

CARACTERIZAÇÃO DE BLOCOS DE TERRA COMPRIMIDA



D. RIBEIRO

Mestrando Eng. Civil
FCT NOVA
Caparica; Portugal
dds.ribeiro@campus.fct.unl.pt



V. SILVA

Bolseiro Eng. Civil
FCT NOVA
Caparica; Portugal
vmd.silva@fct.unl.pt



P. FARIA

Prof. Associada Eng. Civil
FCT NOVA
Caparica; Portugal
paulina.faria@fct.unl.pt

RESUMO

A construção com recurso a terra tem vantagens a níveis ambiental e económico. No entanto, a variedade na composição dos solos dificulta a normalização deste tipo de construção sendo necessário existir um maior conhecimento das características destes materiais. No presente artigo apresentam-se os principais aspetos da normalização existente a nível mundial para caracterização de blocos de terra comprimida, estabilizados e não estabilizados, procurando comparar os aspetos em comum. Apresenta-se como estudo de caso a caracterização de um tipo de blocos de terra comprimida estabilizados por adição de baixa percentagem de cimento, realizado com solos locais, com formulação não otimizada para a produção de blocos por pessoal não especializado. Tendo em conta os resultados obtidos e a análise da normalização existente salienta-se a importância de ser estabelecida uma norma nacional ou Europeia que permita caracterizar e classificar os blocos de terra comprimida produzidos e aplicados em Portugal.

1. INTRODUÇÃO

A construção com recurso a materiais provenientes do próprio local, como é o caso da terra, tem vantagens a níveis ambiental e económico, uma vez que a obtenção do material envolve maioritariamente um simples processo de escavação, destorroamento e homogeneização. No entanto, a variedade existente na composição dos solos dificulta a normalização da construção com terra, havendo necessidade de um maior conhecimento das características deste tipo de construção e dos materiais de terra utilizados.

As alvenarias constituídas por blocos de terra comprimida (BTC), estabilizados através da adição de uma baixa percentagem de ligante ou não estabilizados, pelas características da sua matéria-prima de base (a argila da terra) e pela massa apresentada, apresentam um elevado potencial higrotérmico e acústico para melhorar as condições de conforto dos edifícios. A estabilização dos BTC permite obter melhor comportamento mecânico, redução da porosidade e limitação das variações de volume, com controlo da retração, aumento da resistência à fendilhação e redução de permeabilidade à água líquida. No entanto, aumenta a energia incorporada, função do tipo e quantidade de ligante introduzido.

A consciencialização face à importância de uma construção mais eco-eficiente levou a uma renovação do interesse neste tipo de técnica de alvenarias. Assim, a alvenaria com recurso a BTC tem sido objeto de estudo em vários países de todo o mundo, como são os casos da Colômbia, Brasil, Espanha e Alemanha, culminando na publicação de normas de requisitos, NTC 5324 [1], NBR 8491 [2], UNE 41410 [3] e DIN 18945 [4], respetivamente.

Neste artigo apresenta-se uma comparação entre os requisitos e métodos de ensaio para BTC definidos nas normas

referidas [1, 2, 3, 4], procurando salientar os aspetos em comum, para BTC estabilizados ou não estabilizados. Apresenta-se como caso de estudo a caracterização de um tipo de BTC, estabilizados através da adição de cimento, produzidos no âmbito do *Workshop de Blocos de Terra Comprimida* realizado em Outubro de 2015 na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa em colaboração com a Associação Centro da Terra. São apresentados e discutidos os resultados obtidos procurando classificá-los de acordo com algumas das normas referidas [3, 4] e comparar os resultados com os obtidos por outros autores em estudos anteriores.

2. NORMALIZAÇÃO EXISTENTE SOBRE BLOCOS DE TERRA COMPRIMIDA

2.1 Considerações gerais

A norma Colombiana NTC 5324 de 2004 [1] tem por base a norma francesa NF XP P 13-901 [5] de 2001 que define os requisitos, especificações e métodos de ensaio para BTC. Aplica-se a BTC estabilizados por adição de cimento, obtidos por compressão estática ou dinâmica, e define os requisitos quanto às dimensões, aspeto e defeitos, absorção de água por capilaridade, variações dimensionais em condições extremas, resistência à compressão seca e húmida e resistência à abrasão.

A norma Brasileira NBR 8491 [2] abrange os BTC estabilizados através da adição de cimento, sem função estrutural, produzidos de acordo com a norma NBR 10833 [6] com recurso a prensa manual ou hidráulica. Os BTC devem ser analisados quanto às dimensões, resistência à compressão e absorção de água.

A norma Espanhola UNE 41410 [3] define os requisitos e métodos de ensaio para BTC produzidos por compressão estática ou dinâmica de terra húmida, seguida de desmoldagem imediata. Abrange blocos não estabilizados e estabilizados quimicamente; no caso de estabilização com cimento, cal ou gesso o teor deve ser inferior ou igual a 15% da massa seca do bloco. Os BTC devem ser analisados quanto às dimensões, aspeto e defeitos, massa volúmica aparente e absoluta, teor de matéria orgânica e sais da terra, resistência à compressão, resistência a ciclos de humedecimento/secagem, resistência à erosão acelerada, absorção de água por capilaridade, resistência a ciclos de gelo/degelo, propriedades térmicas, permeabilidade ao vapor de água, reação ao fogo e aderência.

De acordo com a norma DIN 18945 [4] os BTC não estabilizados devem ser classificados segundo classes de aplicação: Ia – estrutura de madeira, preenchida por blocos de terra com reboco, exposta à intempérie; Ib – alvenaria exterior com reboco uniforme exposta à intempérie; II – alvenaria exterior protegida da intempérie ou alvenaria interior; III – aplicações secas (blocos empilhados). Alguns dos requisitos referidos na norma [4] variam de acordo com a classe de aplicação. Os BTC devem ser analisados quanto às dimensões, teor de sais, massa volúmica aparente, resistência à compressão, deformação sob carregamento, ensaio de imersão, absorção de água por capilaridade, resistência a ciclos de gelo/degelo, resistência à difusão de vapor, condutibilidade térmica e resistência ao fogo.

2.2 Propriedades geométricas dos blocos de terra comprimida

De acordo com a norma colombiana [1] os BTC devem ser analisados quanto às variações dimensionais em condições extremas. A norma [1] refere que a retração devido à colocação dos BTC num ambiente com temperaturas entre 33 e 45°C deve ser no máximo 0,45mm/m, enquanto que a expansão por imersão dos BTC em água deve ser no máximo 0,30mm/m.

Na Tabela 1 apresentam-se os requisitos geométricos e ensaios comuns às normas em análise [1, 2, 3, 4].

Ao analisar os requisitos dimensionais de cada norma é possível verificar que a DIN 18945 [4] abrange uma maior gama de dimensões de blocos, sendo admitidos desvios em todas as normas analisadas. De acordo com as normas [1, 2, 3, 4], todos os BTC devem ter a forma de um paralelepípedo.

A norma NTC 5324 [1] e a norma UNE 41410 [3] referem que os BTC devem cumprir determinados requisitos quanto ao aspeto e defeitos que apresentam. Os limites para o cumprimento dos requisitos quanto aos destacamentos e microfissuras por parte dos BTC são iguais em ambas as normas [1, 3].

Tabela 1 – Requisitos geométricos dos blocos de terra comprimida.

	NTC 5324	NBR 8491	UNE 41410	DIN 18945
Dimensões	Duas dimensões correntes de fabrico, admitindo pequenos desvios. <ul style="list-style-type: none"> • 140x95x295 mm • 220x95x220 mm 	Análise dimensional realizada de acordo com a NBR 8492 [7]. Duas dimensões correntes admitindo outras dimensões desde que comprimento > largura. <ul style="list-style-type: none"> • 100x50x200 mm • 120x70x240 mm 	Análise dimensional realizada de acordo com a UNE-EN 772-16 [8], não indicando dimensões correntes.	Abrange uma vasta gama de dimensões, apresentando dimensões mínimas, máximas e nominais. Refere também os desvios dimensionais possíveis.
Aspeto e Defeitos	BTC devem ter faces planas e arestas retilíneas. Destacamentos nos vértices e arestas e microfissuras são aceitáveis caso cumpram os limites referidos.	-	BTC devem ter faces planas e arestas retilíneas. Destacamentos nos vértices e arestas e microfissuras são aceitáveis caso cumpram os limites referidos.	-

2.3 Massa volúmica dos blocos e limite de sais dos constituintes

Analisando as normas [1, 2, 3, 4] é possível verificar que apenas as normas espanhola [3] e alemã [4] têm em conta a massa volúmica e o teor de sais, como se apresenta na Tabela 2. A UNE 41410 [3] faz ainda referência ao teor de matéria orgânica admitido e massa volúmica absoluta no caso de existirem exigências acústicas.

Tabela 2 – Massa volúmica dos blocos de terra comprimida e teor de sais da terra.

	UNE 41410	DIN 18945
Massa volúmica	Determinada de acordo com a UNE EN 772-13 [9]. No caso de existirem exigências acústicas deve ainda ser determinada a massa volúmica absoluta de acordo com a mesma norma [9].	Determinada de acordo com o referido na DIN [4], com classificação em classes com um mínimo de 0,4 kg/dm ³ e um máximo de 2,2 kg/dm ³ .
Teor de sais	O teor de sais solúveis da terra que constitui os BTC não pode ser $\geq 2\%$ e deve ser determinado de acordo com a UNE 103205 [10].	Limites para o teor de nitratos ($\leq 0,02$ M.-%), sulfatos ($\leq 0,10$ M.-%) e cloretos ($\leq 0,08$ M.-%). Nenhum sal pode exceder 0,12 M.-%.

Através da comparação entre a UNE [3] e a DIN [4] verifica-se que esta última permite a classificação segundo classes de massa volúmica e apresenta uma limitação mais baixa no que diz respeito ao teor de sais. A UNE 41410 [3] refere que o teor de matéria orgânica da terra que constitui os BTC não pode ser $\geq 2\%$ e deve ser determinado de acordo com a UNE 103204 [11].

2.4 Propriedades mecânicas dos blocos de terra comprimida

A resistência à compressão é uma propriedade comum a todas as normas estudadas [1, 2, 3, 4]. Na Tabela 3 apresentam-se os requisitos relativos a esta propriedade e os métodos de ensaio indicados por cada norma.

De acordo com a Tabela 3 verifica-se que apenas a norma NBR 8491 [2] não permite classificar os BTC segundo classes de resistência, indicando apenas um valor médio mínimo e um valor individual mínimo. Verifica-se também que a NTC 5324 [1] e a NBR 8491 [2] indicam um procedimento de ensaio semelhante, diferindo apenas na composição da junta de assentamento que interliga os dois meios blocos. A UNE 41410 [3] e a DIN 18945 [4] permitem o ensaio direto do BTC entre os pratos da prensa sendo que, no caso da norma alemã [4], o ensaio direto só é indicado para alturas nominais superiores a 71 mm. A norma alemã [4] permite a classificação de uma maior gama de resistências à compressão.

Tabela 3 – Resistência à compressão de acordo com as normas em análise.

	NTC 5324	NBR 8491	UNE 41410	DIN 18945
Resistência à compressão	Ensaio realizado sobre dois meios blocos sobrepostos, interligados por argamassa de cimento e areia ao traço 1:5 em volume. Meios blocos secos até massa constante e submersos em água durante 2 horas. Classes de resistência à compressão seca entre 2 e 6 N/mm ² e classes de resistência à compressão húmida entre 1 e 3 N/mm ² .	Ensaio realizado de acordo com a NBR 8492 [7] em dois meios blocos sobrepostos, interligados com uma camada fina de pasta de cimento. A resistência à compressão média dos blocos deve ser ≥ 2 N/mm ² sem nenhum valor individual $\leq 1,7$ N/mm ² .	Ensaio realizado de acordo com a UNE EN 772-1 [12] num bloco inteiro. Classificação segundo classes de resistência com um mínimo de 1,3 N/mm ² e máximo de 5 N/mm ² .	Ensaio realizado diretamente sobre o bloco para alturas nominais > 71 mm; para altura ≤ 71 mm é realizado em dois meios blocos sobrepostos, interligadas por argamassa de cimento. Classificação segundo classes de resistência com um mínimo de 2,5 N/mm ² e máximo de 7,5 N/mm ² . Nenhum valor individual $\leq 2,0$ N/mm ² .

Ao analisar a normalização de cada país é possível verificar que existem requisitos particulares em cada norma. A norma NTC 5324 [1] refere que os BTC sujeitos a abrasão resultante da atividade humana devem ser analisados quanto a essa ação. O ensaio deve ser realizado com recurso a uma escova metálica sobre a qual se coloca um peso e se efetuam escovagens sucessivas durante um minuto. Determina-se o coeficiente de abrasão através do quociente entre a área de abrasão e a variação de massa. A norma [1] permite a classificação do BTC segundo classes tendo em conta o coeficiente de abrasão.

De acordo com a DIN [4] os BTC devem ser analisados quanto ao módulo de elasticidade estático. É utilizado um ensaio cíclico com amplitude máxima de 1/3 da carga de rotura sendo o módulo de elasticidade determinado ao terceiro ciclo. Segundo a norma [4], os BTC utilizados em paredes resistentes devem ter um módulo de elasticidade estático ≥ 750 N/mm².

Segundo a UNE 41410 [3], os BTC utilizados em paredes resistentes devem ser analisados quanto à resistência inicial ao corte de acordo com a UNE EN 1052-3 [13].

2.5 Comportamento face à água e gelo

A norma espanhola [3] faz referência a dois requisitos que não são apresentados nas outras normas em análise [1, 2, 4]. De acordo com a UNE [3] os BTC submetidos a exposição severa devem ser ensaiados quanto à resistência à erosão acelerada através da queda de uma corrente contínua de água de uma altura de 1 m sobre um BTC inclinado durante 10 minutos. O BTC é considerado apto se profundidade da cavidade provocada pela queda da água está entre 0 e 10mm. A norma [3] refere também que os BTC submetidos a esse tipo de exposição devem ser analisados quanto à resistência a ciclos de humedecimento e secagem. O ensaio consiste na imersão do BTC em água durante 30 segundos, seguido de secagem ao ar até atingir a cor do BTC de referência. Após 6 ciclos o BTC deve ser analisado visualmente, não se devendo observar o tipo de anomalias referidas na UNE 41410 [3] como por exemplo eflorescências na superfície, modelo de fissuras aleatório, destacamento geral ou localizado de camadas de solo, deformações.

Na Tabela 4 apresentam-se os requisitos e métodos de ensaio que permitem avaliar o comportamento dos BTC face à água e gelo. No que diz respeito à absorção de água por capilaridade, a NTC [1] e a UNE [3] definem o mesmo procedimento de ensaio, enquanto a DIN [4] procura avaliar as anomalias provocadas por essa absorção. Quanto ao ensaio de imersão, a NBR [2] procura avaliar o ganho de massa enquanto a norma DIN [4] avalia a perda de massa. Das quatro normas analisadas [1, 2, 3, 4] apenas a DIN [4] apresenta efetivamente requisitos quanto à resistência a ciclos de gelo/degelo. As normas UNE [3] e DIN [4] remetem a determinação da permeabilidade ao vapor de água para a EN ISO 12572 [14].

Tabela 4 – Comportamento face à água e gelo dos blocos de terra comprimida, requisitos e métodos de ensaio.

	NTC 5324	NBR 8491	UNE 41410	DIN 18945
Absorção de água por capilaridade	Ensaio e determinação do coeficiente de absorção: • BTC fracamente capilares – $C_b \leq 20 \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{min}^{1/2})$ • BTC pouco capilares – $C_b \leq 40 \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{min}^{1/2})$	-	Ensaio e determinação do coeficiente de absorção realizados de acordo com a UNE EN 772-11 [15]. Mesmo procedimento de ensaio que NTC [1]. Não são definidos requisitos.	Colocação do BTC num recipiente com uma lâmina de água. Após 30 minutos (BTC tipo II), 3 horas (BTC tipo Ib) e 24 horas (BTC tipo Ia) não se devem observar fissuras e deformações nas faces laterais e superior.
Ensaio de imersão	-	De acordo com a NBR 8492 [7], o BTC é imerso em água durante 24 horas. A massa de água absorvida resulta do quociente entre a variação de massa e a massa inicial. A absorção média deve ser $\leq 20\%$ sem nenhum valor individual $> 22\%$.	-	Após imersão do BTC em água durante 10 minutos, a perda de massa para os BTC do tipo Ia e Ib deve ser $\leq 5\%$ e para os BTC do tipo II $\leq 15\%$.
Resistência a ciclos de gelo / degelo	-	-	O fabricante deve declarar a resistência aos ciclos de gelo/degelo, tendo em conta a experiência conhecida da zona em que os BTC serão aplicados.	O BTC é colocado numa câmara de congelação até atingir -15°C e mantido durante 34 horas, seguido de ambiente a 23°C durante 24 horas (1 ciclo). Após 5 ciclos (BTC do tipo Ib) e 15 ciclos (BTC do tipo Ia) não se devem observar fissuras e deformações.
Permeabilidade ao vapor de água	-	-	Determinada de acordo com a EN ISO 12572 [14].	Pode ser admitido o fator de resistência à difusão de vapor $\mu=5/10$ ou determinada a permeabilidade ao vapor de água de acordo com a EN ISO 12572 [14].

2.6 Propriedades térmicas e reação ao fogo dos blocos

Na Tabela 5 apresentam-se os métodos de ensaio que dizem respeito às propriedades térmicas e reação ao fogo. No que diz respeito à reação ao fogo apenas a norma DIN [4] refere que a classe dos BTC deve ser determinada de acordo com as normas DIN 4102-1 [16] e DIN 4102-4 [17].

Tabela 5 – Propriedades térmicas e reação ao fogo dos blocos de terra comprimida.

	UNE 41410	DIN 18945
Propriedades térmicas	Propriedades térmicas determinadas de acordo com a UNE EN 1745 [18].	Condutibilidade térmica determinada de acordo com a norma DIN V 4108-4 [19].
Reação ao fogo	O fabricante deve declarar a classe de reação ao fogo dos BTC utilizados em elementos com exigências de resistência ao fogo.	Classe dos BTC determinada de acordo com a DIN 4102-1 [16] e a DIN 4102-4 [17]. Os BTC sem constituintes orgânicos ou fibras podem ser classificados como sendo da classe A1 sem realização de ensaio.

3. CARACTERIZAÇÃO DE UM TIPO DE BLOCO DE TERRA COMPRIMIDA

3.1 Considerações gerais relativas ao estudo de caso

Os BTC são constituídos por 50% de solo local escavado no Campus da Caparica da FCT NOVA (solo muito siltoso sem agregados grosseiros), 50% de areão da Charneca da Caparica (também local) e 5% de cimento Portland CEM II 32,5N. A necessidade da estabilização com cimento deveu-se às restantes matérias-primas apresentarem, através de ensaios expeditos realizados in situ (nomeadamente de sedimentação por agitação e deposição em frasco com água), muito pouca argila, uma vez que não se seleccionaram materiais otimizados para a produção de BTC. A mistura foi realizada mecanicamente com o auxílio de uma betoneira elétrica onde se colocou o areão, o solo siltoso e o cimento, misturando os materiais até se obter uma coloração uniforme. Adicionou-se gradualmente água até se atingir a consistência desejada (húmida). Seguidamente, a mistura foi colocada sucessivamente num molde da prensa manual, que a compactou, seguindo-se desmoldagem imediata do bloco produzido. Os BTC, com dimensões 140mm x 90mm x 295mm, foram empilhados e sujeitos a cura em condições de ambiente exterior. Todo o processo de produção foi realizado por estudantes de Engenharia Civil e por uma Arquitecta, todos sem experiência prévia.

De modo a avaliar a influência do teor de água nas características dos BTC, após o processo de cura, foram colocados nove BTC em condições *standard* ($20\pm 2^\circ\text{C}$ de temperatura e $65\pm 5\%$ de HR) e outros tantos em condições de elevada humidade relativa ($20\pm 2^\circ\text{C}$ de temperatura e $90\pm 5\%$ de HR) até atingirem massa constante.

3.2 Procedimentos de ensaio adotados

A massa volúmica aparente dos BTC foi determinada com base na DIN 18945 [4], tendo sido utilizados os nove BTC em condições *standard* e outros tantos em condições de elevada humidade relativa, uma craveira digital e uma balança com 0,1 g de precisão.

A resistência à compressão simples dos BTC foi avaliada de acordo com as normas UNE 41410 [3] e DIN 18945 [4], com recurso a um equipamento de tração Zwick-Rowell Z050 com uma célula de carga de 50 kN.

De acordo com a UNE 41410 [3] a resistência à compressão pode ser aferida diretamente sobre um bloco inteiro, sendo o mesmo indicado pela norma DIN 18945 [4] para BTC com uma altura superior a 71 mm. O ensaio foi realizado nos dezoito blocos de terra das duas condições de cura com uma área de compressão de 140 mm x 167 mm.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 6 é possível observar os resultados obtidos na caracterização dos BTC, através dos ensaios de massa volúmica aparente e resistência à compressão.

Tabela 6 – Resultados dos ensaios de massa volúmica e resistência à compressão.

Condição ambiente	Elevada HR	<i>Standard</i>
Massa volúmica [kg/dm^3]	$1,80 \pm 0,06$	$1,81 \pm 0,06$
Resistência à compressão [N/mm^2]	$0,88 \pm 0,10$	$1,38 \pm 0,24$

Ao analisar os resultados, verifica-se que a massa volúmica obtida em condições *standard* e de elevada HR é praticamente idêntica; no entanto, seria expectável que em condições de elevada HR a massa volúmica fosse superior devido à possibilidade dos BTC adsorverem maior teor de água. Este facto pode ser justificado pelos pequenos destacamentos, visíveis em arestas de alguns blocos em condições de elevada HR, implicarem uma diminuição da massa, não tendo sido feita, no entanto, uma correção ao volume do bloco. Os resultados obtidos são semelhantes aos do estudo realizado por McGregor et al. [20] que obteve uma massa volúmica de $1,74\pm 0,04 \text{ kg}/\text{dm}^3$ e $1,75\pm 0,01 \text{ kg}/\text{dm}^3$ para blocos obtidos por compressão mecânica estabilizados com 4% de cimento Portland CEM I e 4% de cal aérea CL90, respetivamente.

De acordo com a DIN 18945 [4] (e embora esta norma seja para blocos não estabilizados) a massa volúmica aparente dos blocos deve ser avaliada e classificada em condições *standard* de temperatura e humidade relativa. Tendo isso em

conta, os BTC podem ser classificados como pertencentes à classe 1,8, uma vez que apresentam valores entre $1,61$ e $1,80 \pm 0,1 \text{ kg/dm}^3$.

Os resultados do ensaio de resistência à compressão mostram que os blocos em condições *standard* de temperatura e HR apresentam valores de resistência superiores aos em ambiente húmido. Os valores superiores de resistência à compressão podem em parte ser explicados pelo menor teor de água dos blocos em condições *standard* que se traduz num aumento da rigidez e, consequentemente, no aumento da resistência à compressão. No entanto, os resultados obtidos são inferiores ao do estudo realizado por Mansour et al. [21] que obteve uma resistência à compressão de $1,86 \text{ N/mm}^2$ para blocos de terra comprimida não estabilizados, com massa volúmica de $1,91 \text{ kg/dm}^3$, compactados mecanicamente, e aos do estudo realizado por Aubert et al. [22], que obteve uma resistência à compressão de $3,2 \text{ N/mm}^2$ através do ensaio direto na horizontal de blocos de terra não estabilizados, com $105\text{mm} \times 62\text{mm} \times 222\text{mm}$, obtidos por extrusão. Os valores obtidos no ensaio de resistência à compressão são também inferiores aos do estudo realizado por Morel et al. [23] que obteve um valor de $1,79 \text{ N/mm}^2$ através do ensaio direto de BTC não estabilizados, com $140\text{mm} \times 95\text{mm} \times 300\text{mm}$, obtidos por compactação manual em duas direções.

De acordo com a UNE 41410 [3] e a DIN 18945 [4], a resistência à compressão deve ser avaliada em condições *standard* de temperatura e humidade relativa. Tendo isso em conta, os blocos em condições *standard* podem ser classificados de acordo com a norma UNE 41410 [3] como pertencentes à classe BTC 1 uma vez que apresentam uma resistência de aproximadamente $1,3 \text{ N/mm}^2$. A norma DIN [4] define que os BTC utilizados em paredes resistentes devem apresentar uma resistência mínima de 2 N/mm^2 , não sendo assim possível classificar os blocos em estudo de acordo com esta norma. No entanto, segundo a norma alemã [4], os blocos utilizados em paredes não resistentes devem apresentar uma resistência de pelo menos 1 N/mm^2 , podendo assim concluir-se, que os blocos em estudo são adequados para esse tipo de aplicação.

5. CONCLUSÕES

No presente documento apresentam-se os principais aspetos da normalização existente a nível mundial para caracterização de BTC estabilizados e não estabilizados, procurando comparar os aspetos em comum. Como estudo de caso apresenta-se também a caracterização de um tipo de BTC estabilizados por adição de cimento.

As normas analisadas [1, 2, 3, 4] avaliam as propriedades geométricas, massa volúmica e constituintes da terra, propriedades mecânicas, comportamento face à água e gelo, propriedades térmicas e reação ao fogo, realçando-se dois aspetos comuns a todas: as dimensões e a resistência à compressão. No que diz respeito à determinação da resistência à compressão as normas NTC 5324 [1] e NBR 8491 [2] apresentam um procedimento de ensaio semelhante, diferindo no tipo de ligação entre os dois meios blocos. As normas UNE 41410 [3] e DIN 18945 [4] permitem ensaiar o bloco inteiro diretamente entre os pratos da prensa.

As condições de temperatura e humidade relativa influenciam a resistência à compressão dos BTC. O elevado potencial higroscópico dos blocos aliado a uma elevada humidade relativa traduz-se num maior teor de água, levando a uma diminuição da resistência.

De acordo com a norma DIN 18945 [4], os BTC analisados podem ser classificados como pertencentes à classe 1,8 no que diz respeito à massa volúmica aparente.

Em termos de resistência à compressão os BTC podem ser classificados de acordo com a norma UNE 41410 [3] como sendo da classe BTC 1. Tendo em conta os valores de resistência obtidos, de acordo com a norma DIN 18945 [4], os blocos são indicados para aplicação apenas em paredes não resistentes. Mas relembra-se que os blocos foram realizados por pessoal não especializado e com terras escavadas do local, sem formulação otimizada. Também as condições de cura dos BTC não foram otimizadas. Dessa forma, muito poderia ser feito com vista a otimizar as características dos BTC, ao nível de formulação e produção. No entanto, demonstra-se a possibilidade dos BTC virem a ser feitos em pequenas unidades de produção.

Tendo em conta os resultados obtidos e a análise da normalização existente, destaca-se a importância de, à semelhança de outros países, como são os casos da Colômbia, Brasil, Espanha e Alemanha, ser estabelecida uma norma nacional que permita caracterizar e classificar os BTC produzidos e aplicados em Portugal.

6. AGRADECIMENTOS

Agradece-se o apoio do projeto PTDC/EPH-PAT/4684/2014: DB-HERITAGE, à Associação Centro da Terra e nomeadamente ao Arquitecto Miguel Rocha e à Doutora Idália Gomes pelo apoio no Workshop, às Oficinas do Convento pela disponibilização da prensa manual, à Arquitecta Filipa Falcão e aos (já atualmente) mestres em engenharia civil Nuno Ramos, Raul Alves e Tânia Simões pela produção dos BTC.

7. REFERÊNCIAS

- [1] NTC 5324: 2004 - Bloques de suelo cemento para muros y divisones. Definiciones. Especificaciones. Métodos de Ensayo. Condiciones de entrega. ICONTEC: Bogotá.
- [2] NBR 8491: 2012 - Tijolo de solo-cimento - Requisitos. ABNT: Rio de Janeiro.
- [3] UNE 41410: 2008 - Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo. AENOR: Madrid.
- [4] DIN 18945: 2013 - Earth blocks – Terms and definitions, requirements, test methods (em alemão). NABau: Berlin.
- [5] NF XP P 13-901: 2001 - Blocs de terre comprimée pour murs et cloisons. Définitions, spécifications, méthodes d'essai, conditions de réception. AFNOR: Paris.
- [6] NBR10833: 2012 - Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica - Procedimento. ABNT: Rio de Janeiro.
- [7] NBR 8492: 2012 - Tijolo de solo-cimento - Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água - Método de ensaio. ABNT: Rio de Janeiro.
- [8] UNE EN 772-16: 2001 - Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 16: Determinación de las dimensiones. AENOR: Madrid.
- [9] UNE EN 772-13: 2001 - Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Determinación de la densidad absoluta seca y de la densidad aparente seca de piezas para fábrica de albañilería. (excepto piedra natural). AENOR: Madrid.
- [10] UNE 103205: 2006 - Determinación del contenido de sales solubles de un suelo. AENOR: Madrid.
- [11] UNE 103204: 1993 - Determinación del contenido de materia orgánica oxidable de un suelo por el método del permanganato potásico. AENOR: Madrid.
- [12] UNE EN 772-1: 2011 - Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 1: Determinación de la resistencia a compresión. AENOR: Madrid.
- [13] UNE EN 1052-3: 2003 - Métodos de ensayo para fábricas de albañilería. Parte 3: Determinación de la resistencia inicial a cortante. AENOR: Madrid.
- [14] EN ISO 12572: 2001 - Hygrothermal performance of building materials and products - Determination of water vapour transmission properties. CEN: Brussels.
- [15] UNE EN 772-11: 2001 - Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 11: Determinación de la absorción de agua por capilaridad de piezas para fábrica de albañilería, en hormigón, piedra natural y artificial, y de la tasa de absorción de agua. AENOR: Madrid.
- [16] DIN 4102-1: 1998 - Fire behaviour of building materials and elements - Part 1: Classification of building materials. Requirements and testing (em alemão). DIN-Sprachendienst: Berlin.
- [17] DIN 4102-4: 1994 - Fire behaviour of building materials and elements - Part 4: Overview and design of classified building materials, elements and components (em alemão). DIN-Sprachendienst: Berlin.
- [18] UNE EN 1745: 2013 - Fábrica de albañilería y componentes para fábrica. Métodos para determinar las propiedades térmicas. AENOR: Madrid.
- [19] DIN V 4108-4: 2013 - Thermal insulation and energy economy in buildings - Part 4: Hygrothermal design values (em alemão). DIN-Sprachendienst: Berlin.
- [20] McGregor, F. et al, "Conditions affecting the moisture buffering measurement performed on compressed earth blocks," *Build. Environ.*, 2014, n.º75, pp. 11–18.
- [21] Ben Mansour, M. et al, "Optimizing thermal and mechanical performance of compressed earth blocks (CEB)," *Constr. Build. Mater.*, 2016, n.º104, pp. 44–51.
- [22] Aubert, J. E. et al, "Towards a simple compressive strength test for earth bricks ?," *Mater. Struct.*, 2015, n.º49, pp. 1641-1654.
- [23] Morel, J.; Pkla, A., "A model to measure compressive strength of compressed earth blocks," *Constr. Build. Mater.*, 2002, n.º16, pp. 303–310.