira atua como elemento de compartimentação secundária e de elemento que cobre/protege.

- **Contexto de Implantação**

O modelo habitacional é desenvolvido num contexto europeu em sentido lato, isto significa, que não tem uma localização concreta, de maneira a permitir que seja um exercício prático com uma abordagem abrangente e adaptável. O fundamento desta escolha baseou-se pelo facto de a Europa ser um dos continentes onde a construção em terra crua é desvalorizada enquanto técnica, prática e na ausência de regulamentação específica.

Dado que a construção em terra crua, nomeadamente em taipa, revela algumas lacunas, pretende-se que na presente dissertação seja colmatada. No âmbito de propor uma reflexão sobre a sua viabilidade, potencialidade e pertinência da taipa em questão, mediante o modelo experimental de habitação unifamiliar, visa-se circunscrever o protótipo num contexto de adaptabilidade, sustentabilidade e resiliência, independentemente dos distintos climas, culturas e territórios.

Esta metodologia permite explorar o conceito de “abraçar as vulnerabilidades” e responder às condicionantes a partir de estratégias, reafirmando a taipa como um forte potencial e fundamental ao panorama contemporâneo europeu. Não obstante, a inovação caracteriza a presente proposta, no sentido de como são reinterpretados os materiais, as formas e as técnicas tradicionais segundo o fator da sustentabilidade. Esta inovação não depende de tecnologias complexas ou de novos materiais, mas da consciência ambiental e do conhecimento tradicional.

- **Organização Programática**

A organização programática do modelo habitacional estrutura-se em duas áreas principais: social e privada. As duas áreas encontram-se circunscritas na forma escultórica do “S”, e cada uma possui um núcleo central que articula os espaços circundantes de modo a gerar hierarquia e continuidade. A zona privada incorpora os quartos, casas de banho, lavandaria e arrumos, porém o núcleo, beneficiado pela iluminação natural da claraboia, só dá acesso aos quartos e a uma casa de banho, garantindo uma maior privacidade aos moradores. Quanto à área social, esta alberga: salas de estar e de jantar, escritório, cozinha e dois compartimentos polivalentes; estando a lareira no ponto que convergem todas áreas sociais. A lareira encontra-se a uma cota inferior para transmitir o termo de “acolhimento” e “segurança”, à qual também enfatiza a socialização e conexão entre moradores e entre possíveis visitas.

Desde os esboços iniciais que se procura compartimentar os espaços com alguma riqueza espacial e coerência de fluxos, e, por conseguinte, foi estipulado linhas diagonais (aludem a uma espécie de estrela) que convergissem em cada núcleo. As linhas diagonais são painéis de madeira (alguns móveis) que limitam os espaços e intensificam a composição arquitetónica, sem quebrar a fluidez do espaço e permitindo a transição natural entre áreas e compartimentos.

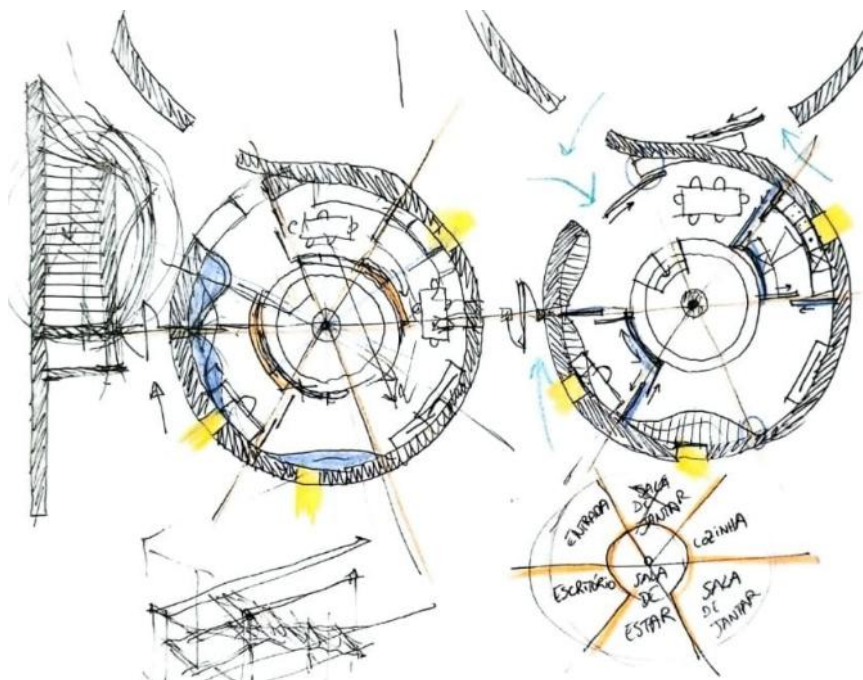


Fig. 64: Organização dos espaços sociais. (Autora, 2025)

A habitação tem três possíveis acessos principais, sendo que duas das possíveis entradas situam-se no intervalo entre o muro de pedra e as paredes curvas em taipa, isto é, o hall de entrada. O hall é um espaço de transição entre interior-exterior, acessível pela frente e pela retaguarda, que destaca o intervalo entre dois materiais, duas formas e duas funções - a pedra e a taipa. Sobre o hall de entrada encontra-se uma varanda independente, apoiada apenas à estrutura autónoma da cobertura, com visibilidade para o exterior. A diferença de cota entre a cobertura e a parede estrutural em pedra, permite uma experiência distinta dos espaços da habitação, pois serve como um lugar de contemplação e introspeção, um contacto direto com exterior.

#### – Estratégias dos Espaços e de Uso

O protótipo integra estratégias de flexibilidade programática, uma vez que permite que o espaço tenha a possibilidade em se adaptar consoante as necessidades e/ou vontades dos moradores. As configurações dos painéis de madeira possibilitam na divisão e compartimentação de espaços secundários, sendo alguns dos painéis são móveis.

Na área mais privada da habitação unifamiliar, os painéis de madeira não são projetados para aumentar ou diminuir as compartimentações por dois motivos: o primeiro deve-se à justificação da área ser reservada e neste sentido entendeu-se que não deve ser manipulada, para que o conforto e a intimidade estejam sempre garantidas; o segundo motivo é justamente pela necessidade em afastar as casas de banho das paredes de taipa (devido à fragilidade com a água e a humidade), adquirindo uma maior preservação e qualidade do material.

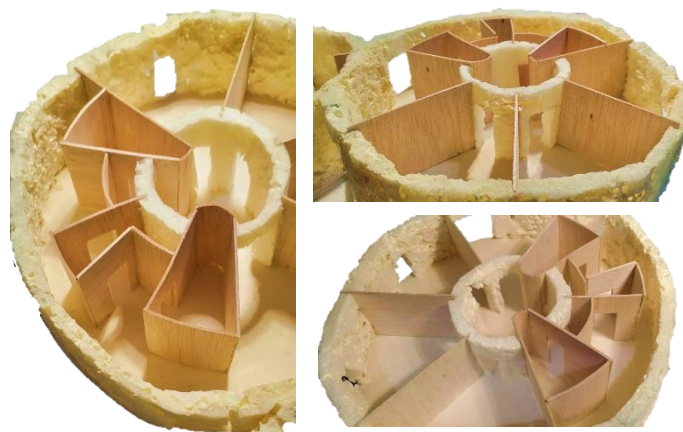


Fig. 65: Maqueta de estudo. Fluxos e organização da área privada. (Autora, 2025)

Quanto à área social, os painéis de madeira têm a finalidade de se adaptarem e de reorganizar o(s) espaço(s), sendo responsáveis em criar a noção de profundidade e a função de cada divisão, isto é, permite que os compartimentos adquiram uma maior interatividade ou privacidade, e/ou uma maior dinâmica dos espaços entre si. A percepção de profundidade é pontualmente definida pelos painéis móveis, enquanto o núcleo garante a coesão do conjunto e reforça a simbologia e significado à experiência do habitar, - o fogo, a lareira, o acolhimento.

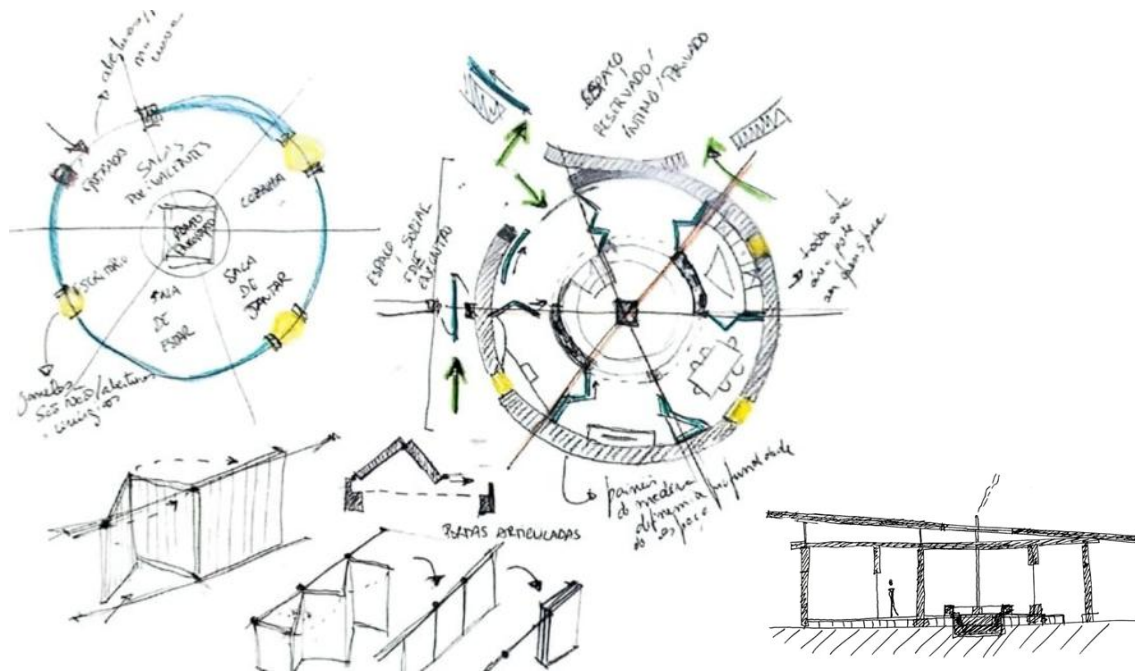


Fig. 66: Esboços da organização da área social. (Autora, 2025)

As aberturas foram pensadas com rigor, assumindo o carácter cirúrgico, pois tanto a sua posição e dimensão devem-se à necessidade em garantir iluminação e ventilação aos espaços que necessitam, sem que a integridade estrutural das paredes de taipa seja comprometida. Por esta razão, as janelas são pontualmente colocadas, reforçando também o carácter introspectivo da habitação. Todos os vãos que estão inseridos nas paredes curvas são acompanhados por painéis (curvos) de correr, substituindo os elementos convencionais, como cortinas e estores. Assim, estes painéis permitem não só controlar a luz direta e a relação com o exterior, mas simplificam a construção e intensificam a força escultórica. Estas diferenças de expressão intensificam a “escultura arquitetónica”, a diferença entre materiais, e a percepção sensorial dos espaços, sendo notório através dos cheios-vazios, interior-externo e luz-sombra.

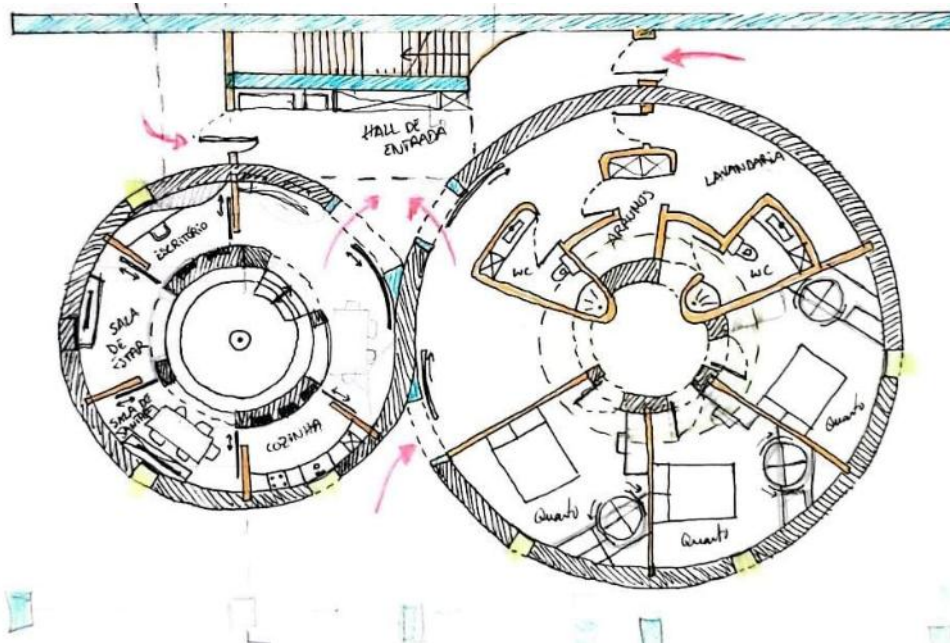


Fig. 67: Estudo da planta de piso térreo. (Autora, 2025)

Relativamente aos fluxos, um dos principais objetivos é auferir continuidade entre as áreas privada e social, e assegurar uma continuidade equilibrada entre o interior e o exterior. A curva central do “S” funciona como elemento de transição que interliga os espaços sociais e os mais privados. Os restantes acessos que dão entrada para o interior da escultura em taipa encontram-se posicionados apenas nas terminações das curvas e na ligação entre os dois círculos. A seleção das reentrâncias deve-se aos seguintes objetivos: garantir maior estabilidade e simplificação construtiva; valorizar a experiência sensorial do movimento (descoberta e curiosidade); e dar continuidade às curvas da peça escultórica em taipa, sem “danificar” a forma base do “S” (ordem conceptual). Todos os vãos, portas e janelas, estão reforçados por lintéis de pedra, de maneira a garantir estabilidade e durabilidade às paredes de taipa.

Nos quartos, seguindo a lógica da própria planta do piso térreo e aliada à geometria simples, os roupeiros apresentam um modelo original, no qual é integrado módulos giratórios que se destinam a peças de maior comprimento. Por influência do mobiliário da referência de *Dymaxion House*, um dos objetivos para o protótipo de taipa era promover também a eficiência dos espaços, e consequentemente, foram desenhados volumes especificamente para o contexto formal do projeto. Os roupeiros foram concebidos no sentido de acompanhar a lógica construtiva, na otimização de circulação

nos quartos e o aproveitamento desses espaços, evitando, assim, os móveis convencionais (desnecessários para o caso em questão). Esta intenção advém de um exercício que pretende conciliar a forma e o uso.

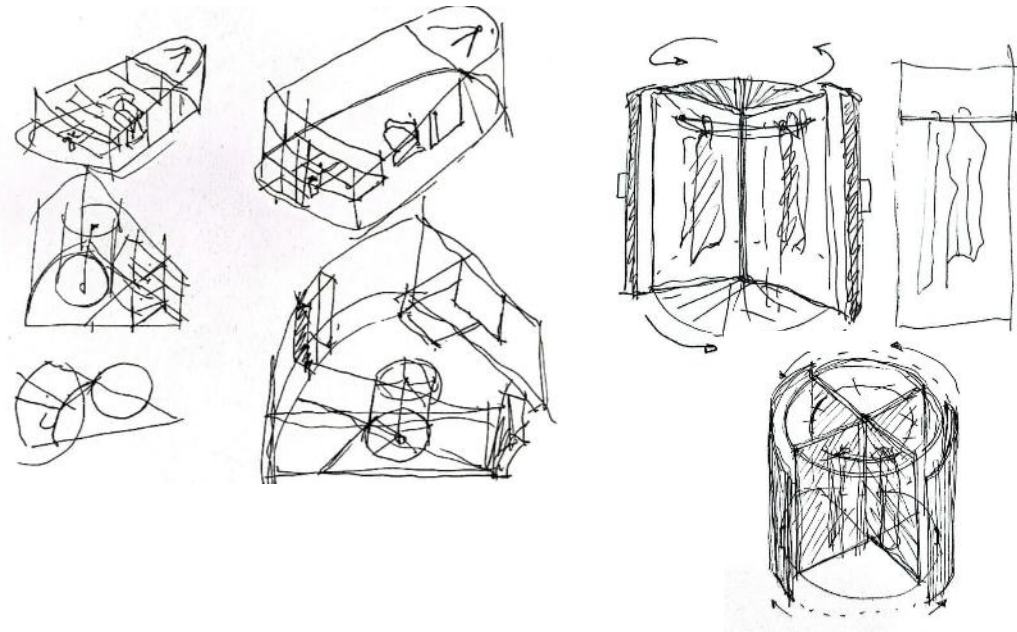


Fig. 68: Esboços do roupeiro giratório. (Autora, 2025)

## 4.4 Materiais, Estrutura e Sustentabilidade

### – Materiais

O protótipo habitacional recorre a três materiais naturais compatíveis e que são disponíveis localmente: a terra crua, a madeira e a pedra. Para este protótipo é importante a tecnologia construtiva, em que cada material corresponde à sua função. Os três elementos têm a capacidade de adaptação face a diferentes contextos geográficos e climáticos.

A terra constitui o material predominante, traduz-se em massa, escultura, inércia térmica, conforto, humildade, sustentabilidade, identidade e salubridade. A partir da técnica da taipa, a terra crua define a forma principal da habitação, permitindo total liberdade criativa. Independentemente das distintas condições climáticas, as paredes de taipa asseguram o conforto interior devido à sua inércia térmica, dado que, têm a capacidade em regular a humidade relativa.

A pedra corresponde à estabilidade estrutural, permitindo uma maior resistência, equilíbrio e durabilidade. Encontra-se presente, e pontualmente, nos elementos onde é necessário “ancorar” e “resistir” dos fatores externos, de modo a proteger e reforçar as paredes de taipa. Seguindo o pensamento da escassez de recursos e o impacto ambiental, considerou-se que para a construção desses elementos estruturais se deveria de recorrer à pedra a partir de excedentes locais, como a pedra seca, pois os materiais irregulares têm o mínimo de processamento. Esses elementos correspondem aos pilares, muro, base e fundação da habitação, coroamento das paredes de taipa e lintéis para os vãos.

A madeira complementa o sistema construtivo, sendo empregue na cobertura e nas compartimentações secundárias. Este material transmite flexibilidade, modularidade, leveza, simplicidade e adaptabilidade ao conjunto. A madeira tem a vantagem de tornar o ambiente interior mais acolhedor, na medida em que, a madeira é um elemento intermediário que modera e equilibra entre a densidade da taipa e a dureza da pedra. Tal como a pedra e a terra, a madeira é um recurso amplamente disponível, o que facilita na replicabilidade do modelo a diferentes contextos geográficos (tanto a nível cultural quanto climático).

Estes três materiais evocam um vínculo entre si e o ambiente, e contribuem para a junção sensorial e funcional dos espaços. É a entrega do edificado ao terreno, seja ele qual for.

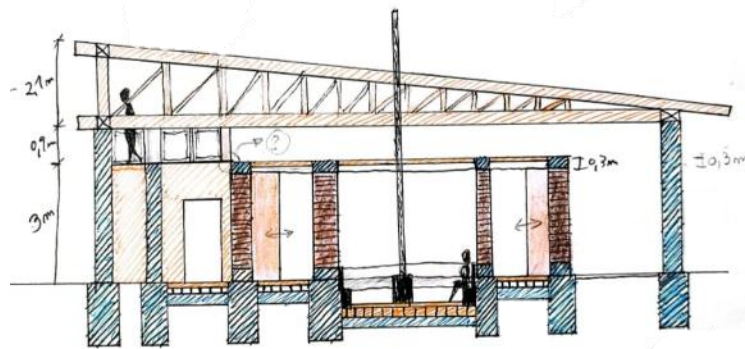


Fig. 69: Secção transversal e representação da materialidade e respetiva função. (Autora, 2025)

## - Estrutura

É na estrutura que o princípio de “abraçar a vulnerabilidade” se manifesta com maior intensidade, uma vez que reconhece as condicionantes não como limitações senão como oportunidades. Assim a conceção da estrutura parte do princípio de dar resposta resiliente a situações imprevistas, mediante a arquitetura.

Em virtude das possíveis condicionantes, o sistema construtivo adotou um dos lemas cruciais para o desenvolvimento deste documento: construir a partir de umas “boas botas e de um bom chapéu”.

**Botas:** Para além da forma que a escultura da taipa exhibe, foi importante adotar certos elementos estruturais para aumentar a estabilidade e resiliência do conjunto a partir da pedra, como: as fundações que resistem à instabilidade do solo e à (possível) atividade sísmica; o embasamento que protege contra a humidade ascendente e a erosão pela chuva; e o coroamento superior (cinta de travamento) que garante a estabilidade das paredes. Apesar da terra ter uma menor resistência mecânica comparativamente a outros materiais, esta, por sua vez, não significa que não funcione, ou que comprometa a integridade estrutural, basta complementar o sistema construtivo com outro material mais resistente (como a pedra), ou até uma cobertura adequada (como a cobertura autónoma).

**Chapéu:** Uma vez que o protótipo é pensado para situações imprevisíveis, como a atividade sísmica, foi concebido uma cobertura autónoma e independente do volume da taipa. Esta cobertura de uma água, é composta por seis asnas de madeira (lamelada colada), que sustentam toda a estrutura de madeira e o revestimento com telha cerâmica tradicional (adequada ao contexto europeu e com facilidade de acesso). A inclinação varia consoante a zona a intervir, em caso de o território ser suscetível à neve, esta, por sua vez, pode ser aumentada sem qualquer dificuldade construtiva. Para além disso a estrutura, enquanto autónoma, permite que o volume da taipa não seja sobrecarregado e, simultaneamente, consegue protegê-la perante ações externas (como ventos fortes, neve, chuva, sismos). Esta estrutura de madeira é assente no muro e nos seis pilares de pedra.

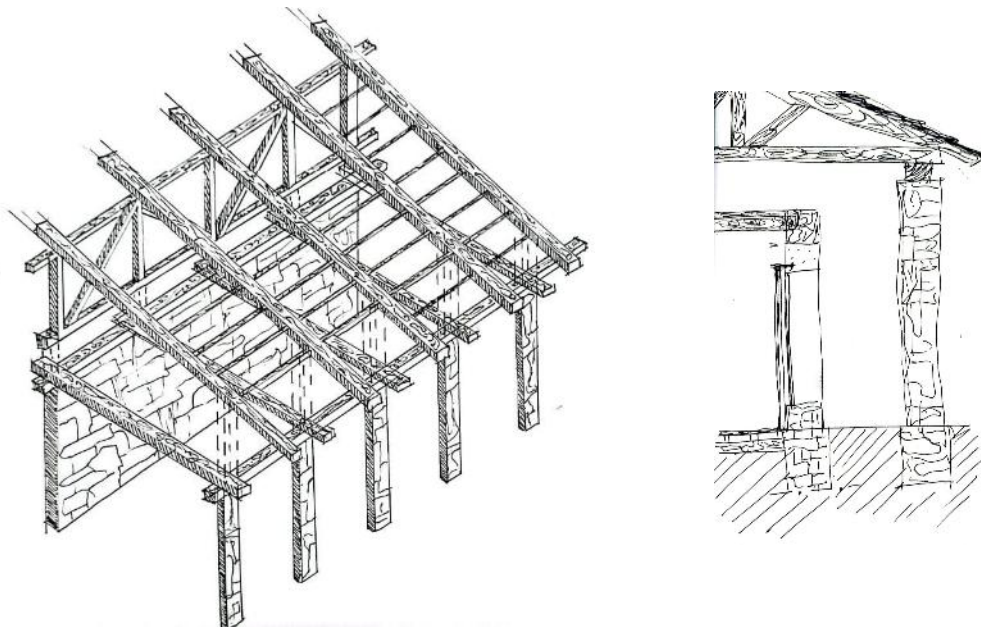


Fig. 70: Esquissos da cobertura autónoma. (Autora, 2025)

### – Sustentabilidade e Desempenho Estrutural

A sustentabilidade é uma das chaves cruciais para a parte teórica da investigação, assim como para o desenvolvimento do protótipo. É pensada como um princípio estruturante que orienta as decisões materiais, formais e construtivas; e não como um complemento ao processo construtivo. É pretendido resolver uma questão, e a sustentabilidade também se trata de resolver problemas.

Os três materiais que constituem o modelo habitacional (terra, madeira e pedra) são recursos naturais, locais e de baixo impacto ambiental. E, sendo a sustentabilidade a chave para solucionar muitas das questões em estudo, é pretendido que os materiais sejam aplicados na sua forma mais pura (sem aditivos químicos) e com mínimo de processamento, assegurando a sua máxima eficiência e contribuindo para a redução da pegada ecológica. Esta ausência de aditivos e de processamentos químicos e industriais não significam fragilidade, mas uma alternativa consciente e inteligente, pois cada material desempenha a sua função de forma eficiente sem a necessidade de intervenções desnecessárias e injustificadas.

As estratégias passivas asseguram o desempenho ambiental da proposta, dado que: a inércia térmica da taipa regula a temperatura do ambiente interior de forma natural; a cobertura autónoma permite a ventilação cruzada; e o embasamento em pedra protege contra as infiltrações.

O protótipo da habitação unifamiliar é simples em todos os aspetos, desde as “botas” até ao “chapéu”, desde os materiais até ao sistema construtivo, - cobertura, paredes, divisórias, materiais, estrutura, fundações, vãos, entre outros. Esta consciência reconhece a simplicidade (construtiva) como uma das expressões mais autênticas no tema da sustentabilidade, porque simplicidade também é sustentabilidade, e consegue ser uma resposta eficaz às exigências contemporâneas.

A proposta, enquanto modelo habitacional para o contexto europeu, tem a capacidade em ser adaptável a diferentes climas, culturas e topografias, através:

- Materiais. Possibilidade de acesso, e disponível em praticamente todo o continente europeu;
- Simplicidade construtiva;
- Facilidade de integração com a envolvente;
- Adaptável às especificidades culturais e sociais;
- Compatibilidade com distintas condições climáticas;

- Estabilidade estrutural. Consegue resistir a ventos fortes, e a sismos de intensidade moderada.

A sustentabilidade fortalece o ambiente construído e é uma resposta ativa às vulnerabilidades: climáticas, sociais, ecológicas, sísmicas, etc. Em vez de rejeitar as condicionantes, muitas vezes imprevisíveis, como a força da natureza, o protótipo abraça, acolhe e adapta-se a elas. Por isso, os materiais, as técnicas e as práticas são explorados e valorizados enquanto oportunidades de inovação e para uma abordagem arquitetónica mais resiliente. O projeto demonstra como é possível construir com ética, resiliência e consciência, valorizando e preservando a História, a sociedade e a Natureza. Em síntese, o protótipo atinge equilíbrio entre a Natureza, a Humanidade, a História e a inovação.

## 4.5 Representação Gráfica

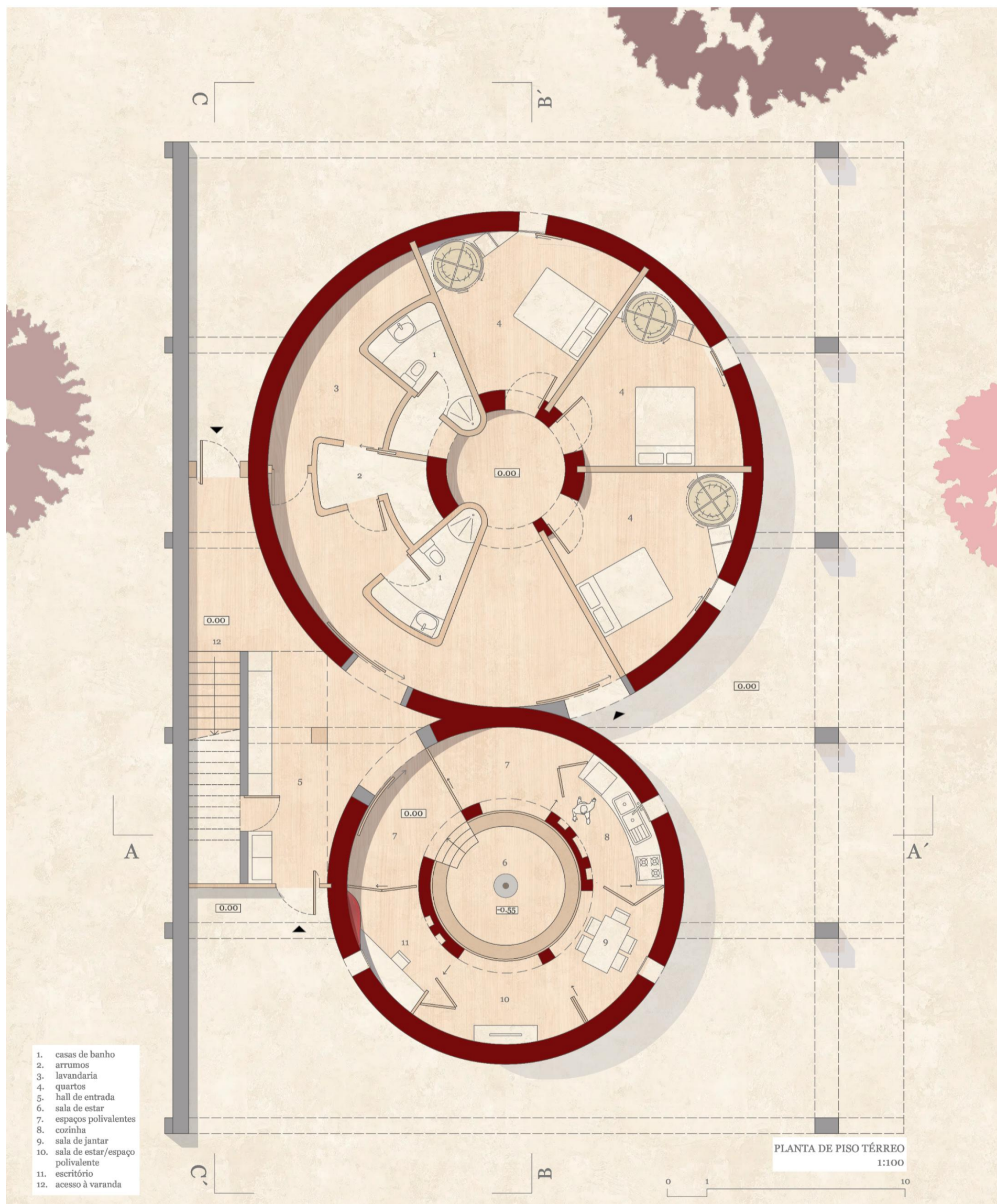


Fig. 72: Planta de piso térreo. (Autora, 2025)

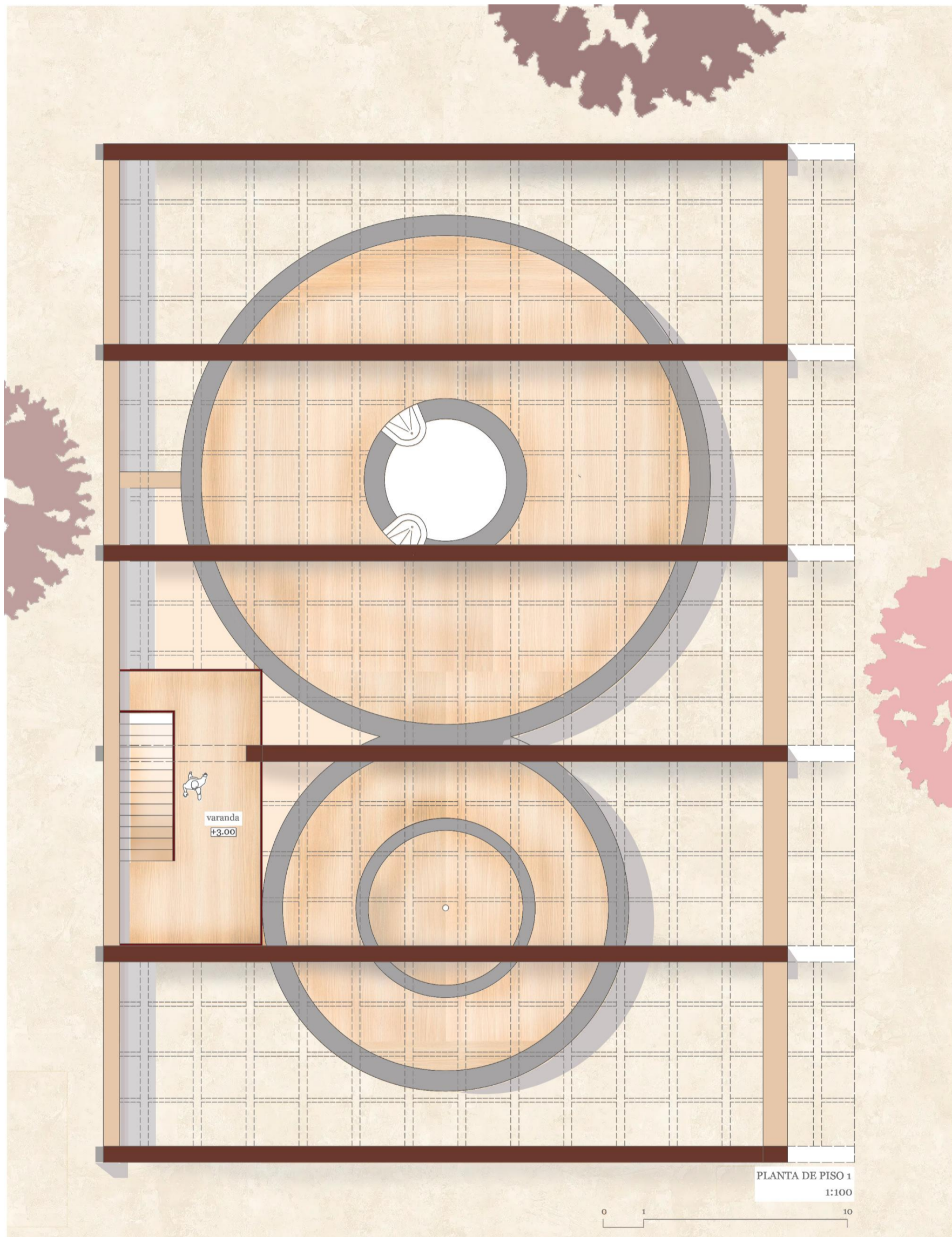
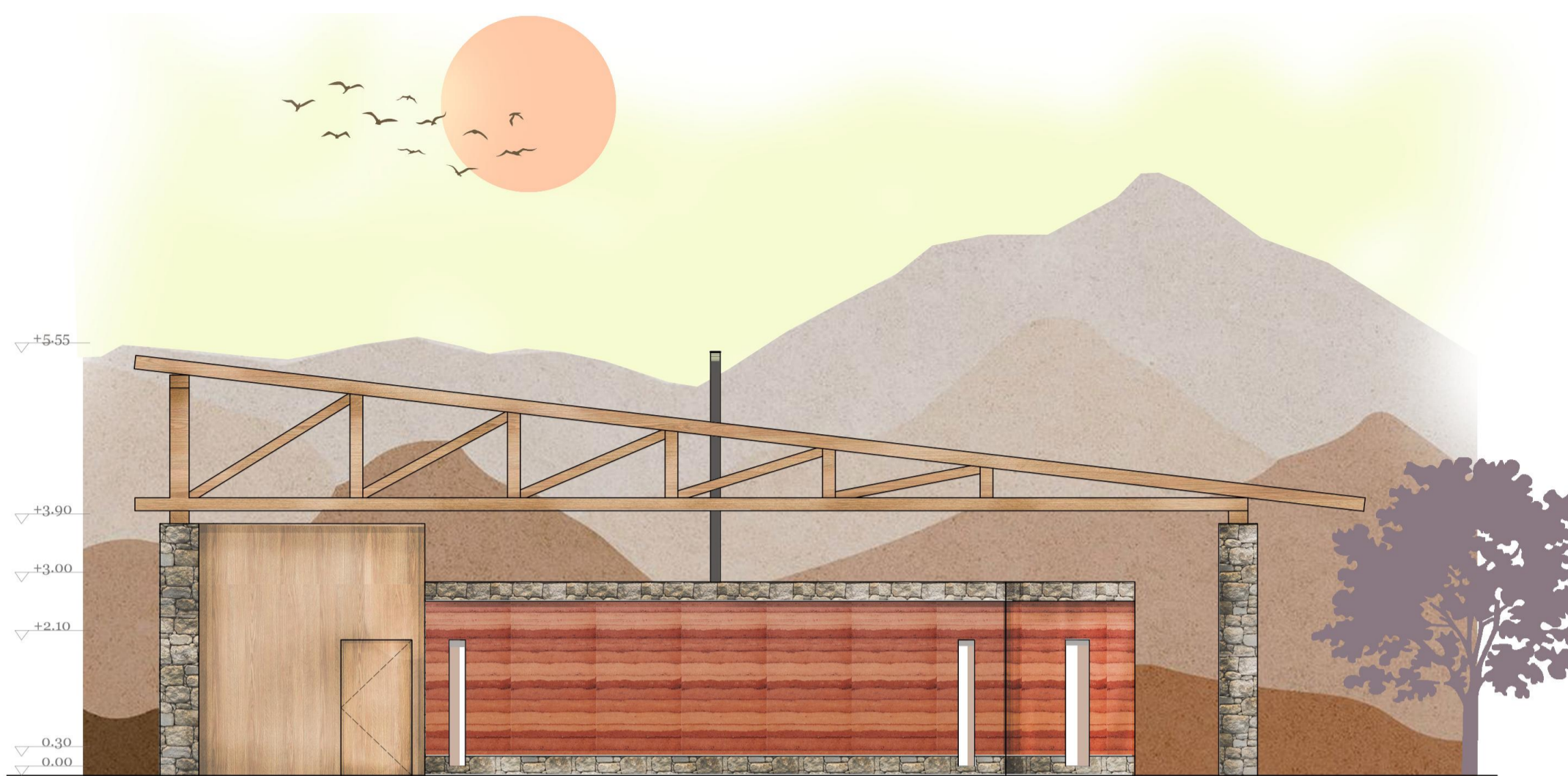
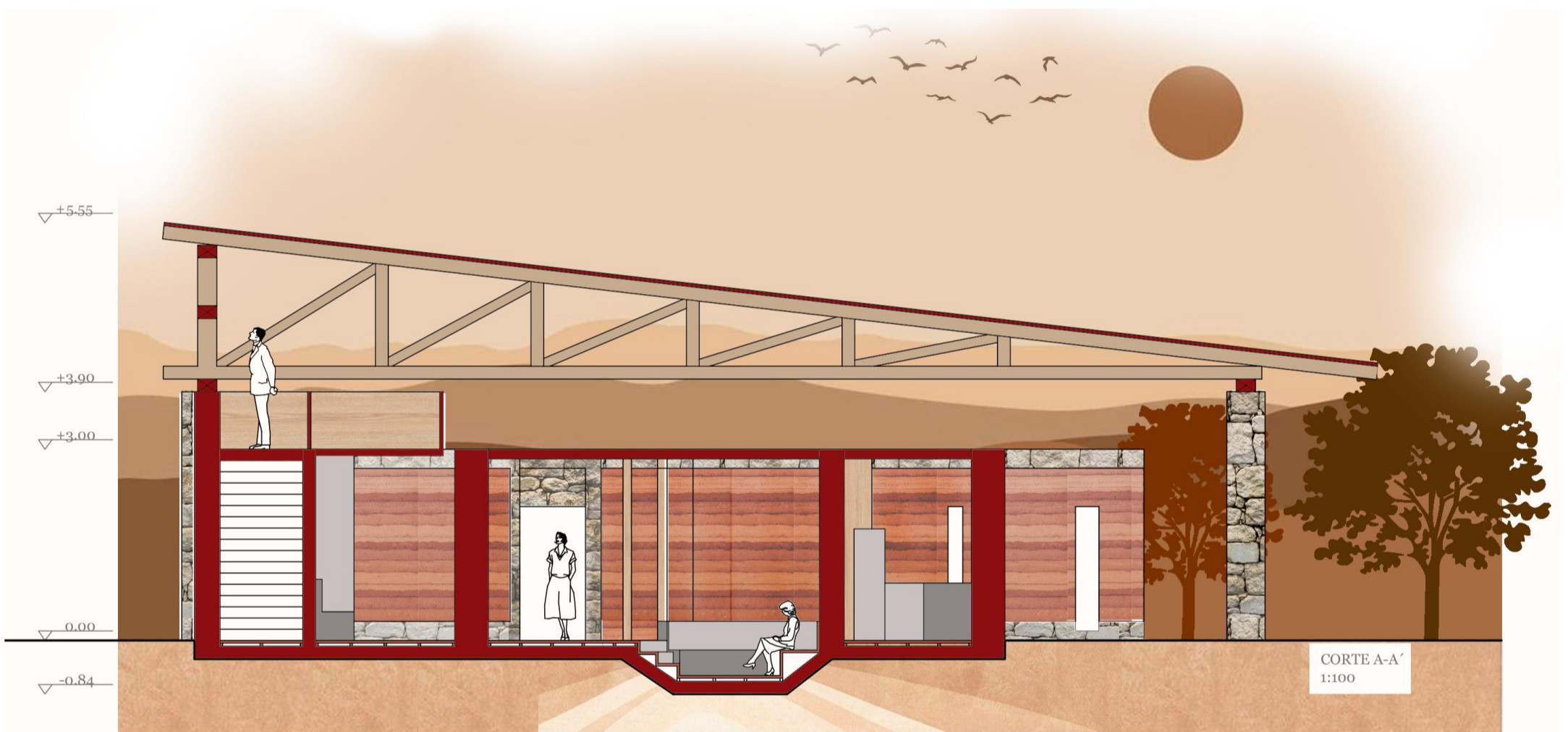


Fig. 73: Planta de piso 1. (Autora,2025)



ALÇADO LATERAL ESQUERDO  
1:100



CORTE A-A'  
1:100



ALÇADO LATERAL DIREITO

Fig. 74: Alçados laterais e Corte AA'. (Autora, 2025)



Fig. 75:Alçado frontal e Corte BB' (Autora, 2025)



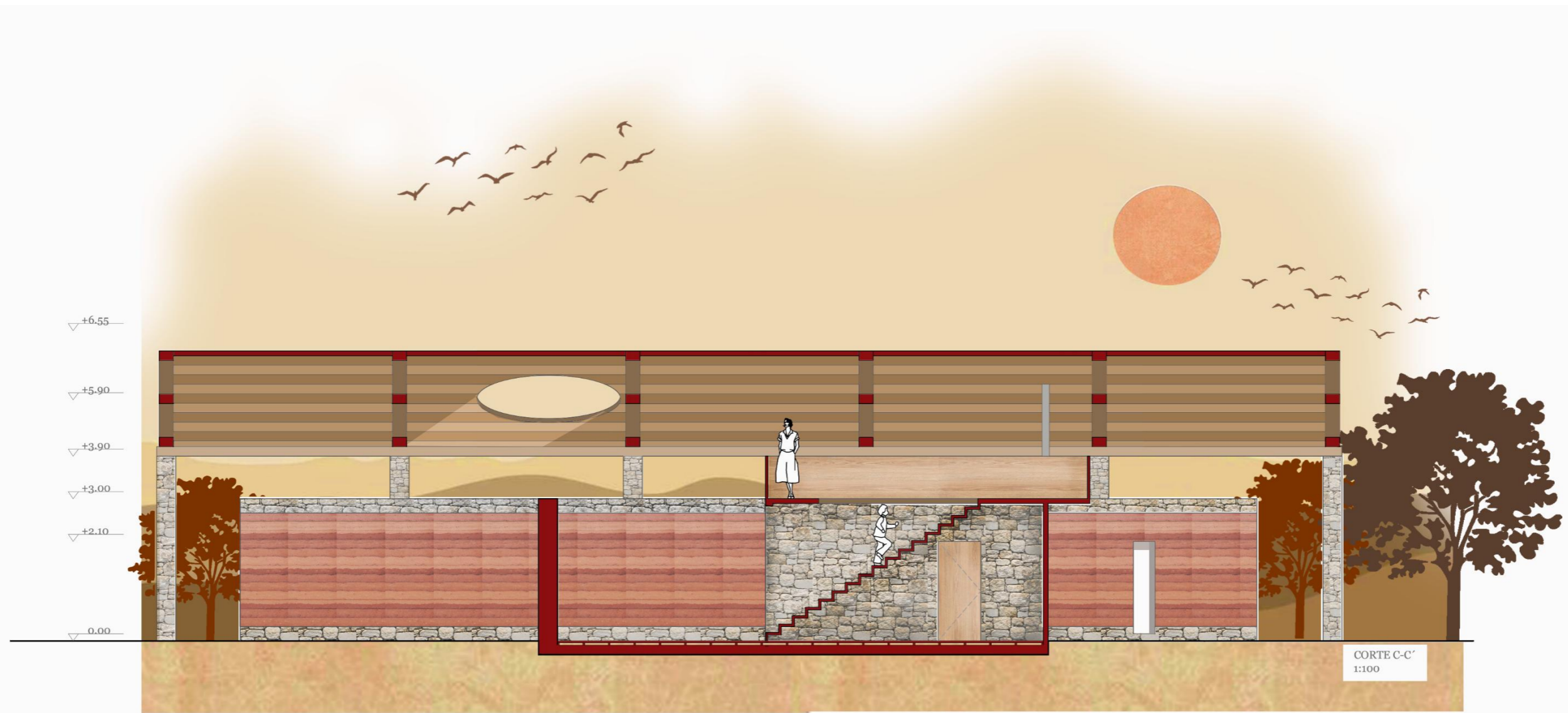


Fig. 77: Corte CC' (Autora, 2025)

## Capítulo 5

## 5. Considerações Finais

Finalizando este trabalho teórico-prático, conclui-se que a proposta não tem como finalidade ser uma solução exata às problemáticas aqui identificadas, mas obter resultados adequados que correspondessem aos objetivos da dissertação. Desde a fase inicial que o verdadeiro propósito desta componente experimental não era dar foco ao protótipo, mas ao processo que o sustenta, mediante a aprendizagem, a investigação e a reflexão. O caminho é tão ou mais importante do que o resultado.

Esta metodologia de pensamento visa despertar uma reflexão crítica ao leitor para um repensar sobre a forma de habitar e de construir, desafiando paradigmas convencionais que dissociam a arquitetura às condicionantes naturais. Pretende-se aludir a um habitar que deve de ser entendido como um compromisso responsável e consciente, numa simbiose de reconhecimento e aceitação face às vulnerabilidades do clima, do território, dos recursos e das forças da natureza. Revelou-se pertinente conceber uma arquitetura destinada a coexistir com o meio e de estar preparada para enfrentar os desafios naturais, mantendo um equilíbrio com a natureza.

No decorrer desta investigação, foi possível compreender, sobretudo através da arqueologia, da arquitetura milenar e animal, que construir de forma mais consciente, e de acordo com os princípios da sustentabilidade, não são meras questões técnicas ou ambientais, mas correspondem a uma postura ética que valoriza a simplicidade e a racionalidade. Valorizar recursos naturais e locais, construir com menos, beneficiar as técnicas tradicionais, e potencializar as fragilidades em alternativas, são umas das várias abordagens para um exercício de consciência no âmbito da construção sustentável.

O potencial da terra crua enquanto material, nomeadamente, mediante a técnica taipa afirma-se como uma mais-valia: pela disponibilidade, salubridade, inércia térmica, baixo impacte ambiental, entre outros. Foi igualmente explorado como a taipa tem a capacidade de adaptabilidade, resiliência e eficiência perante os vários cenários e contextos contemporâneos. Apesar de ser uma prática ancestral comprovou-se ser crucial para muitas das questões atuais, reafirmando a tradição como essencial no pensamento construtivo atual. É com o conhecimento do passado que se constrói um futuro melhor.

As análises dos casos de estudo surgiram na necessidade de enfatizar e comprovar que a taipa, apesar dos diferentes contextos geográficos e climáticos, demonstra um desempenho sísmico satisfatório e uma ótima capacidade de regulação higrotérmico sem a necessidade de recorrer a aditivos químicos.

Ao longo da investigação são reconhecidas fragilidades inerentes à matéria-prima, assim como na própria técnica construtiva em questão, contudo, essa inevitabilidade não é negada, mas antes transformada em estratégias capazes de responder positivamente a essas condicionantes. O princípio da resiliência é reconhecer, acolher e converter as vulnerabilidades em oportunidades.

Neste sentido, o protótipo desenvolvido explorou uma arquitetura que retrata essa visão, ou seja, “abraçar” as vulnerabilidades, transformando-as em oportunidades de estratégias para o projeto, no qual o material, a técnica e a forma dialogam entre si. Adicionalmente, foi demonstrado que inovação nem sempre significa novos materiais ou uma complexidade nas práticas construtivas, uma vez que, a simplicidade é uma forma de sofisticação: “construir mais com menos”.

Em consonância com a dimensão material, formal e simbólica, foi imprescindível valorizar a experiência sensorial entre o ambiente construído, a natureza e o ser humano. Esta tríade reforça a sensibilidade que a arquitetura deve assumir ao espectador.

Em síntese, a dissertação evidencia que na construção a resiliência advém da compreensão e aceitação das fragilidades, no resgatar das técnicas tradicionais, e na reinterpretção. A taipa, apesar do seu preconceito face à durabilidade, representa uma alternativa humilde e viável face aos desafios de habitar na atualidade, desde que, a ela estejam associados métodos adequados de projeção, execução e manutenção, sem prescindir a necessidade de introduzir umas “boas botas e de um bom chapéu”.

Mais do que concluir este capítulo e, também esta dissertação, deixa-se em aberto o desafio de construir um futuro mais consciente, mediante uma reformulação da arquitetura enquanto um ato responsável e regenerador, integrando a simplicidade, a humildade, a autenticidade, a sustentabilidade, e a memória.

## Bibliografia

Alves, C. (2020). *Arquitetura adaptada às Alterações Climáticas*. Universidade da Beira Interior. Obtido de [https://ubibliorum.ubi.pt/bitstream/10400.6/10984/1/7804\\_16516.pdf](https://ubibliorum.ubi.pt/bitstream/10400.6/10984/1/7804_16516.pdf)

Anger, R. (2019). La Construcción de las Arquitecturas de Tierra al Cambio de Paradigma Social. Em *Arquitecturas de Tierra. El Arte de Construir con Tierra: Pasado, Presente y Porvenir* (pp. 22–23). BLUME (naturart).

Badía Montalvo, R. (2016). *Las grandes civilizaciones e imperios de la antigüedad: civilizaciones del crecimiento fértil: Mesopotamia, Levante, Persia, Egipto: una visión transversal de las culturas primigenias del mundo*. Universidad Tecnológica de El Salvador. Obtido de <http://biblioteca.utec.edu.sv:8080/jspui/handle/11298/1082>

Barbosa, N. P., & Ghavami, K. (2014). Construção em terra crua e sustentabilidade. Em *Materiais de Construção Sustentáveis* (pp. 29–42). Guimarães: Universidade do Minho. Obtido de <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=e64d82554372a9258b7d123a2fe86fc91d761d23>

Barroso, C. A. de J. (2017). *Reforço sísmico inovador de construção de taipa* (Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil). Universidade do Minho. Obtido de <https://hdl.handle.net/1822/49073>

Campo Baeza, A. (2005). A tua casa, o teu museu, o teu mausoléu. A minha casa, nem museu, nem mausoléu. Il cielo in una stanza = Tu casa, tu museo, tu mausoleo. Mi casa, ni museo ni mausoleo. Il cielo in una stanza. Em *Habitar* (pp. 44–53). Casal de Cambra: Caleidoscópio. Obtido de <https://oa.upm.es/32294/>

Campos, F. A. D. G. M. (2004). *A sustentabilidade geométrica da construção em Terra Crua: Geometrical sustainability of raw earth construction* (Master's thesis). Universidade de Évora. Obtido de <https://dspace.uevora.pt/rdpc/handle/10174/15799>

Caramelo, S. C. M. (2016). *A Arquitetura Sustentável e os Materiais de Construção Vernacular* (Dissertação de Mestrado). Lisboa: Universidade Lusíada de Lisboa. Obtido de <http://hdl.handle.net/11067/2601>

Carranza, M. (2010). *¿Existen Técnicas Adecuadas de Construcción con Tierra para Países Sísmicos?* (Master en Arquitectura y Sostenibilidad). Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya. Obtido de <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/13543>

Castro, C. de. (2012). *A sustentabilidade do sistema construtivo em terra: um projecto de reabilitação* (Dissertação de Mestrado Integrado em Arquitetura). Covilhã: Universidade da Beira Interior. Obtido de <http://hdl.handle.net/10400.6/2321>

Ciancio, D., & Beckett, C. (Eds.). (2015). *Rammed Earth Construction: Cutting-Edge Research on Traditional and Modern Rammed Earth*. Londres: CRC Press. Obtido de [https://books.google.com/books?hl=pt-PT&lr=&id=qHUZBwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Rammed+Earth+Construction+Cutting-Edge+Research+on+Traditional+and+Modern+Rammed+Earth&ots=\\_sru-1D97V&sig=7Hi-xcP7cgkTREwUprgF5ULWwXA](https://books.google.com/books?hl=pt-PT&lr=&id=qHUZBwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Rammed+Earth+Construction+Cutting-Edge+Research+on+Traditional+and+Modern+Rammed+Earth&ots=_sru-1D97V&sig=7Hi-xcP7cgkTREwUprgF5ULWwXA)

Commission, E. (s/d). *Causes of Climate Change*. Obtido 17/02/2025 de [https://climate.ec.europa.eu/climate-change\\_en](https://climate.ec.europa.eu/climate-change_en)

Connan, J. (1999). Use and trade of bitumen in antiquity and prehistory: molecular archaeology reveals secrets of past civilizations. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 354(1379), 33–50. <https://doi.org/10.1098/rstb.1999.0358>

Correia, M. (2006a). Técnicas de construção em terra. Em *Terra: Forma de Construir. 10a Mesa Redonda de Primavera Arquitectura, Antropologia, Arqueologia* (pp. 20–25). Argumentum.

Correia, M. (2006b). Universalidade e Diversidade da Arquitectura de Terra. Em *Terra: Forma de Construir. 10a Mesa Redonda de Primavera Arquitectura, Antropologia, Arqueologia* (pp. 12–19). Argumentum.

Correia, M. (2007). *Taipa no Alentejo/ Rammed Earth in Alentejo*. Lisboa: Argumentum.

Correia, M., & Carlos, G. (Eds.). (2015). *Cultura Sísmica Local em Portugal/ Local Seismic Culture in Portugal*. Argumentum. Obtido de [https://esg.pt/seismic-v/assets/uploads/2015/10/seismic\\_v\\_cultura\\_sismica\\_local.pdf](https://esg.pt/seismic-v/assets/uploads/2015/10/seismic_v_cultura_sismica_local.pdf)

Correia, M., Varum, H., & Lourenço, P. (2015). Common Damages and Recommendations for the Seismic Retrofitting of Vernacular Dwellings. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b18856-50>

Costa, M. E. S. D. (2021). *Desempenho de paredes de taipa reforçadas com rebocos armados compatíveis*. Universidade do Minho. Obtido de <https://hdl.handle.net/1822/76192>

Couto, M. de O. (2020). *Bartolomeu Costa Cabral: Arquiteto da Continuidade* (Tese de Doutoramento em Arquitetura). Coimbra: Universidade de Coimbra. Obtido de <https://hdl.handle.net/10316/93852>

Dethier, J. (1992a). A Renovação das Arquiteturas de Terra. Em *Arquitecturas de Terra: Trunfos e Potencialidades Materiais e Tecnologia Lógica do Restauro, Actualidade e Futuro* (pp. 117–122). Conimbriga: Coimbra: Comissão de Coordenação da Região Centro/ Alliance Française de Coimbra/ Museu Monográfico de Conimbriga.

Dethier, J. (1992b). As Tradições das Arquiteturas de Terra. Em *Arquitecturas de Terra: Trunfos e Potencialidades Materiais e Tecnologia Lógica do Restauro, Actualidade e Futuro* (pp. 65–66). Conimbriga: Coimbra: Comissão de Coordenação da Região Centro/ Alliance Française de Coimbra/ Museu Monográfico de Conimbriga.

Dethier, J. (2019). *Arquitecturas de Tierra. El Arte de Construir con Tierra: Pasado, Presente y Porvenir*. BLUME (naturart).

Dieste, E. (2004). *Eladio Dieste: Innovation in Structural Art*. (S. Anderson, Ed.). Princeton Architectural Press. Obtido de <https://books.google.com/books?hl=pt->

PT&lr=&id=rsra8BBzb6oC&oi=fnd&pg=PA7&dq=1-56898-371-9&ots=Goy3yLZ5FZ&sig=bb\_fbjKD7vLO\_IT1YyvFbivgT4

Doat, P. (2019). Por una Revolución Cultural y Pedagógica Indispensables. Em *Arquitecturas de Tierra. El Arte de Construir con Tierra: Pasado, Presente y Porvenir*. BLUME (naturart).

Duarte, S. R. (2013, novembro). *Construir com a terra. Uma proposta de intervenção no Bairro do Barruncho, Odivelas* (Tese de Mestrado). Lisboa: Universidade de Lisboa. Faculdade de Arquitetura. Obtido de <http://hdl.handle.net/10400.5/6943>

Eires, R., Camões, A., & Ponte, M. (2014). Técnicas para melhorar a durabilidade da construção em terra, (50), 27–38.

Fernandes, M. (2008). Earth mortars and earth-lime renders. *Conservar Património*, (8), 21–27.

Fernandes, M. (2013). A Taipa no Mundo, 1, 14–21.

Fraga, J. M. L. (2024). Clima, Meio Ambiente e Cidades: Alternativas de Mitigação, Adaptação e Combate das Alterações Climáticas em Áreas Urbanas de Maior Vulnerabilidade. *Revista Movimentos Sociais e Dinâmicas Espaciais*, 13, 1–27. <https://doi.org/10.51359/2238-8052.2024.260536>

Gandreau, D. (2019). Lo que nos Enseña la Arqueología. Em *Arquitecturas de Tierra. El Arte de Construir con Tierra: Pasado, Presente y Porvenir* (pp. 70–71). BLUME (naturart).

Gauzin-Muller, D. (2019a). Un Material Ancestral para Construir el Futuro. Em *Arquitecturas de Tierra. El Arte de Construir con Tierra: Pasado, Presente y Porvenir*. BLUME (naturart).

Gauzin-Muller, D. (2019b). Ventajas y Límites de la Construcción con Tierra. Em *Arquitecturas de Tierra. El Arte de Construir con Tierra: Pasado, Presente y Porvenir* (pp. 24–25). BLUME (naturart).

Godoy, J. A. R. de, & Benini, S. M. (2024). Resiliência Urbana: Políticas Para Enfrentar Desastres Naturais E Mudanças Climáticas. *Revista PPC – Políticas Públicas e Cidades*, 13(1), e775. <https://doi.org/10.23900/2359-1552v13n1-34-2024>

Gomes, M. I., Brito, J., & Lopes, M. (2008a). Reforço Sísmico em Construções em Terra Crua. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Brito-13/publication/281242254\\_Reforco\\_Sismico\\_em\\_Construcoes\\_em\\_Terra\\_Crua/links/55dcaa3808aec156b9b18656/Reforco-Sismico-em-Construcoes-em-Terra-Crua.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Brito-13/publication/281242254_Reforco_Sismico_em_Construcoes_em_Terra_Crua/links/55dcaa3808aec156b9b18656/Reforco-Sismico-em-Construcoes-em-Terra-Crua.pdf)

Gomes, M. I., Brito, J., & Lopes, M. (2008b). Segurança das Construções em Terra Crua face à Ação Sísmica. Apresentado na 5º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia (CLME'2008), Maputo, Moçambique. Obtido de [https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Brito-13/publication/283324457\\_Seguranca\\_das\\_Construcoes\\_em\\_Terra\\_Crua\\_Face\\_a\\_Accao\\_Sismica/links/5633708608ae88cf81ba40ce/Seguranca-das-Construcoes-em-Terra-Crua-Face-a-Accao-Sismica.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Brito-13/publication/283324457_Seguranca_das_Construcoes_em_Terra_Crua_Face_a_Accao_Sismica/links/5633708608ae88cf81ba40ce/Seguranca-das-Construcoes-em-Terra-Crua-Face-a-Accao-Sismica.pdf)

Gonçalves, T. D., & Gomes, M. I. (2012). Construção de Terra Crua: Potencialidades e Questões em Aberto. Apresentado na Jornadas LNEC, Lisboa.

Guillaud, H. La Epopeya Milenaria del Arte de Construir con Tierra. Em *Arquitecturas de Tierra*.

Houben, H., & Damme, H. V. (2019). Mejorar las Prestaciones de la Construcción con Tierra sin Reducir su Interés Ecológico. Em *Arquitecturas de Tierra. El Arte de Construir con Tierra: Pasado, Presente y Porvenir*. BLUME (naturart).

Jalali, S., & Eires, R. (2008). Inovações científicas de construção em terra crua. Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/9104>

Jeske, S. (2020). L'Orangerie: A new generation of earth building in Lyon. Disponível em: [https://www.dachverband-lehm.de/lehm2020\\_online/pdf/lehm2020\\_b\\_jeske-cva\\_en.pdf](https://www.dachverband-lehm.de/lehm2020_online/pdf/lehm2020_b_jeske-cva_en.pdf)

Korb, J. (2003). Thermoregulation and ventilation of termite mounds. *Naturwissenschaften*, 90, 212–219. <https://doi.org/10.1007/s00114-002-0401-4>

Krahn, T. (2019). *Essential Rammed Earth Construction: The Complete Step-By-Step Guide*. New Society Publishers. Obtido de [https://books.google.com/books?hl=pt-PT&lr=&id=M-V1DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT11&dq=978-0-86571-857-9&ots=BgxPK\\_ARR2&sig=uILHlv4nF-hYuoylbZT4QuK-r7U](https://books.google.com/books?hl=pt-PT&lr=&id=M-V1DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT11&dq=978-0-86571-857-9&ots=BgxPK_ARR2&sig=uILHlv4nF-hYuoylbZT4QuK-r7U)

Lourenço, Patrícia, Brito, J., & Branco, F. (2001). Novas Tecnologias na Aplicação de Terra Crua para a Construção. Lisboa: Companhia de Arquitectura e Design. Obtido de [https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Brito-13/publication/286778052\\_Novas\\_Tecnologias\\_na\\_Aplicacao\\_de\\_Terra\\_Crua\\_para\\_a\\_Construcao/links/566db3af08ae62b05f0b448b/Novas-Tecnologias-na-Aplicacao-de-Terra-Crua-para-a-Construcao.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Brito-13/publication/286778052_Novas_Tecnologias_na_Aplicacao_de_Terra_Crua_para_a_Construcao/links/566db3af08ae62b05f0b448b/Novas-Tecnologias-na-Aplicacao-de-Terra-Crua-para-a-Construcao.pdf)

Lourenço, Paulo. (2005). As Estruturas de Terra e os Sismos. Em *Arquitetura de Terra em Portugal / Earth Architecture in Portugal* (pp. 189–194). Argumentum. Obtido de <https://hdl.handle.net/1822/4927>

Marchand, T. (2013). The Djenné Mosque: World Heritage and Social Renewal in a West African Town. Em *Religious Architecture: Anthropological Perspectives* (pp. 117–148). Amsterdam University Press. Obtido de <https://library.open.org/bitstream/handle/20.500.12657/33832/456162.pdf>

McCabe, K., & Watson, L. (2011). The cob building technique. Past, present and future. *Informes de la Construcción*, 63(523), 59–70. <https://doi.org/10.3989/ic.10.018>

Mendes, M. F. (2023). *Taipa*. Lisboa: Argumentum.

Minke, G. (2006). *Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*. Basel, Suíça: Birkhäuser Architecture. Obtido de

[https://www.academia.edu/68778205/Building\\_with\\_Earth\\_Design\\_and\\_Technology\\_of\\_a\\_Sustainable\\_Architecture](https://www.academia.edu/68778205/Building_with_Earth_Design_and_Technology_of_a_Sustainable_Architecture)

Morot-Sir, P., Mecca, S., Correia, M., Vegas, F., Mileto, C., Guérin, R., ... Žabicková, I. (2011). *Terra Europae: Earthen Architecture in the Europe Union*. Pisa, IT: Edizioni ETS. Obtido de <https://flore.unifi.it/handle/2158/827270>

Oliveira, D., Silva, R. A. M., Schueremans, L., & Lourenço, P. (2010). A Construção em Taipa e os Sismos. Apresentado na 8º Congresso de Sismologia e Engenharia Sísmica. Obtido de <https://hdl.handle.net/1822/17615>

Pallasmaa, J. (2020). *Animales Arquitectos*. Barcelona: Gustavo Gili, S.L.

Parreira, D. J. dos S. (2007). *Análise Sísmica de uma Construção em Taipa* (Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil). Instituto Superior Técnico de Lisboa. Obtido de <https://scholar.tecnico.ulisboa.pt/records/InzL9sf2uRYgZkS8fZrFGynbHT-NZMTuVuN>

Retratos de los Pioneros. (2019). Em *Arquitecturas de Tierra. El Arte de Construir con Tierra: Pasado, Presente y Porvenir* (pp. 368–369). BLUME (naturart).

Silva, M. F. C. G. da. (2015). *Blocos de Terra Compactada com e sem Materiais Cimentícios*. Instituto Superior Técnico. Obtido de [https://scholar.tecnico.ulisboa.pt/records/taS9ymEZv\\_83Hdzji-JroW8bdCjfmZZgWTqJ](https://scholar.tecnico.ulisboa.pt/records/taS9ymEZv_83Hdzji-JroW8bdCjfmZZgWTqJ)

Silva, M. F. da, Moldero, L. de S., Trindade, L. H., & Barbosa, A. P. (2024). Gestão de Riscos Urbanos: A Necessidade de uma Defesa Civil Profissional para Cidades Inteligentes e Resilientes. *Aracê*, 6(4), 18585–18599. <https://doi.org/10.56238/arev6n4-442>

Soares, R. J. C. (2021). *O Aviário de München: Frei Otto e a arquitetura animal* (Dissertação de Mestrado). Universidade Lusíada de Lisboa. Obtido de <http://hdl.handle.net/11067/6161>

Wilson, A. (2019). Balance de Medio Siglo de Evolución: 1970-2020. Em *Arquitecturas de Tierra. El Arte de Construir con Tierra: Pasado, Presente y Porvenir* (pp. 358–363). BLUME (naturart).

Zhao, Z., Qi, L., & Jiang, X. (2015). An Energy Efficient Building System Using Natural Resources--Superadobe System Research. *Procedia engineering*, 121, 1179–1185. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.09.133>