

ENSAIOS DE AVALIAÇÃO DA DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES EM TERRA

Fernando Torgal

Unidade de Investigação C-TAC (Grupo de Construção Sustentável)
Universidade do Minho - Campus de Azurém, 4800-058 GUIMARÃES
Telf. (+351) 253 510 200; E-mail: torgal@civil.uminho.pt

Said Jalali

Departamento de Engenharia Civil
Universidade do Minho - Campus de Azurém, 4800-058 GUIMARÃES
Telf. (+351) 253 510 200; E-mail: said@civil.uminho.pt

Tema 3: Técnicas, Construção e I&DT

Palavras-Chave: Construção em terra, ensaios, durabilidade.

Resumo

As preocupações ambientais com que se confronta a sociedade actual fazem com que seja urgente repensar as actuais tecnologias construtivas tornando imperativas novas e mais sustentáveis formas de habitar. Neste contexto a construção em terra, reassume um papel que já antes teve e que infelizmente perdeu por força das inovações tecnológicas mas fundamentalmente pelo facto deste tipo de construção estar associado a populações com baixos níveis de rendimentos. Aquilo que se conhece em termos da durabilidade das construções em terra, resulta da constatação de que algumas construções em terra conseguiram perdurar durante dezenas e até centenas de anos, também do comportamento daquelas construções em ensaios de envelhecimento acelerado e mais recentemente da monitorização de troços experimentais de alvenarias de terra construídas para o efeito há algumas dezenas de anos atrás. A avaliação da durabilidade das construções em terra, pode ser efectuada de forma indirecta através da análise da resistência à compressão ou da sua permeabilidade, também com ensaios de desgaste ou de impacto mecânico ou mesmo de queda de água gota a gota. Um outro conjunto ensaios que permitem uma simulação da erosão em modo acelerado, respeitam à utilização de jactos de água. Ao longo dos últimos 50 anos diversos investigadores desenvolveram e utilizaram diversas variantes de ensaio de caracterização da durabilidade da construção em terra, os quais são objecto de apresentação no presente artigo.

1. INTRODUÇÃO

Até há bem pouco tempo, falar da construção em terra em Portugal, seria falar de uma construção utilizada num passado mais ou menos distante por franjas populacionais de fracos recursos económicos, que na impossibilidade de conseguirem adquirir materiais modernos como o aço, o cimento ou o tijolo, mais não lhes restava que utilizarem aquilo que a natureza fornecia de forma gratuita. Infelizmente e embalados por essa errónea convicção, esquecemo-nos de procurar justificações racionais, para o facto de países economicamente muito mais folgados do que o nosso, como a França ou a Alemanha, se terem empenhado há já algum tempo em valorizar e fomentar a construção em terra.

Na verdade, não existem quaisquer argumentos que não sejam os de ordem estritamente cultural que possam justificar a forma como depreciativamente olhamos para a construção em terra no nosso país. O panorama atrás descrito começou já felizmente a mudar, sendo hoje visíveis muitos exemplos no Alentejo e Algarve, que evidenciam um ressurgimento da construção em terra. Para além do caso da Câmara Municipal de Odemira que desde 2005 baixou substancialmente as taxas para a construção das habitações em taipa, ou mais recentemente o caso da Câmara Municipal de Vilamoura que este ano iniciou a construção de duas Escolas Básicas com alvenarias de adobe, juntam-se ainda vários empreendimentos turísticos junto da

Costa Vicentina e também várias moradias unifamiliares um pouco por todo o Sul do país. No entanto e comparativamente às centenas de milhares de fogos que caracterizam o parque habitacional Português, a construção em terra representa ainda uma percentagem tão reduzida que praticamente não tem expressão estatística.

Para além de vantagens várias relativamente à construção tradicional, como por exemplo ser menos propensa a doenças do foro respiratório, apresentar menor poluição e menor geração de resíduos, a construção em terra apresenta ainda vantagens em termos de poupanças energéticas substanciais, pelo que se torna assim evidente a necessidade de incentivar este tipo de construção, o qual passa no presente artigo pela análise dos ensaios que permitem inferir da sua durabilidade ao longo do tempo.

2. DURABILIDADE DA CONSTRUÇÃO EM TERRA

A palavra durabilidade provém do latim *durabilis*, que significa aquilo que é durável ou seja que perdura através do tempo. Contudo um material de construção, só pode considerar-se como sendo durável, quando consegue manter ao longo do tempo (vida útil), a sua capacidade de resistência à acção de forças e a sua integridade estrutural mesmo após ser sujeito a fenómenos de degradação mecânicos, físicos e químico quando colocado em serviço, quer por acção ambiental ou decorrente da actividade humana.

Aquilo que se conhece em termos da durabilidade das construções em terra, resulta da constatação de que algumas construções em terra conseguiram perdurar durante dezenas e até centenas de anos, também do comportamento daquelas construções em ensaios de envelhecimento acelerado e mais recentemente da monitorização de troços experimentais de alvenarias de terra construídas para o efeito há algumas dezenas de anos atrás.

O principal mecanismo responsável pela erosão das paredes de terra, tem que ver com a energia cinética do impacto das chuvas nas paredes feitas com aquele material (Heathcote, 1995, p.185). Este facto justifica, o pior comportamento das paredes de terra orientadas a Sul, direcção que está associada a chuvas com uma componente horizontal devida ao vento. Este autor sugere que a aferição da durabilidade de blocos de adobe, seja feita com recurso ao rácio resistência mecânica húmida/resistência mecânica em seco. Ogunye e Boussabaine (2002, p.163) referem que a chuva nem sempre tem um efeito erosivo nas paredes de terra, o que só sucede para intensidades a partir de 25mm/min.

Parte da elevada durabilidade das construções em terra, está associada à utilização de solos estabilizados com cimento ou cal e ou utilização de revestimentos que impeçam ou minimizem as patologias associadas à acção da água (Ngowi, 1997, p.1). Também Isik et al. (1999), referem que a forma mais eficaz para se conseguir um aumento da durabilidade dos adobes, passa pela sua compactação e a sua estabilização com aditivos. Soares et al. (2004, p.51), referem o caso de uma habitação em zona de elevada pluviosidade com paredes monolíticas em solo-cimento compactado, cuja vistoria após 1 ano revela não haver fissuração de paredes nem presença de humidades.

Bahar et al. (2004, p.811) estudaram adobes executados com areias argilosas do Leste da Argélia, revelando que um aumento da adição do teor de cimento de 5% para 20%, conduz a uma redução na permeabilidade à água de 14×10^{-8} m/s, para $0,27 \times 10^{-8}$ m/s, o que comprova a influência da estabilização na durabilidade deste material. Estes autores referem que os ensaios de envelhecimento acelerado conduziram à ruína total dos adobes executados com solo não estabilizado.

Achenza & Fenu (2006, p.21) observaram que a utilização de polímeros naturais contribui para o aumento da durabilidade da construção em adobe, pelo facto da sua adição aumentar a resistência à acção da água. Estes autores afirmam que blocos de adobe estabilizados com polímeros naturais, mantêm a sua integridade após 8 dias de imersão em água, sendo que os blocos não estabilizados se desintegram imediatamente após a imersão. Também observaram que blocos estabilizados com $40 \times 20 \times 10 \text{ cm}^3$, expostos durante 2 anos a um regime de chuva mediterrânico, não evidenciaram sinais de erosão.

Guettala et al. (2006, p.119), estudaram o desempenho de paredes de adobe com solo à base de caulinos e ilites, aditivado com diferentes estabilizadores (cimento, cal, cimento+cal, cimento + resinas). As paredes foram sujeitas a condições climáticas naturais no território Argelino e compararam-no com o comportamento do mesmo material, quando sujeito a ensaios para avaliação da durabilidade em contexto laboratorial. Estes autores referem que as paredes feitas com adobes aditivados, sujeitam a condições climáticas naturais, não apresentaram qualquer sinal de deterioração após 4 anos. Referem também que a maioria dos ensaios de caracterização da durabilidade, apresentam uma acção erosiva extremamente severa não reproduzindo de forma fidedigna as condições climáticas naturais. O melhor desempenho foi obtido nas misturas de solo+resinas, contudo estas apresentam o inconveniente de terem um custo muito elevado (8 vezes superior ao cimento).

Outros autores, avaliaram o desempenho de 104 troços de paredes de taipa com e sem estabilização, expostos durante 20 anos a condições climáticas naturais (Figura 1).



Fig.1 - Troços de paredes de taipa expostos durante 20 anos aos agentes atmosféricos:

- a) Parede em terra estabilizada com 5% de cal; b) Parede em terra sem estabilização (solo misturado); c) Parede em terra sem estabilização (Créditos: Bui et al., 2008, p.912).

O solo utilizado continha 16% de fracção argilosa (Ilite-40%, Caolinite-20% e Esmeclite-40%) e os seus limites de consistência eram respectivamente Limite de liquidez=27%, Limite de plasticidade=19% e Índice de Plasticidade=8. Os mesmos autores referem que a a erosão média dos troços de paredes de taipa foi de 2mm (5% da espessura da parede). Sendo que essa erosão era de 6,4 mm (1,6% da espessura da parede), no caso das paredes estabilizadas com 5% de cal hidráulica. Resultados cuja extrapolação aponta para uma vida útil de 60 anos para as paredes de taipa com solo não estabilizado, o que permitirá dispensar o uso de revestimentos. Por outro lado, a utilização de solo não estabilizado, permite ainda a sua reciclagem integral.

Atzeni et al. (1993,p.564) refere que a utilização de 2% por massa de cimento de um polímero acrílico, obtido por dispersão de 30% em água, permite reduções efectivas da capilaridade do solo estabilizado com cimento. Heathcote (1995,p.185) sugere um valor entre 0,33 a 0,50 para o rácio da resistência húmida (terra em estado saturado) versus resistência em seco (Rh/Rs), como um valor aceitável dependendo da severidade da chuva na zona em causa.

Alguns autores analisaram a resistência à compressão de troços de paredes de taipa ($108 \times 16 \times 63 \text{ cm}^2$), estabilizados com 6% de cimento, os quais foram imersos em água durante 24 e obtiveram valores para o rácio Rh/Rs entre 0,46 a 0,64 (Tabela 1).

Tabela 1 - Rácio (Rh/Rs) em Paredes de Taipa
(Créditos: Jayasinghe, Kamaladasa, 2007,p.1971)

Solo	Cimento (%)	Rh (MPa)	Rs (MPa)	Rh/Rs
Solo laterítico	6	1,3	2,03	0,64
Solo argiloso	6	0.85	1,82	0,46

3. ENSAIOS DE AVALIAÇÃO DE DURABILIDADE

A avaliação da durabilidade das construções em terra, pode ser efectuada de forma indirecta através da análise da resistência à compressão ou da permeabilidade, também com ensaios de desgaste ou ao impacto mecânico ou de queda de água gota a gota (Tabela 2).

Tabela 2 - Avaliação da Durabilidade das Construções em Terra
(Créditos: Heathcote, 2002).

Ensaio	Tipos de ensaios		
	Indirectos	Simulação	Erosão acelerada
Resistência à compressão	x		
Resistência superficial	x		
Permeabilidade	x		
Desgaste	x		
Queda de água gota a gota	x	x	
Jacto de água			x

Um outro conjunto ensaios que permitem uma simulação da erosão em modo acelerado, respeitam à utilização de um jacto de água (Heathcote,2002). É obviamente discutível que os ensaios de desgaste e de queda de água não sejam no entender do autor referido, considerados como ensaios de desgaste acelerado.

Ensaio “Geelong Test” - Entre os ensaios de erosão para provetes de terra, o ensaio Geelong foi especificamente concebido para provetes de adobe (Walker,2000,p.176). No entanto Brito (2008,p.36) refere a possibilidade da sua utilização em provetes de taipa com $300 \times 300 \times 125 \text{ mm}$. O ensaio consiste em fazer cair sobre um provete inclinado 30° , uma determinada quantidade de água, gota a gota, de uma altura de 400mm com recurso a um feltro embebido num recipiente de água. O ensaio termina quando o volume de água pingada for de 100ml, o que deve acontecer ao fim de 30 minutos (Nzs 4297 e Nzs 4298, 1998). O grau de erosão é dado pela profundidade do desgaste provocado pela queda da água no bloco de terra, sendo que para profundidades superiores a 15mm se considera que os provetes devem ser rejeitados. Achenza e Fenu (2006, p.21) utilizaram o “Geelong Test” em provetes de terra estabilizados com polímeros naturais, não tendo aqueles revelado qualquer desgaste. Estes autores observaram uma profundidade do desgaste de 2mm, quando os provetes foram sujeitos novamente ao mesmo ensaio.

Ensaio acelerado de erosão SAET - O ensaio consiste em deixar cair um fio de água durante 10 minutos, sobre um provete inclinado a 30°, a partir de um reservatório a 1500 mm da superfície do provete. Os resultados do desgaste são obtidos a partir da profundidade de desgaste provocada pela queda de água, sendo que os provetes com uma profundidade de desgaste superior a 30mm são considerados não aptos. Relativamente aos ensaios de erosão acelerada, que passam pela aplicação de um jacto de água contra os provetes de terra, foram desenvolvidas nos últimos 50 anos diversas variantes para o efeito que se apresentam na Tabela 3.

Tabela 3 - Ensaios de Erosão Acelerada com Jacto de Água
(Créditos: Maniatidis, Walker, 2003).

	Distância (mm)	Pressão (kPa)	Jacto	Tempo (minutos)
Israel (Cytryn, 1955)	250 vert.	50	Spray	33
Austrália - CSIRO	470 vert.	50	Spray	60
Dep. Housing Washington	175 hor.	137	Chuveiro	120
Norton	180 hor.	137	Chuveiro	120
Houben & Guillaud	200 hor.	140	Chuveiro	120

Ensaio acelerado de erosão Bulletin 5 - Este ensaio foi desenvolvido na Austrália no início da década de 80 e tem o nome do documento onde estava incluído. O ensaio consiste na aplicação de um jacto de água horizontal a uma pressão de 50 KPa (o que corresponde a uma velocidade de 10 m/s), durante 1 hora ou até o grau de erosão atravessar o provete (Figura 2a). A cada período de 15 minutos interrompe-se o teste para medir a profundidade da erosão. A profundidade da erosão ao fim uma hora é expressa em mm por minuto. Heathcote & Moore (2003), afirmam no entanto que este ensaio não reproduz a acção da chuva pois o seu efeito é muito intenso e localizado deixando buracos nos provetes (Figura 2b).



Fig. 2. Ensaio acelerado de erosão Bulletin 5:
a) Ensaio; b) Provede erodido (Créditos: Heathcote e Moore, 2003)

Ensaio acelerado de erosão - University of Technology Sydney (UTS) - O ensaio UTS levado a cabo por Heathcote e Moore (2003), é um aperfeiçoamento do ensaio Bulletin 5, que embora utilizando uma pressão de água superior produz um efeito erosivo mais distribuído em virtude da utilização de um tipo específico de chuveiro (Figura 3).



Fig. 3. Ensaio acelerado de erosão UTS (Créditos: Heathcote & Moore, 2003)

Estes autores sugerem que com este ensaio, pode estimar-se a profundidade da erosão sofrida pela parede durante uma vida útil de 50 anos, que será igual ao dobro da obtida no ensaio durante 120 minutos. Minke (2007,p.89) sugere um ensaio de erosão acelerado que permite o ensaio de 6 provetes em simultâneo, com recurso a mangueiras de 6mm de diâmetro e uma velocidade de 3,24 m/s, que segundo o autor pretende simular as condições de chuva mais severas na zona Europeia. Este autor afirma que para o ensaio referido, bastam 4 minutos para iniciar a erosão num solo estabilizado, sendo necessários 60 minutos para produzir a mesma acção num solo estabilizado. Refere ainda que solos estabilizados com 6% de óleo de linhaça sujeitos ao ensaio de erosão acelerado não mostraram qualquer sinal de erosão mesmo após 7 dias de ensaio.

Durabilidade a ciclos gelo-degelo - O principal procedimento experimental usado para aferir o desempenho das construções de alvenaria de taipa estabilizadas com cimento é a especificação ASTM D560 . Neste ensaio submetem-se provetes saturados de taipa a 12 ciclos de gelo/degelo. Após cada ciclo de degelo é feita a remoção das partículas soltas e no fim do ensaio avalia-se a percentagem de perda de massa, se esta for inferior ao valor especificado os provetes são considerados aptos (Maniatidis e Walker, 2003).

4. CONCLUSÕES

O presente artigo aborda os diversos ensaios de previsão da durabilidade da construção em terra. Sendo a energia cinética do impacto das chuvas nas paredes feitas com aquele material o principal mecanismo responsável pela degradação das paredes de terra, surge como facto natural que os ensaios de avaliação da durabilidade mais relevantes, tentem simular a acção da chuva nas paredes de terra.

Bibliografia

Achenza, M.; Fenu, L. (2006) On earth stabilization with natural polymers for earth masonry construction. *Materials And Structures* 39. Nanterre: Editora Springer, pp. 21-27.

Atzeni, C., Massidda, L; Sanna, U. (1993) Technological properties of earth-based construction materials treated with cement or acrylic polymer. *7ª Conferência Internacional sobre o Estudo e Conservação da Arquitectura em Terra*. Lisboa: DGEMN, pp 564–568

Bahar, R.; Benazzoug, M.; Kenai, S. (2004) Performance of compacted cement-stabilised soil. *Cement & Concrete Composites* 26. Amsterdam: Editora Elsevier B.V., pp.811-820.

Brito, J. (2008) Ensaio expeditos e de campo para selecção de terra para a execução de taipa. 4ª Parte. Características do solo para a execução de taipa – 4ª Parte. *Revista Construção Magazine*. Porto: Editora Publindústria pp.36-37.

Bui, Q.B.; Morel, J.C.; Venkatarama, B.V.; Ghayad, W. (2008) Durability of rammed earth walls exposed for 20 Years to natural weathering. *Building And Environment* 44. Amsterdam: Editora Elsevier B.V., pp. 912-919.

Guettala, A.; Abibsi, A.; Houari, H. (2006) Durability study of stabilized hearth concrete under both laboratory and climatic conditions exposure. *Construction And Building Materials* 20. Amsterdam: Editora Elsevier B.V., pp.119-127.

Heathcote, K.A. (1995). Durability of earthwall buildings. *Construction And Building Materials* 9. Amsterdam: Editora Elsevier B.V., pp.185-189.

Heathcote, K.A. (2002) An Investigation into the erodibility of earth wall units. Phd Thesis, University of Technology Sydney.

Heathcote, K.; Moore, G. (2003) The UTS durability test for earth wall construction. [Www.Dab.Uts.Edu.Au/Ebrf/Research/Leipzig-Paper.Doc](http://www.dab.uts.edu.au/Ebrf/Research/Leipzig-Paper.Doc)

Isik, B.; Ozdemir, P.; Boduroglu, H. (1999) Earthquake aspects of proposing gypsum stabilized earth (Alker) Construction for housing in the South East area of Turkey. *Workshop on Recent Earthquakes and Disaster Prevention Management*, Ankara.

Jayasinghe, C.; Kamaladasa, N. (2007) Compressive strength of cement stabilized rammed earth walls. *Construction And Building Materials* 21. Amsterdam: Editora Elsevier B.V., pp.1971-1976.

Maniatidis, V.; Walker, P. (2003) A Review of rammed earth construction. University of Bath.

Minke, G. (2007) Building with earth – 30 Years of research and development at the University of Kassel. *T1a Cesb 07 Conference*, Prague, pp.89-98.

Ngowi, A. (1997) Improving the traditional earth construction: A case study in Botswana. *Construction And Building Materials* 11. Amsterdam: Editora Elsevier B.V., pp.1-7.

Nzs 4297 (1998) New Zealand Standards, Engineering design of earth buildings. New Zealand.

Nzs 4298 (1998a) New Zealand Standards, Material and Workmanship for earth buildings. New Zealand.

Ogunye, F.O.; Boussabaine, H. (2002). Diagnosis of assessment methods for weatherability of stabilized compressed soil blocks. *Construction And Building Materials* 16. Amsterdam: Editora Elsevier B.V., pp.163-172.

Soares, J.; Tomazetti, R.; Pinheiro, R. (2004) Habitação em paredes monolíticas de solo-cimento. *Teoria e Prática da Engenharia Civil* 5. Rio Grande: Editora Dunas, pp.51-57.

Walker, P. (2000) Review and experimental comparison of erosion tests for earth blocks. In: Terra 2000, *8th International Conference on the study and conservation of earthen architecture*. ICOMOS, Torquay, UK, pp.176-181.

Curriculum

Fernando Pacheco Torgal, Engenheiro Civil (FCT/U.Coimbra, 1993), Projectista e Director de Obras (1993-2003), Mestre em Engenharia Civil (FCT/U.Coimbra, 2002), Doutor em Engenharia Civil (UBI, 2007), Investigador na Unidade C-TAC da Universidade do Minho, autor de aprox.100 artigos publicados em revistas e actas de conferências.

Said Jalali, Engenheiro Civil (U.Teerão, 1969), Projectista e Director de Obras (1969-1984), Mestre em Engenharia Civil (FCT/U.Nova, 1985), Doutor em Engenharia Civil (U.Coventry, 1991), Professor Catedrático na Universidade do Minho, autor de aprox.180 artigos publicados em revistas e actas de conferências.