



CONSTRUÇÃO COM BASE EM TERRA: CONTRIBUTO PARA A ECOEFICIÊNCIA NA CONSTRUÇÃO

Maria Idália Gomes¹, Tânia Santos^{1,2}, Cristiana Pereira^{3,4}, Paulina Faria^{2,5}

1. Instituto Politécnico de Lisboa, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Departamento de Engenharia Civil, Rua Conselheiro Emídio Navarro, 1, 1959-007 Lisboa, idalialogomes@dec.isel.pt, tr.santos@campus.fct.unl.pt

2. CERIS - Civil Engineering Research and Innovation for Sustainability, Av. Rovisco Pais, 1, 1049-001 Lisboa

3. Instituto Politécnico de Setúbal, Escola Superior Tecnologia do Barreiro, Rua Américo da Silva Marinho, 2839-001 Lavradio, cristiana.pereira@estbarreiro.ips.pt

4. INCITE - Centro de Inovação em Ciência e Tecnologia, Rua Américo da Silva Marinho, 2839-001 Lavradio

5. FCT NOVA, Departamento de Engenharia Civil, Universidade NOVA de Lisboa, 2829-516 Caparica, paulina.faria@fct.unl.pt

RESUMO

A terra é dos mais antigos materiais de construção, existindo registos da sua utilização desde o período pré-histórico. Utilizada na construção de um vasto património edificado, como fortificações, residências nobres, igrejas, mosteiros, habitação e apoios agrícolas, entre outros, a utilização da terra apresenta inúmeras vantagens, nomeadamente, económicas, ecológicas e de conforto interior, devido à capacidade de regulação da humidade relativa do ambiente interior, conferida pela argila, que é higroscópica e incombustível.

Portugal apresenta um vasto património edificado de construção com terra, tendo como principais técnicas construtivas a taipa, o adobe e o tabique, que se apresenta disperso por todo o território nacional. Lamentavelmente, grande parte deste património apresenta um estado de conservação muito debilitado e urge intervenções de reabilitação.

A construção com terra era realizada através do conhecimento empírico, transmitido de geração em geração, que foi sendo perdido devido ao desinteresse e surgimento de novos materiais, como o tijolo cerâmico cozido, argamassas e betões utilizando cimento Portland, e de novas técnicas construtivas, originando o declínio deste tipo de construção no século XX. No entanto, e com base nas vantagens do material e das técnicas construtivas ancestrais de construção com terra, registou-se um renovado interesse por este tipo de material de construção, principalmente no Sul de Portugal, não só no âmbito da conservação do património e da reabilitação das construções existentes, mas também para construção contemporânea. Ainda assim, e mesmo com o aparecimento dos blocos de terra comprimida, a construção com terra assume um papel residual no setor da construção em Portugal.

No presente artigo descrevem-se, resumidamente, os principais sistemas construtivos com base em terra utilizados em Portugal, discutem-se as suas potencialidades e a relevância atual destas técnicas construtivas como contributo para a sustentabilidade ambiental, e identificam-se, ainda, algumas questões fundamentais, atualmente em aberto, como a necessidade de normalização e regulamentação.

Palavras-Chave: Material local; Técnica Construtiva; Normalização; Sustentabilidade Ambiental.

1. INTRODUÇÃO

A terra é um material de construção tão antigo como a própria humanidade, sendo utilizada em todos os continentes, o que lhe dá um carácter claramente universal. Será sempre um dos materiais contemplados na construção das habitações, devido à sua abundância, custo acessível, tradição e facilidade de execução. A utilização deste material tem servido não só para a construção de habitações rurais e urbanas mas, também, para erguer alguns dos monumentos e conjuntos arquitetónicos dos mais valiosos e interessantes do mundo. A mesquita de Djenné, no Mali, a cidadela de Chan Chan, no Perú a aldeia de Ait-Bem-Haddou, em Marrocos, ou a cidade antiga de Shibam, no Iémen, todas classificadas como património mundial pela UNESCO, são disso exemplo.

De facto, 10% dos sítios que constam da lista do Património Mundial da UNESCO correspondiam, em 2001, a construções de terra (Balderrama, 2001). A essa data eram também de terra 16% e 57% dos sítios que figuram na *World Monuments Watch 2000 List of 100 Most Endangered Sites* e na *World Heritage List in Danger*, respetivamente (Balderrama, 2001).

Apesar dos métodos construtivos com terra serem dos métodos tradicionais mais antigos, a maior parte das suas características e propriedades continuam pouco conhecidas e investigadas. Contudo, a partir do final do século XX, registou-se um renovado interesse, quer a nível internacional como nacional, pela arquitetura de terra. A terra como material de construção deixa de ser sinónimo de pobreza e desconforto, começando a ser vista como um material alternativo e valorizado devido às suas inúmeras vantagens, nomeadamente: económicas (por ser um material local, sem necessidade de transporte ou calcinação, de fácil extração e transformação, com baixos custos de processamento); ecológicas (com baixo impacte ambiental devido à baixa energia incorporada e baixas emissões de CO₂, não tóxico, reutilizável e reciclável, embora não renovável); com contributo para o conforto interior, devido à capacidade de regulação da humidade relativa do ambiente interior, conferida pela argila, que é higroscópica; e incombustível. A sua importância ressalta também do facto de, ainda na atualidade uma percentagem elevada da população mundial viver ou trabalhar em construções com terra (Blondet et al., 2009). Portugal, principalmente no Sul, não é exceção.

As técnicas tradicionais baseadas no uso da terra crua são técnicas vernaculares pois utilizam materiais disponíveis no próprio local da construção e, de uma forma geral, recursos locais. Estas técnicas são variadas, com inúmeras adaptações à identidade das culturas e aos lugares de acordo com as diferentes experiências e com as formas de pensar da sociedade e da época onde se integram (Fig. 1a). Por essa razão, apresentam normalmente variações acentuadas de região para região, podendo mesmo haver diferenças significativas entre construções situadas em zonas próximas. Não obstante, é possível efetuar uma classificação genérica dos seus principais sistemas construtivos. Portugal apresenta um vasto património edificado de construção com terra, tendo como principais técnicas construtivas a taipa, o adobe e o tabique, que se apresentam dispersas por todo o território, conforme se pode visualizar na Fig. 1b.

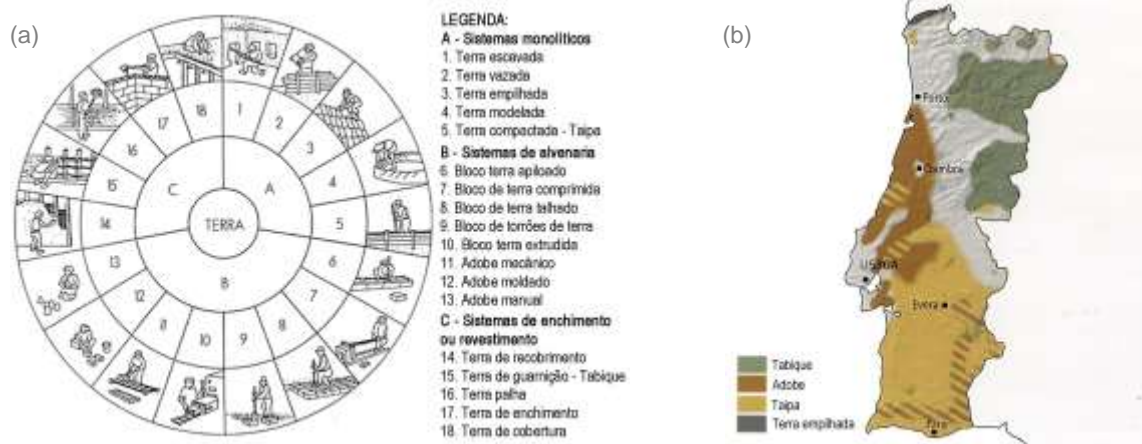


Fig. 1. (a) Diagrama das técnicas construtivas com terra, estabelecido pelo CRATerre (adaptado de Houben & Guillaud, 2006) e (b) zonamento do edificado de construção com terra em Portugal, por técnica construtiva (adaptado de Correia & Merten, 2011)

Lamentavelmente, em Portugal, o património de construção com terra apresenta um estado de conservação muito debilitado e urgem intervenções de reabilitação. Felizmente, muitos utilizadores e proprietários destas construções perceberam as vantagens da sua preservação através de operações de conservação e reabilitação. Novas construções têm sido também edificadas. Ainda assim, e mesmo com o aparecimento dos blocos de terra comprimida (BTC), a construção com terra é residual no setor da construção em Portugal. Esta construção era realizada através do conhecimento empírico, transmitido de geração em geração, que foi sendo perdido devido ao desinteresse e conseqüentemente perda do conhecimento. O surgimento de novos materiais e de novas técnicas construtivas, como o tijolo cerâmico cozido, as argamassas e betões utilizando cimento Portland, justificaram o declínio das técnicas construtivas com terra, a partir do início do século XX. De facto,



atualmente, a perda do saber relativo às artes tradicionais, bem como a falta de conhecimentos sobre processos de degradação dos materiais de terra e da sua compatibilidade com os materiais de construção modernos, nem sempre permitem uma correta especificação das técnicas a utilizar, quer em construção nova, quer na conservação de construções existentes.

A matéria-prima utilizada nas construções com terra, como qualquer outro material de construção, deve ser analisada de modo a que o seu comportamento e desempenho possam ser espectáveis. A caracterização dos procedimentos para a maioria dos materiais industrializados na construção (por exemplo, tijolo, betão, aço, entre outros) está bem estabelecida e padronizada. No entanto, a matéria-prima para a construção com terra tem muitas variações e as suas características não se encontram padronizadas (Ma *et al.* 2018, Shubbat *et al.* 2019).

2. PRINCIPAIS SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Em Portugal, a utilização da terra como material de construção tem sido uma realidade desde há séculos, baseada no conhecimento empírico dos construtores. De acordo com o diagrama estabelecido pelo CRATerre, em 1986 (Houben & Guillaud 2006), existem três tipos fundamentais de sistemas, enquadrados em dezoito sistemas construtivos, a maior parte de génese tradicional (Fig. 1a). Em Portugal, dos vários métodos tradicionais de construção com terra crua, existem quatro que se destacam: sistemas monolíticos – a taipa; sistema de alvenaria – de adobe e de blocos de terra comprimida (BTC); sistemas de enchimento ou revestimento – tabique.

As técnicas de construção com terra são utilizadas atualmente com adaptações a novos métodos de processamento e aplicação em obra. A técnica do BTC é a mais recente em Portugal e impulsionou a mecanização e industrialização dos processos de fabrico da construção com terra. Cada técnica apresenta características próprias relativamente à quantidade e qualidade da terra a utilizar, à velocidade de execução e aos resultados finais. A seleção da terra e o conhecimento da sua composição deverão conduzir à opção mais adequada da técnica a utilizar. Deve ter-se em conta que nem todas as terras são diretamente adequadas para a construção com terra e para as diferentes técnicas construtivas. Porém, existem ainda outros fatores, tais como socioeconómicos, geográficos, climáticos e ainda culturais (transmissão da sabedoria de geração em geração) que são, sem dúvida, muito importantes.

A seguir descrevem-se sumariamente as principais técnicas construtivas em Portugal.

2.1. Sistemas monolíticos – Taipa

A origem da construção em taipa em Portugal é desconhecida. Contudo, há autores (Ribeiro, 1969) que defendem que a sua utilização teve início nas culturas árabes e berberes do Sul da Península Ibérica. A taipa foi a técnica construtiva mais utilizada no sul de Portugal (Alentejo e Algarve – **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**) até, pelo menos, aos anos 50 do século XX. Hoje, muitas dessas construções de taipa estão ao abandono, especialmente em zonas rurais mas existe ainda quem procure esta técnica para construção nova (**Erro! A origem da referência não foi encontrada.**). Embora a percentagem de construção nova com esta técnica ainda seja muito pequena quando comparada com outras técnicas construtivas.



Fig. 2. Técnicas construtivas com terra: (a) taipa em Odemira; (b) adobe em Aveiro; (c) blocos de terra comprimida em Vila do Bispo; (d) tabique em Mungalde

A construção em taipa é predominante em zonas mais áridas e pertence ao sistema monolítico (Fig. 1a), conduzindo a edificações com boa durabilidade, desde que construída corretamente e num local com um clima adequado. A terra utilizada na taipa é normalmente arenosa com agregados grossos, que é humedecida com baixo teor de água. A terra é compactada entre cofragens (que distam entre si a espessura das paredes, compreendendo valores entre 50 – 60 cm) denominadas por “taipais”. A compactação pode ser feita manualmente, com um maço/pilão de madeira ou, mais recentemente, com equipamentos pneumáticos. As paredes de taipa vão sendo construídas em altura por fiadas sucessivas. A partir do primeiro nível, os taipais vão sendo fixos à fiada antecedente, através de peças que se denominam “agulhas” e assim sucessivamente.

2.2. Sistemas de alvenaria – Bloco de adobe e blocos de terra comprimida

As alvenarias de terra podem basear-se nos seguintes tipos de blocos: adobe e BTC. O adobe é um termo de origem árabe “*thobe*” que significa pequenos blocos de terra não cozida, secos ao ar. A técnica de construção em adobe é uma das técnicas mais antigas, constituindo a base da arquitetura mesopotâmica e egípcia. Em Portugal, as construções em adobe são geralmente encontradas em zonas aluvionares, perto dos rios, uma vez que é necessária uma maior quantidade de água para a manufatura dos adobes e maior teor em argila. A maior percentagem de construção em alvenaria resistente de adobe encontra-se na região de Aveiro (**Erro! A origem da referência não foi encontrada.** 2b), Coimbra e Tomar (**Erro! A origem da referência não foi encontrada.**b). Os adobes são normalmente manufaturados no próprio local da construção mas são prefabricados. À terra utilizada no adobe podem ser adicionadas fibras vegetais para reduzir o teor de argila na mistura ou cal aérea, se esse teor for reduzido. O processo artesanal de moldagem manual em formas de madeira é o mais comum na produção de adobe, tendo as formas de compartimentos múltiplos sido introduzidas já no século XX. No entanto, este também pode ser obtido por processos semi-industriais, com recurso a tratores adaptados que são alimentados com a matéria-prima em pasta e conseguem e assim é possível manufaturar grandes quantidades de adobes, como é feito na *The Adobe Factory*, no Novo México.

A técnica do BTC constitui outro importante sistema construtivo. Os BTC podem ser simplesmente apilados à mão, usando formas de madeira e um pilão, técnica rudimentar que é tradicional em algumas regiões de África, mas estes, são geralmente fabricados com o auxílio de prensas ou equipamentos industriais (ThoughtCo, 2019). O método de fabrico mais simples usa prensas manuais. A primeira prensa manual de fabrico de BTC – a Cinva-Ram – foi inventada nos anos 50 pelo colombiano G. Ramires com o objetivo de permitir a construção de habitações de baixo custo, melhorando as características dos blocos de adobe, através do aumento da resistência mecânica (em virtude do maior contacto entre as partículas) e da diminuição da porosidade (através de eliminação de vazios). Os BTC obtidos através de prensa, quando comparados com os adobes, são mais regulares (em forma e dimensões) e mais compactos, oferecendo uma melhor resistência à compressão e à presença da água. Sendo a técnica do BTC uma técnica moderna e com processos de fabrico industriais, esta pode desenvolver-se praticamente em qualquer região (**Erro! A origem da**



referência não foi encontrada.c). É habitual nesta técnica otimizar-se a mistura de terra, adicionando argila ou areia e, ainda, baixo teor de ligantes minerais, como a cal ou cimento.

2.3. Sistemas de enchimento ou revestimento – Tabique

Nos sistemas de enchimento ou revestimento, normalmente, a terra não tem função estrutural. A técnica construtiva da terra de guarnição é onde se enquadra o tabique (**Erro! A origem da referência não foi encontrada.**). O tabique consiste na aplicação de terra misturada com uma certa percentagem de fibras naturais (palha, por exemplo) no preenchimento de uma estrutura de madeira. Esta técnica foi amplamente utilizada a Norte de Portugal (**Erro! A origem da referência não foi encontrada.**b), principalmente na construção de paredes interiores mas também é possível observá-la em paredes exteriores – muitas vezes com função estrutural. Um estudo realizado em 270 edifícios de tabique na região de Trás-os-Montes e Alto Douro (Pinto *et al.*, 2011) demonstrou que a solução construtiva mais correntemente adotada na estrutura de madeira de um elemento de tabique era constituída por tábuas verticais ligadas entre si através do fasquio (i.e. ripas de madeira horizontais) (Fig. 2d). No mesmo estudo foi ainda referido que soluções que incluem a aplicação de elementos de madeira dispostos na diagonal, estrutura modular dupla ou em Cruz de Santo André surgem muito pontualmente.

3. NORMAS E REGULAMENTOS

A construção com terra em Portugal é desprovida de qualquer regulamentação ou código, existe apenas um documento com um carácter de recomendação técnica elaborada no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (Gomes & Folque, 1953). Contudo, países que evidenciam um interesse significativo nestas técnicas construtivas já possuem alguma regulamentação, embora em número pouco significativo quando comparado com outras áreas da Engenharia Civil. Assim, e a nível internacional, Schroeder (2018) refere que existem 40 documentos, entre normas e documentos normativos, referentes a 20 países e regiões. Porém, Cid *et al.* (2011) identificou 55 normas ou documentos normativos, para a construção com terra, em 13 países ou regiões.

Na literatura especializada da construção com terra (normas, códigos internacionais, documentos de referência internacionais, artigos e livros), são muito díspares as opiniões dos vários autores quanto às propriedades mais importantes, ou relevantes, para caracterizar o desempenho da matéria-prima para as construções, assim como quais os ensaios mais adequados para examinar as propriedades desses materiais. É importante referir que as condições e os contextos a nível mundial são bastante diversos, sendo ainda importante considerar a heterogeneidade do material terra. Gomes *et al.* (2014), Schroeder *et al.* (2012) e Schroeder (2018) apresentam pesquisa, e respetiva análise, de documentos normativos disponíveis a nível internacional, onde se identificam as propriedades mais citadas a nível internacional e os respetivos documentos da análise.

No Quadro 1 indicam-se, resumidamente, e a título de exemplo, alguns documentos normativos sobre técnicas de construção com terra existente em diferentes países.

Quadro 1. Países e respetivos documentos normativos para construção com terra

País	Documento	Descrição
Alemanha	<i>Lehmbau Regeln</i> (2009)	Define as diretrizes de conceção para a técnica da taipa
Austrália	<i>Bulletin 5</i> (1987)	Construção em taipa, alvenaria de adobe e de BTC
	<i>The Australian Earth Building Handbook HB 195</i> (Standards Australia & Walker, 2001)	Publicado pelas normas australianas com base nos livros de <i>Peter Walker</i> ; define as diretrizes de conceção para as técnicas da taipa, blocos de adobe e BTC e ainda terra empilhada.
	EBAAs (2001)	Documento provisório que define novas diretrizes de conceção para a construção em alvenaria de adobe e taipa
Espanha	<i>Bases para el Diseñō y Construcción con Tapial</i> (MOPT, 1992)	Define referências para a conceção e construção de estruturas com terra
EUA	ASTM E2392/E2393M-10 (2016)	Aborda as técnicas construtivas de construção com terra com base nas diretrizes de diversos países e regiões, tais



		como a Alemanha, Austrália, Califórnia, China, Equador, Índia, Novo México, Nova Zelândia e Perú
	<i>New Mexico Earthen Building Materials Code</i> (2006)	Aborda as técnicas da taipa, alvenarias de adobe e de BTC, para edifícios até dois pisos, estabelecendo requisitos mínimos para a construção com terra
Índia	IS 13827 (1993)	Referência para projeto, produção e construção com terra com diversas técnicas
Nova Zelândia	NZS 4297-99 (1998)	Construção com terra – taipa, alvenaria de adobe e de BTC – com ou sem estabilização química
Perú	E.080 (2017)	Constitui parte do Regulamento Nacional de Edificações do Perú, sobre construção com taipa e blocos de terra, incluindo reforço estrutural
Zimbabué	SAZ 724 (2001)	Documento que define as características para a construção, até dois pisos, das técnicas da taipa, de blocos de terra e argamassas com base em terra, com base em Keable (1996), Bulletin 5 (1987) e SNZ 4298 (1998)

Outros países, como o Nepal, Nigéria, Quênia, Quirguistão, Sri Lanka, Tunísia e Turquia, também têm normas e regulamentos para construção com terra. A Suíça apresenta também documentos normativos e vários outros organismos de diferentes países têm documentos técnicos (Schroeder, 2018). Já as normas que definem os requisitos e os métodos de ensaio de produtos para a construção com terra são muito mais frequentes. Referem-se como exemplo, as normas para blocos comprimidos de países vizinhos como a Espanha (UNE 41410, 2008) e a França (NF XP P13-901, 2001) e as normas alemãs para blocos de terra, argamassas para assentamento, argamassas para rebocos e, em breve, para painéis de terra não estabilizada quimicamente (DIN 18945-47, 2013; prDIN 18948, 2019). Existe, assim, a necessidade de apoiar a construção com terra, ao nível do território português, para que este tipo de construções apresente os níveis de segurança, qualidade e durabilidade atualmente exigidos na construção – na forma de recomendações, ou na forma de regulamentos ou normas específicas, definindo os critérios a respeitar nas fases de projeto, de construção nova ou de reabilitação dessas construções. Seria profícuo legislar os aspetos relacionados com as técnicas de construção com terra, o próprio material terra, os níveis de segurança satisfatórios e, ainda, analisar qual o seu desempenho térmico e energético, segundo as necessidades específicas de Portugal.

4. RELEVÂNCIA ATUAL DAS TÉCNICAS CONSTRUTIVAS DE TERRA VS SUSTENTABILIDADE

Tal como referido, as técnicas construtivas de terra têm hoje interesse devido à existência de um vasto património constituído por construções com terra. No âmbito da conservação do património e da reabilitação de construção corrente, a utilização de materiais com base em terra assegura a compatibilidade com os materiais pré-existentes, respeitando estes edifícios. A utilização da terra tem também muito interesse no âmbito da construção atual, como o demonstra a crescente atenção de técnicos e utilizadores por todo o mundo. As principais razões do interesse crescente que esta nova construção em terra crua desperta, são as seguintes (Gonçalves & Gomes, 2012):

- As vantagens ambientais que proporciona:
 - O baixo consumo de energia associado ao fabrico dos materiais e até ao seu transporte, quando se utilizam materiais locais, que permite a cada vez mais procurada e necessária redução da “pegada de carbono” e, conseqüentemente, a redução das emissões de CO₂ devido à baixa energia incorporada. Esta redução poderá decorrer da utilização generalizada da terra em toda a construção ou de uma utilização parcial, por exemplo, só em paredes interiores ou revestimentos.
 - A facilidade de reutilização que, no caso dos elementos de terra não estabilizada, pode envolver apenas a simples desagregação e permite tornar a utilizar a totalidade do material.
- As enormes possibilidades arquitetónicas dos materiais de terra, que têm um carácter estético particular e extremamente atual.
- As vantagens económicas, por ser um material local e sem necessidade de transporte ou calcinação, de fácil extração e transformação, e com baixos custos de processamento.



- O contributo para o conforto térmico, hídrico e acústico que a terra proporciona, decorrentes da sua baixa condutibilidade térmica, da sua higroscopicidade (que favorece a regulação da humidade relativa dos ambientes (Gomes *et al.*, 2019) e da massa significativa das paredes de terra (que proporciona grande inércia térmica e bom isolamento acústico).

Duas das maiores limitações normalmente apontadas aos sistemas construtivos de terra crua são a baixa resistência sísmica e a sensibilidade à ação da água. Essas limitações têm que ser devidamente consideradas e avaliadas face às condições específicas de cada local. Poderão eventualmente ser ultrapassadas ou minimizadas, por exemplo, com recurso a disposições construtivas conforme exemplos apresentados por Gomes *et al.* (2009), nomeadamente a utilização de lintéis de coroamento, contrafortes, tirantes passivos, entre outros.

Julian Keable, *Rammed earth structures: a code of practice*

5. REFLEXÕES FINAIS

Não obstante todas as possibilidades e o grande interesse atual que a construção com terra suscita, há ainda várias questões a requerer investigação, nomeadamente:

- A necessária investigação de carácter tecnológico e económico sobre os sistemas construtivos (viabilidade de diferentes sistemas em regiões específicas), sobre os materiais (a caracterização de terras locais) e sobre a utilização da técnica numa construção sustentável – que se quer de natureza industrial mas sempre baseada no conhecimento das circunstâncias locais e visando uma boa adaptação a estas; e ainda a definição de disposições construtivas que permitam ultrapassar as limitações antes referidas, de resistência aos sismos e à ação da água.
- A compatibilidade dos materiais de terra com materiais modernos de construção é outro tema que exige atenção e uma melhor compreensão da patologia associada – construções novas vs. construções antigas reabilitadas. São sistematicamente verificados casos de ocorrência de degradação na interface entre a terra e materiais cimentícios, nomeadamente elementos construtivos de betão, em presença de humidade.
- A questão das vantagens ambientais, que é certamente um dos tópicos mais relevantes e mais referenciados nesta temática. Estas vantagens são, em geral, nomeadas de modo muito genérico. Julga-se que devem ser avaliadas com precisão pois podem ser diferentes para os diversos sistemas construtivos, bem como variar com os materiais e as tecnologias utilizados em cada caso. Como exemplo, seria interessante verificar qual o impacte ambiental para as diferentes técnicas construtivas e para os diferentes métodos manuais de execução da taipa, adobe e BTC face aos métodos semi-industriais, como a compactação da taipa com martelos pneumáticos, a produção de adobe com tratores adaptados ou a utilização de máquinas industriais para o fabrico de BTC e respetivo transporte; seria ainda interessante analisar a questão de como a incorporação de estabilizantes, nomeadamente cimento, poderá afetar a “reciclabilidade” do material e a sua energia incorporada face a outros blocos mais convencionais.

A análise e o esclarecimento destas e de outras questões específicas para cada região, relativas às vantagens e limitações da utilização da terra na construção permitirá, certamente, avanços consideráveis em direção a uma construção verdadeiramente ecoeficiente, com vista a uma economia mais circular.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se o financiamento, por parte da Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), ao projeto INDEEd – Regulação da qualidade do ar interior através da utilização de argamassas ecoeficiente (SAICT/23349/2016).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM E2392/E2392M-10 (2016). *Standard guide for design of earthen wall building systems*. ASTM. United States. Consultado a 03 de maio de 2019. Disponível em <https://www.astm.org/Standards/E2392.htm>.
- Balderrama, A. A. (2001). The Conservation of Earthen Architectures. *The Getty Conservation Institute Newsletter*, 16(1), 4–10.



- Blondet, M., Villa Garcia, M. G., Brzev, S., & Rubiños, A. (2011). *Earthquake-Resistant Construction of Adobe Buildings: A Tutorial*. 2nd edition. *The World Housing Encyclopedia*. Consulta a 28 abril 2012. Disponível em http://www.world-housing.net/wp-content/uploads/2011/06/Adobe_Tutorial.pdf.
- Bulletin 5. (1987). *Bulletin 5: Earth-Wall Construction*. *National Building Technology Centre*. 4th edition. Chatswood, Australia: CSIRO, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation.
- Cid, J., Mazarrón, F.R., & Cañas, I. (2011). Las Normativas de Construcción con Tierra en el Mundo. *Informes de la Construcción*, 63(523), 159–169. <https://doi.org/10.3989/ic.10.011>.
- Correia, M., & Merten, J. (2011). *Earthen Architecture in Portugal*. *Terra Europae: Earthen Architecture in the European Union*. In: Correia, M., Dipasquale, L., Mecca, S. (eds). Edizioni ETS. 165–167. ISBN: 9788846729576.
- DIN 18945 (2013). *Earth blocks: Terms and definitions, requirements, test methods*. Deutsche Industrie Normen. Berlin.
- DIN 18946 (2013). *Earth masonry mortar: Terms and definitions, requirements, test methods*. Deutsche Industrie Normen. Berlin.
- DIN 18947 (2013). *Earth plasters: Terms and definitions, requirements, test methods*. Deutsche Industrie Normen. Berlin.
- prDIN 18948 (2019). *Earth boards: Requirements and test methods*. Deutsche Industrie Normen. Berlin.
- E.080 (2017). *Diseño y construcción com tierra reforzada*. El Peruano. Peru.
- EBAA (2001). *Earth Building Book*. Wangaratta, Australia: Earth Building Association of Australia.
- Gonçalves, T., & Gomes, M. I. (2012). *Construções de Terra Crua: Potencialidades e Questões em Aberto*. 2^{as} Jornadas de Investigação e Inovação: Cidades e Desenvolvimento. LNEC, Lisboa. http://jornadas2012.lnec.pt/site_2_Cidades_e_Desenvolvimento/index.html.
- Gomes, M. I., Brito, J., & Lopes, M. (2009). *Design and Strengthening of Earth Construction in Seismic Areas*. 1st Mediterranean Conference on Earth Architecture. In: Achenza, M., Correia, M., Guillaud, H. (eds.). Edicom Edizioni. Cagliari, Italy, 505–515. ISBN: 978 88 86729956.
- Gomes, M. I., Gonçalves, T., & Faria, P. (2014). Unstabilised Rammed Earth: Characterization of Material Collected From old Constructions in South Portugal and Comparison to Normative Requirements. *International Journal of Architectural Heritage*, 8(2), 185–212. <http://dx.doi.org/10.1080/15583058.2012.683133>.
- Gomes, M. I., Gomes, J., & Faria, P. (2019). *Indoor Air Quality Regulation Through the Usage of Eco-Efficient Plasters*. *Earthen Dwellings & Structures: Current Status in their Adoption*. In: Venkatarama Reddy, B.V., Mani, M., Walker, P. (eds.). Springer Transactions in Civil and Environmental Engineering, 383–394. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-5883-8>.
- Gomes, R., & Folque, J. (1953). *O Uso da Terra Como Material Construção*. *Circular de Informação Técnica* N.º 9, Série D-4. LNEC, Lisboa.
- Houben, H., & Guillaud, H., (2006). *Earth Construction: A Comprehensive Guide*. Technology Intermediate Publications (1st edition 1994), ITDG Publishing, London.
- IS 13827 (1993). *Improving Earthquake Resistance of Earthen Buildings – Guidelines*. Indian Standard. New Delhi.
- Keable, J., (1996). *Rammed Earth Structure: a code of practice*, London: Intermediate Technology Publications Ltd
- Lehmbau Regeln. 2009. Begriffe, Baustoffe, Bauteile. 3. überarb. ed. Praxis Vieweg & Teubner. Wiesbaden, Germany: Dachverband Lehm e.V. (Hrsg.).
- Ma, C., Xie, Y., Long, G., Chen, B. & Chen L. (2018). An Integrated Strength-Calculation Model for Earth-Based Construction Prepared by Organic Clay. *Applied Clay Science*, 155, 74-83. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2018.01.014>.
- MOPT (1992). *Bases Para el Diseño y Construcción con Tapial*. Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica. Madrid, Spain.
- New México Earthen Building Materials Code (2006). Construction Industries Division (CID) of the Regulation and Licensing Department. Santa Fé, New Mexico. Code 14.7.4.2003.
- NF XP P13-901 (2001). *Blocs de Terre Comprime pour Murs et Cloisons*. Definitions, Spécifications, Méthodes d'essai, Conditions de Reception. AFNOR. Paris.
- NZS 4297 (1998). *Engineering Design of Earth Buildings*. Standards New Zealand. New Zealand.
- NZS 4298 (1998). *Materials and Workmanship for Earth Buildings*. Standards New Zealand. New Zealand.
- NZS 4299 (1998). *Earth Buildings Not Requiring Specific Design*. Standards New Zealand. New Zealand.
- Pinto, J., Cardoso, R., Paiva, A., Cunha, S., Cruz, D., Vieira, J., Louzada, J., & Varum, H. (2011). Caracterização de Paredes Tradicionais de Tabique. *Paredes Divisórias: Passado, Presente e*



- Futuro*, In: P.B. Lourenço et al. (eds.), 25-35.
- Ribeiro, O. (1969). Geografia e Civilização, em Temas Portugueses. *Colecção Espaço e Sociedade*, Livros Horizonte. Lisboa.
- SAZ (2001). Standard Code of Practice for Rammed Earth Structures -724. Harare: Standards Association of Zimbabwe. Zimbabwe.
- Schroeder, H., Ziegert, C. & Müller, U. (2012). Standardisation in earthen building in Germany: the current situation. 6th International Conference on Building with Earth, LEHM 2012. In: Dachverband Lehm e.V. Weimar, Germany, 57-71.
- Schroeder, H. (2018). The New DIN Standards in Earth Building – The Current Situation in Germany. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 12, 113–120. <https://doi.org/10.17265/1934-7359/2018.02.005>.
- Shubbar, A. A., Sadique, M., Kot, P. & Atherton, W. (2019). Future of Clay-Based Construction Materials – A Review. *Construction and Building Materials*, 210, 172–187. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.206>.
- Standards Australia & Walker, P. (2001). HB 195: The Australian Earth Building Handbook. Standards Australia International Ltd. Sydney, Australia.
- ThoughtCo. (2019). Making Compressed Earth Blocks,. [Consultado de abril de 2019]. Disponível em <https://www.thoughtco.com/build-an-earth-block-home-177668>.
- UNE 41410 (2008). Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo. AFNOR. Madrid.