

MEDIÇÃO DA HUMIDADE NA CONSTRUÇÃO BASEADA NA ATENUAÇÃO DE RAIOS GAMA

A.S. Guimarães¹
anasofia@fe.up.pt

J.M.P.Q. Delgado²
jdelgado@fe.up.pt

Vasco Peixoto de Freitas³
vpfreita@fe.up.pt

A.C. Azevedo⁴
antonio.costaazevedo@fe.up.pt

ÁREA: 1.4 TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO

Resumo

O conhecimento da transferência de água no interior de materiais e de elementos construtivos revela-se determinante na caracterização do seu comportamento em serviço. Especialmente a durabilidade, a estanqueidade, o aspeto e o comportamento térmico desses materiais e elementos construtivos são fortemente influenciados pela transferência de humidade que ocorre no seu interior provocando alterações de desempenho, habitualmente de difícil previsão.

Das técnicas disponíveis para medição do teor de humidade em materiais de construção, neste trabalho optou-se por seleccionar a técnica de atenuação de radiação gama (HUMIGAMA VF), instalado no Laboratório de Física das Construções (LFC-FEUP), por se tratar de uma ferramenta que permite resultados experimentais de boa precisão, a posterior reutilização dos provetes analisados porque não afeta a sua estrutura porosa, e porque permite a determinação dos teores de humidade de uma forma quase contínua.

Este método não-destrutivo, por atenuação de raios gama, permite medir o teor de humidade como forma de aprofundar conceitos em física de construção relacionada à transferência de humidade; para além de permitir, estudar a influência da interface entre camadas na transferência de humidade; analisar a influência da gravidade na absorção e secagem de diferentes materiais de construção; estudar a cinética de absorção e secagem de paredes com uma ou mais camadas; analisar a importância do gradiente de temperaturas no movimento da humidade; calcular o coeficiente de difusividade da água dos materiais de construção, etc.

Assim, para além de uma detalhada descrição da técnica de medição são apresentados os resultados preliminares obtidos com provetes monolíticos de barro vermelho, com diferentes densidades.

Palavras-chave: Humidade, Raios Gama, Materiais de construção.

¹Professor auxiliar, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

²Investigador, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

³Professor catedrático, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

⁴Estudante de Doutoramento, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Introdução

As patologias provocadas pela humidade é um dos fatores mais importantes que limitam o desempenho do edifício. As intervenções em edifícios antigos exigem um extensivo e objetivo conhecimento. Os aspectos multifacetados do trabalho realizado nesses edifícios tendem a englobar um número crescente de especialidades, com ênfase acentuada sobre aqueles que permitem compreender as causas dos problemas que os afetam e definir tratamentos adequados.

O estudo do transporte de humidade nas partes internas dos materiais e componentes de construção de construção é de grande importância para a caracterização de seus comportamentos, especialmente pelos efeitos na durabilidade, impermeabilização, aparência de degradação e desempenho térmico.

Por exemplo, o estudo do fenómeno submerso de humidade permitiu a investigação de uma técnica para resolver esse problema que já pode ser usado, com as revisões necessárias, para tratar paredes de construção após uma inundação [1-5]. Em Portugal, temos edifícios históricos perto de cursos de água com paredes degradadas pela permanência da água. A humidade nos edifícios pode ter origens diferentes e o aumento da precipitação é provavelmente o mais atual. As inundações são ocorrências extremas, mas podem introduzir grandes quantidades de água nas paredes. Em conclusão, o aumento da humidade, devido à sua alta ocorrência de frequência e inundações, devido à gravidade de suas consequências, representam tanto um alto risco em termos de construção de humidade.

Neste trabalho, foram realizados testes experimentais de absorção capilar e perfis hídricos de teor de humidade utilizando a atenuação de raios gama com amostras de barro vermelho tipo "A" e tipo "B". Para garantir a conformidade dos resultados experimentais com os resultados numéricos futuros, todas as propriedades do material e os dados climáticos necessários à análise numérica foram previamente medidos para os testes experimentais realizados.

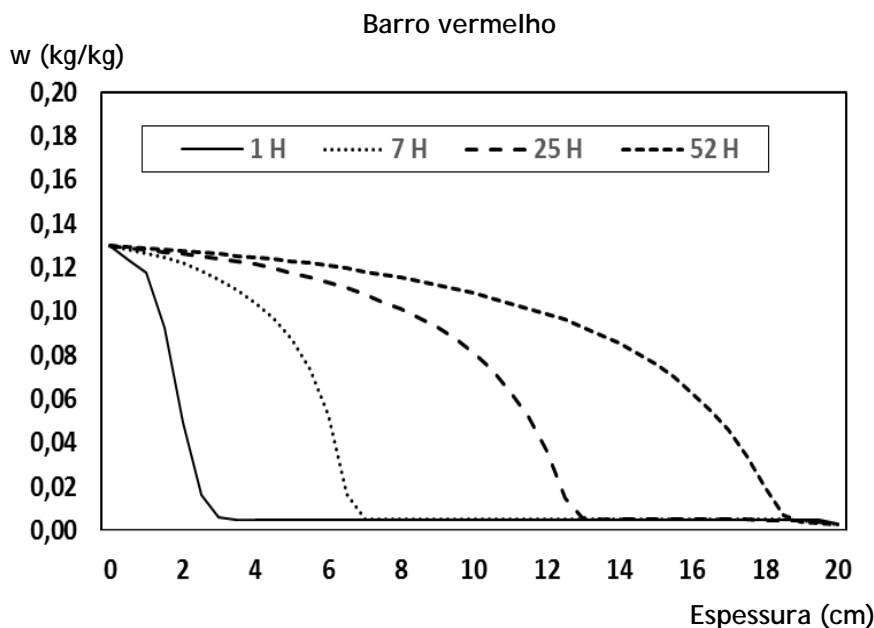


Figura 1 - Exemplo dos perfis hídricos de simulação teor de humidade do barro vermelho.

Os resultados experimentais, preliminares, estão dentro da gama de valores existentes na literatura, numéricos e experimentais, para o mesmo material (ver Figura 1, para um exemplo de resultados de simulação); no entanto, será possível obter uma melhor aproximação se a difusividade hídrica e os coeficientes de transferência de humidade da superfície tivessem sido ajustados. Este é apenas um trabalho preliminar e a validação desta ferramenta está, ainda, em curso.

Pode-se considerar que esta abordagem pode ser utilizada de forma direta para estudar a estanquidade dos materiais e componentes de construção, a sua durabilidade (ciclo de vida), a aparência de degradação, o comportamento associado às alterações térmicas e outras características importantes.

Campanha Experimental

Os materiais de construção são, em sua maioria, estruturas porosas que geram mudanças permanentes na humidade, na fase de vapor e na fase líquida, com o ambiente em que são colocados. Esse comportamento condicionou suas propriedades e sua durabilidade. Deve notar-se que a humidade é uma das principais causas das patologias observadas nos edifícios.

As amostras de barro vermelho utilizadas apresentavam diferentes densidades, os provetes tipo "A" com 1800 kg/m^3 e tipo "B" com 1583 kg/m^3 . A área de amostras é de $40 \times 40 \text{ mm}^2$ (área da seção recta) para provetes tipo "A" e $50 \times 50 \text{ mm}^2$ (área da seção recta) para provetes tipo "B", com uma altura de 100 mm para os dois tipos.

Para estudar a embebição e a cinética de secagem e para determinar os coeficientes de difusividade da água dos vários materiais de construção, o LFC-FEUP possui um dispositivo de medição da humidade de atenuação da radiação gama. Estes são testes não-destrutivos onde podemos calcular os perfis de teor de humidade em um processo contínuo de imersão ou secagem.



Figure 2 - Equipamento de raios gama (HUMIGAMA VF).

O equipamento de atenuação de raios gama consiste em (ver Figura 2):

- Fonte radioativa de amerício 241 (100 mCi), 60 KeV
- Detector
- Medição eletrônica
- Estrutura de suporte
- Sistema de automação para deslocamento e processamento de sinal.

Os testes laboratoriais foram feitos com a ajuda de equipamentos de raios gama que já tinham sido construídos para outros projectos de investigação. A medição experimental dos perfis de teor de humidade em amostras multicamadas sujeitas a humidificação e secagem de água líquida e soluções salinas aquosas que permitem a validação de um modelo matemático futuro que será desenvolvido e nos dará informações importantes sobre a influência das soluções de sais e as diferentes camadas no processo de transporte da

humidade. Esse objetivo inclui pesquisa básica, medição de perfis de teor de humidade com uma grande campanha experimental de laboratório suportada no equipamento de atenuação de raios gama. Foi necessário adaptar o protótipo existente a essa tarefa específica. O equipamento de raios gama foi adaptado ao perfil 2D, medidas automáticas e ligado a um computador, o que permite um registo do teor de humidade quase contínuo ao longo da amostra de ensaio.

Foi desenvolvido um protótipo para alguns estudos de absorção específicos (ver Figura 3). O LFC-FEUP criou um protótipo que exigiu um estudo cuidadoso das condições de teste. Foi preparada a montagem do equipamento e uma adaptação cuidadosa das instalações existentes.

Os testes de absorção e secagem para estudar a transferência de humidade em diferentes materiais foram feitos com amostras de LFC-FEUP. Pretende-se simular ciclos de absorção e secagem e avaliar como a capilaridade é influenciada pela direção de absorção (vertical / horizontal), pela presença de interfaces e pela pressão.



Figure 3 – Protótipo desenvolvido no LFC-FEUP para ensaios específicos de absorção.

A adaptação e uso de equipamentos de raios gama, pelo LFC-FEUP, tem dois objetivos principais descritos, em detalhe, a seguir:

1. Implementar e desenvolver um conjunto de ferramentas robusto assente na técnica de atenuação de raios gama para análises adequadas ao estudo de materiais de construção porosos e medir experimentalmente perfis de teor de humidade, para uso no projeto atual e em projetos futuros;
2. Obter informações resolvidas espacialmente. Recomenda-se que as medições de raios gama forneçam informações detalhadas sobre: (i) as diferenças nos processos de absorção e secagem de materiais com porosidade e distribuição de tamanho de poro distintas; (ii) as mudanças ocorreram nesses processos devido à presença de sais solúveis; (iii) A influência de diferentes revestimentos, tratamentos de superfície e tipos de interface.

Espera-se obter a caracterização dos diferentes tipos de interfaces e cada comportamento e influência na transferência de humidade durante os processos de absorção e secagem entre diferentes materiais de construção comuns de construção. Para fornecer informações detalhadas sobre: as diferenças na humidificação e nos processos de secagem de materiais com porosidade e distribuição de tamanho de poro distintos; a influência de diferentes revestimentos, tratamentos de superfície e tipos de interfaces e, finalmente, a lei cinética que

permite uma estimativa da resistência associada às interfaces que influenciam os processos de transferência de humidade.

Resultados e Discussão

Nos ensaios de absorção por capilaridade, as superfícies inferiores das amostras de teste estavam em contato com água líquida. O nível da água foi mantido constante até aproximadamente 5 a 10 mm acima da superfície inferior das amostras analisadas, com temperatura constante e umidade relativa. O método de imersão parcial utilizado está de acordo com a norma europeia Rilem test No. II. 6 [6].

A reprodutibilidade das experiências foi testada repetindo de forma independente a medição do coeficiente de absorção de água de pelo menos 4 amostras idênticas (ou seja, a mesma configuração e material), em condições de operação idênticas, e as medidas repetidas do coeficiente de absorção de água não diferiram em mais de 10%.

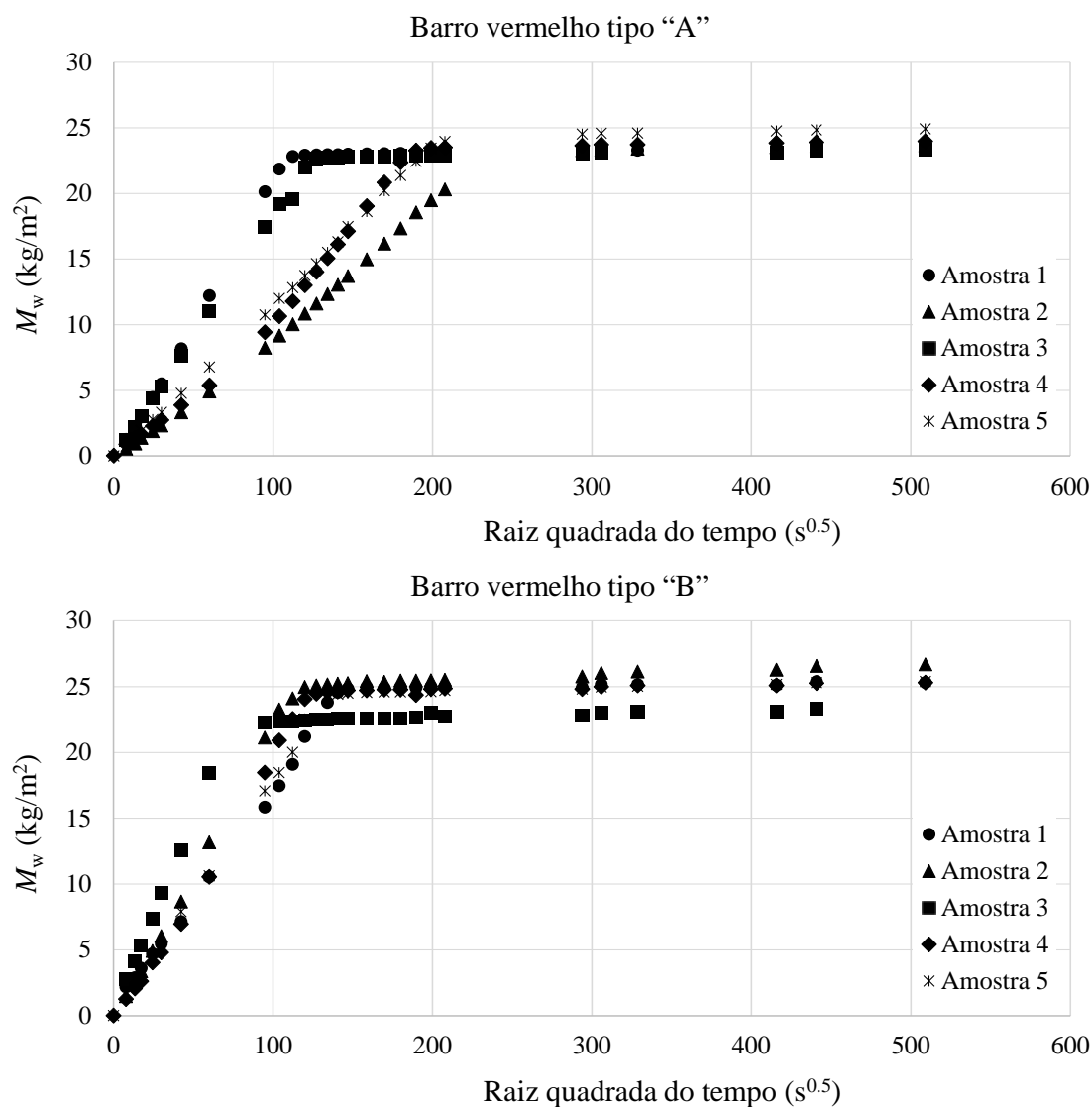


Figura 4 - Curva de absorção capilar de amostras monolíticas de tijolos de barro vermelho tipo "A" e "B", parcialmente imerso em água, em função da raiz quadrada do tempo.

A Figura 4 mostra os resultados da variação média da massa por área de contato no processo de absorção capilar para as amostras monolíticas de tijolo de barro vermelho tipo "A" e "B". É possível observar que a curva de absorção de água, por ação capilar, apresenta uma primeira fase de absorção em que é diretamente proporcional à raiz quadrada do tempo, tal como descrito por Bomberg [7]. O declive da variação linear é chamado de coeficiente de absorção de água (A_w) e pode ser matematicamente descrito como

$$A_w = \frac{M_w}{A\sqrt{t}} = \frac{m_t - m_0}{A\sqrt{t}} \quad (1)$$

em que:

A_w — coeficiente de absorção de água ($\text{kg}/\text{m}^2\text{s}^{0.5}$)

M_w — quantidade total no tempo (kg/m^2)

m_t — peso da amostra após o tempo t (kg)

m_0 — massa inicial da amostra (kg)

A — área de contato (m^2)

t — tempo (s).

Os coeficientes de absorção obtidos foram de $0.10 \text{ kg}/\text{m}^2\text{s}^{0.5}$ e $0.19 \text{ kg}/\text{m}^2\text{s}^{0.5}$, para os provetes de barro vermelho tipo "A" e "B", respectivamente. O coeficiente de absorção do tijolo de barro vermelho tipo "B" é aproximadamente duas vezes maior, um resultado espectável, uma vez que a densidade do tijolo de barro vermelho tipo "B" é maior do que a densidade do tijolo de barro vermelho tipo "A". Estes resultados estão de acordo com outros valores experimentais encontrados na literatura para os mesmos materiais de construção, com uma gama de valores experimentais entre 0.05 e $0.29 \text{ kg}/\text{m}^2\text{s}^{0.5}$ [8-10].

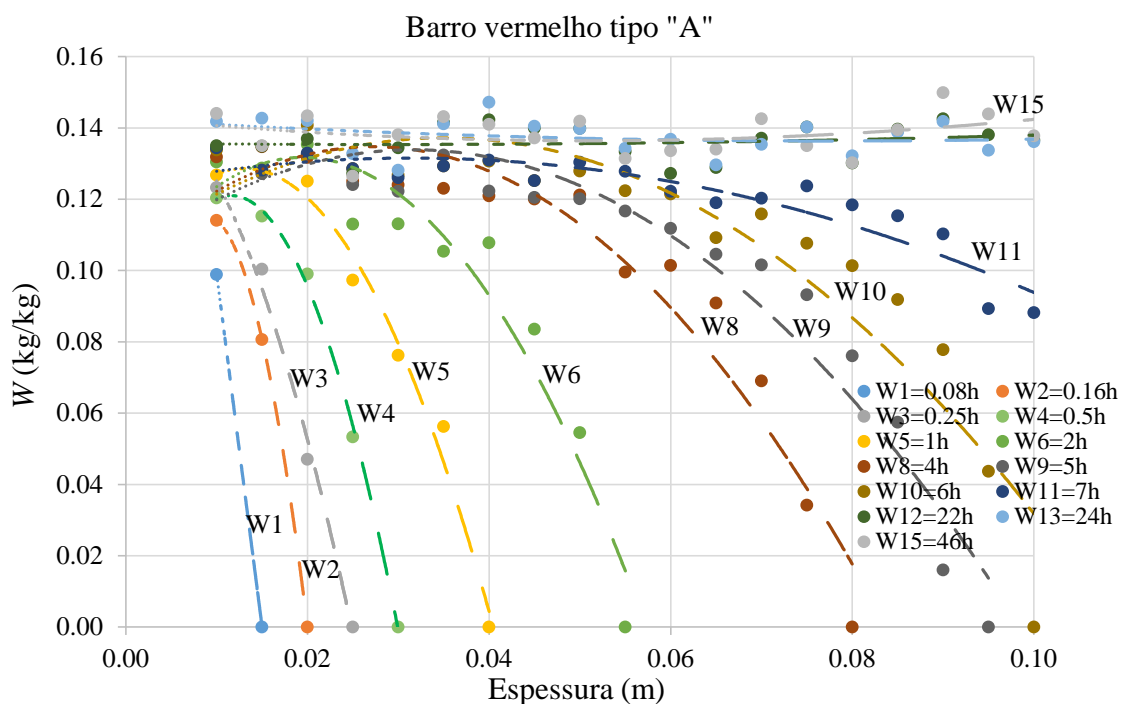


Figura 5 - Perfis de umidade para amostras monolíticas de provetes de barro vermelho tipo "A".

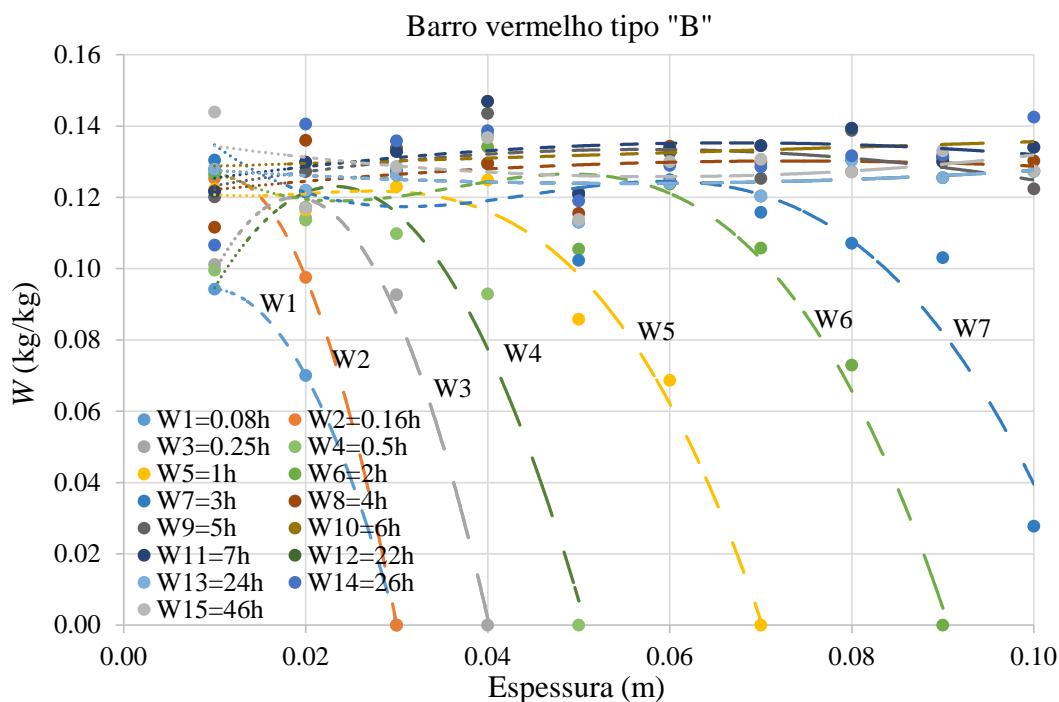


Figura 6 - Perfis de umidade para amostras monolíticas de provetes de barro vermelho tipo "B".

O trabalho desenvolvido para definir a transferência de umidade (teores de umidade) dentro de materiais e elementos de construção é de extrema importância para a caracterização de seu comportamento e para a validação de programas de cálculo. Os resultados preliminares dos perfis de teor de umidade ao longo do tempo são apresentados nas Figuras 5 e 6, para duas amostras monolíticas diferentes de provetes de barro vermelho, utilizando o dispositivo de medição de umidade LFC-FEUP, com base no método não destrutivo de atenuação de raios gama.

O dispositivo HUMIGAMA VF, descrito na seção acima, e usado em trabalhos anteriores relatados por Freitas [11], permitiu, no contexto do presente trabalho, obter as seguintes contribuições:

- Uma melhor definição de uso relacionado ao equipamento e ao *software* para ler os resultados;
- Desenvolvimento de um protocolo de utilização;
- Cálculo do coeficiente de atenuação da água utilizado no processo de embebição;
- Medição da geometria e do peso das amostras de ensaio usados no processo de embebição;
- Estudo da cinética de embebição de amostras monolíticas.

Por fim, é interessante apresentar uma comparação entre o método gravimétrico e a técnica de atenuação de raios gama para as amostras monolíticas. Os resultados dos dois ensaios mostram que a água é absorvida continuamente até atingir o máximo de absorção, isto é, até atingir a superfície superior do provete.

Conclusões

Foi apresentada uma campanha experimental preliminar e uma análise crítica da absorção de água em amostras de tijolo de barro vermelho com diferentes densidades, utilizando dois métodos experimentais (método gravimétrico e atenuação de raios gama).



O dispositivo de medição da humidade com base no método não destrutivo de atenuação de raios gama foi utilizado para estudar a transferência de humidade e obteve perfis de teor de humidade em duas amostras de tijolo de barro vermelho, tipo "A" e "B", com diferentes áreas seccionais e densidade.

Os perfis de teor de humidade medidos experimentalmente são muito interessantes, e os resultados preliminares obtidos, para amostras de provetes de barro vermelho com diferentes densidades e área de seção, foram mostrados e discutidos.

Bibliografia

- (1) DELGADO, J. M. P. Q.; GUIMARÃES, A. S.; FREITAS, V. P.; ANTEPARA, I.; KOČÍ, V.; ČERNÝ, R. *Salt Damage and Rising Damp Treatment in Building Structures*, Advances in Materials Science and Engineering, v. 2016, Article number ID 1280894, 2016.
- (2) BARREIRA, E.; ALMEIDA, R.; DELGADO, J. M. P. Q. *Infrared Thermography for Assessing Moisture Related Phenomena in Building Components*, Construction and Building Materials, v. 110, pp. 251–269, 2016.
- (3) GUIMARÃES, A. S.; DELGADO, J. M. P. Q.; FREITAS, V. P. *Rising Damp in Walls: Evaluation of the Level Achieved by the Damp Front*, Journal of Building Physics, v. 37 (1), pp. 6–27, 2013.
- (4) GUIMARÃES, A. S.; DELGADO, J. M. P. Q.; FREITAS, V. P. *Rising Damp in Building Walls: The Wall Base Ventilation System*, Heat and Mass Transfer, v. 48 (12), pp. 2079–2085, 2012.
- (5) FREITAS, V. P.; GUIMARÃES, A. S.; DELGADO, J. M. P. Q. *The HUMIVENT Device for Rising Damp Treatment*, Recent Patents on Engineering, v. 5 (3), pp. 233–240, 2011.
- (6) RILEM TC 25-PEM *Recommended tests to measure the deterioration of stone and to assess the effectiveness of treatment methods*, Materials and Structures, v. 13, pp. 204–209, 1980.
- (7) BOMBERG, M. *Moisture Flow Through Porous Building Materials*, Division of Building Technology, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden, Rep. n° 52, 1974.
- (8) GARCÍA, N. A.; GÓMEZ, G. G.; SEPÚLVEDA, R. M. *Propiedades Físicas y Mecánicas de Ladrillos Macizos Cerámicos para Mampostería*, Ciencia y Ingeniería Neogranadina v. 22, pp. 43-58, 2012.
- (9) AZEVEDO, J. *Absorção por Capilaridade de Soluções Aquosas Salinas em Materiais Porosos*, Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2013.
- (10) GUIMARÃES, A. S.; DELGADO, J. M. P. Q.; REGO, T.; FREITAS, V. P. *The Effect of Salt Solutions in the Capillarity Absorption Coefficient of Red Brick Samples*, Defect and Diffusion Forum, v. 369, pp. 168–172, 2016.
- (11) FREITAS, V. P. *Transferência de Humidade em Paredes de Edifícios: Análise do Fenómeno de Interface*, Tese de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 1992.