

## Bloco solo-cimento sustentável com materiais de mudança de fase (PCMs)

V.B. Dantas<sup>a†</sup>, U.U. Gomes<sup>b</sup>, E.P. Reis<sup>a</sup>, A.S. Silva<sup>a</sup>, C. Jesus<sup>c</sup>, J.L. Barroso Aguiar<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN, Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil

<sup>b</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN, Departamento de Física Teórica e Experimental, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil

<sup>c</sup> Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, 4800-058 Guimarães, Portugal

<sup>†</sup> Autor para correspondência: [valter.fisic@hotmail.com](mailto:valter.fisic@hotmail.com)

### RESUMO

No estudo apresentam-se resultados do desenvolvimento de um bloco solo-cimento com materiais de mudança de fase (PCMs).

Realizaram-se três tipos de misturas, no qual duas delas foram efetuadas com **materiais de mudança de fase (PCMs)** com diferentes percentagens desse material, 3% e 5%, à terceira mistura não foi adicionado qualquer PCM sendo esta uma mistura de referência.

Em todas as misturas realizadas do estudo foi acrescentado ao solo 9% de cimento Portland CEM - P II Z-32 e aproximadamente 9,2% de água. Nas misturas do estudo com à exceção da mistura de referência (E1) foi adicionado 10% de areia quartzosa às restantes misturas. Realizaram-se ensaios de granulometria, limite de plasticidade e limite de liquidez, ao solo do estudo.

Para cada mistura foram produzidos blocos solo-cimento, sobre os quais foram executados ensaios físicos e mecânicos. Os blocos do estudo foram compactados numa prensa mecânica e a influência da porosidade foi significativa quanto aos valores da sua resistência. Os PCMs introduzidos melhoraram as propriedades térmicas do bloco, mas diminuíram a resistência mecânica.

No estudo observaram-se comportamentos mecânicos e físicos distintos nas diferentes composições do solo-cimento com as diferentes percentagens de materiais de mudança de fase. Verificou-se que no bloco com adição de 10% de areia quartzosa e sem PCM a resistência à compressão aumentou em relação ao bloco referência.

No caso da adição dos diferentes PCMs houve uma diminuição significativa da resistência mecânica, no entanto superaram os valores mínimos normativos. As misturas com adição dos diferentes PCMs apresentaram valores de condutividade e difusidade térmica inferiores às outras. As propriedades térmicas foram analisadas utilizando sensores e um equipamento de aquisição de dados.

### Cronologia do artigo:

Recebido a 31 agosto 2018

Corrigido a 06 maio 2019

Aceite a 05 fevereiro 2020

Publicado a 08 maio 2020

### Palavras-chave:

PCMs

Propriedades térmicas

Tamanho de partículas

Fluorescência de raios X

Resistência mecânica

## 1. Introdução

O desenvolvimento sustentável é a solução para minimizar problemas ambientais através do equilíbrio entre o desenvolvimento económico e a preservação do meio ambiente.

Nos blocos solo-cimento com PCMs verifica-se um melhoramento do comportamento das propriedades térmicas, este resulta numa redução no impacto ambiental quando aplicado na construção. A inovação tecnológica é baseada em pesquisa e desenvolvimento de novos produtos capaz de transformar as empresas e suas atividades em lucros, e gerar valores sem comprometer a natureza e a sociedade.

Na construção, o solo é um material de grande disponibilidade e uma excelente alternativa técnica-económica, carecendo de reduzida energia de produção na inovação de novos materiais de construção, neste caso o bloco solo-cimento.

Com a adição de PCMs ao solo-cimento a economia de energia se intensifica ao longo do tempo, pois mantém a temperatura interna do habitat desejada em função do tipo e quantidade de PCM. A

introdução deste material nos blocos solo-cimento traduz-se em resistências mecânicas aceitáveis para a construção.

O solo adequado para o fabrico dos blocos é identificado através de diversos ensaios normalizados permitindo assim compará-los com os resultados de outros estudos.

De 1995 a 1998, Colvin and Bryant (1998) e Colvin et al. (1995) pertencendo ao Triângulo de Pesquisa e Desenvolvimento demonstraram a viabilidade da incorporação PCMs dentro de fibras têxteis, incluindo uma ampla gama de fibras como a de poliéster, nylon, acrílico e modacrílicos. Um revestimento adaptado a um substrato têxtil teve como objetivo melhorar as propriedades térmicas e obter uma maior estabilidade temporária quando submetido a elevadas ou baixas temperaturas. Os PCMs empregados incluem hidrocarbonetos parafinados o n-eicosano, e os cristais de plástico, tais como 2,2-dimetil-1,3-propanodiol (DMP) e 2-hidroximetil-2-metil-1,3-propanodiol (DMP). Quando os cristais plásticos absorvem a energia térmica, a estrutura molecular é temporariamente modificada sem alteração da fase do material.

Quando os PCMs absorvem calor, segundo Peippo et al. (1991), sofrem uma mudança de fase sólida para a fase líquida, isto é, o material absorve certa quantidade de calor designada por calor latente de fusão. Por outro lado, quando a temperatura diminui o sistema libera calor, designado por calor latente de solidificação, regressando ao seu estado sólido. A transição dos diferentes estados do PCMs resulta numa temperatura de equilíbrio durante o ciclo sólido/líquido, esta propriedade específica permitiu usar este material particularmente em tecnologia espacial devido à temperatura de transição encontrar-se próxima à temperatura do corpo humano. Este fator permitiu a aplicação deste material em outras áreas específicas, particularmente na construção. Nesta área o PCMs é usado como um material com propriedades térmicas, utilizado em alvenarias, designadamente em bloco de solo-cimento.

Com painéis constroem-se paredes de custo baixo, leves e usadas em inúmeras aplicações, fazendo deles um bom meio para inserir os PCMs. Este tipo de painéis serve para separar ambientes interiores dos exteriores e para reduzir a transferência de energia entre esses dois meios. Estes são normalmente constituídos por gesso cartonado com propriedades termodinâmicas que afetam significativamente o desempenho térmico dos edifícios (Rudd, 1993).

Num material bom é necessário assegurar características técnicas iniciais que se comportem de maneira satisfatória ao longo do tempo, conservando-se durante toda sua vida útil, mantendo a segurança e a estabilidade quando utilizado sob as condições ambientais previstas em projeto.

A "estabilização mecânica do solo" é um processo natural ou artificial, pelo qual um solo sob o efeito de cargas aplicadas se torna mais resistente à deformação e ao deslocamento. A estabilização química é obtida com a utilização de teores de cimento entre 6 a 12 %, dependendo da composição química e granulométrica do solo. Os teores abaixo de 3% ocorrem apenas numa melhoria das características mecânicas do solo, não havendo a sua estabilização química segundo Houben (1994).

A norma ABNT NBR 08491:1992 estabelece que as amostras fabricadas com solo-cimento têm de obter um valor médio de resistência mínima de 2,0 MPa por amostra, nenhum valor deve ser inferior a 1,7 MPa aos sete dias de idade.

A sedimentação da argila no subsolo gera camadas mais densas originando uma elevada interação da fração argilosa com diversos óxidos, este fator provoca mudanças importantes nas propriedades físicas do solo, assim como a redução da movimentação da água, percolação da água para o interior do solo argiloso, aumento da coesão do solo e restrição à penetração de raízes (Mullins et al., 1990)

No solo do tipo argiloso podemos verificar grande variedade polimórficas-JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standards), a Nacrita (JCPDS:16-606), Diquita (JCPDS:10-446), Caulinita (JCPDS:14-164 e 29-1488) e Halosita de distância planar de 0,7 nm ou metahalosita (JCPDS:29-1487), todos com a fórmula  $(Al_2 Si_2 O_5 (OH)_4)$ , além da Halosita com distância planar de 1,0 nm ou endelita (JCPDS:1489) com a fórmula  $(Al_2 Si_2 O_5 (OH)_4 \cdot 2 H_2O)$  (Gardolinski et al., 2003).

Segundo Santos (1989) e Grim (1953) os minerais do grupo da caulinita e os argilos minerais são formados pela decomposição de feldspatos por processos geológicos, tendo provavelmente sericita como intermediário conforme reação química,  $2 K Al Si_3 O_8 + 3 H_2O \rightarrow Al_2 Si_2 O_5 (OH)_4 + 4 Si O_2 + 2 KOH$ .

## 2. Materiais e métodos

Neste estudo foi realizada a adição de 10% de areia e diversos PCMs nas proporções de 3% ou 5% ao solo que constitui 90% do bloco solo-cimento.

Os PCMs utilizados no trabalho são do tipo não-encapsulado, sendo o primeiro PCM uma parafina 120/125F com uma temperatura de transição entre 49 e 52 °C, com uma entalpia de 213 kJ/ kg. O outro

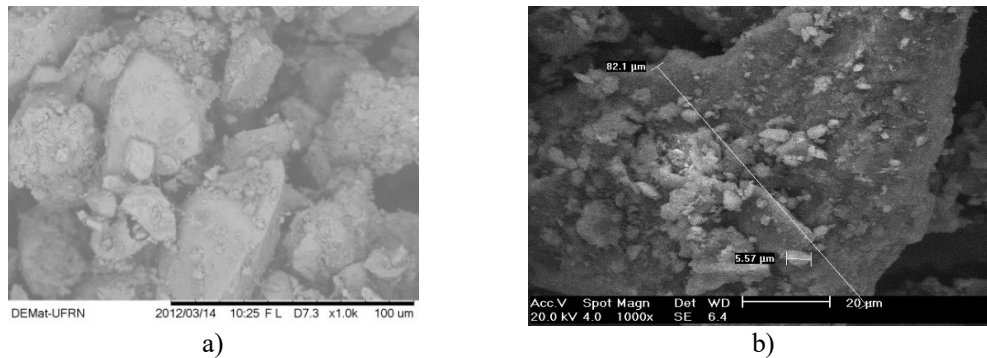
PCM é uma parafina n-eicosano, com um ponto de fusão de 34-37 °C, com uma entalpia de 247 kJ/ kg.

Na fabricação de blocos solo-cimento ainda não foram referenciados em estudos de investigação ou em casos práticos, o tipo de adições referenciadas anteriormente.

Na investigação dos blocos solo-cimento foi usado um solo da região de Mossoró-RN do Brasil, foi recolhido em três locais distintos e em duas profundidades de 0,05 a 0,40 e 0,40 a 2,00 metros, desprezou-se os primeiros cinco centímetros da camada devido à presença elevada de matéria orgânica. Este solo foi classificado segundo a Embrapa Solos (2013) como um solo argiloso.

A utilização da areia quartzosa teve como objetivo a correção granulométrica do solo natural, segundo a norma ABNT NBR 6491:1985.

Na Figura 1 observa-se a microestrutura da composição do solo argiloso, no qual se pode analisar uma partícula de  $\text{SiO}_2$  com uma dimensão de 82,1  $\mu\text{m}$ , sobre esta partícula encontram-se partículas menores de tamanho médio de 5,57  $\mu\text{m}$ , estas são diversas variedades de argilas formadas de compostos da parte fina do solo. As argilas são um grupo de moléculas combinadas, sendo estas, átomo de silício (Si), alumínio (Al), ferro (Fe), potássio (K) e outros elementos químicos.



**Figura 1** - a) Observação de diferentes partículas de solo; b) Imagem de uma partícula de silício com elementos argilosos.

Na Figura 1b) observa-se a micrografia de uma partícula de sílica ( $\text{SiO}_2$ ) com impurezas de argilas com dimensão na ordem de 4 a 8  $\mu\text{m}$  em forma de lâminas hexagonais ou fibras, estas argilas ficam aglutinadas à partícula de sílica.

As composições químicas dos materiais foram determinadas por ensaios de fluorescência de raios X (FRX), no que qual observamos na Tabela 1.

**Tabela 1** - Composição química do solo argiloso por fluorescência de raios X.

Propriedade química do solo argiloso										
Amostras	Profundidade do perfil geológico (m)	Óxidos (%)								
		$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{SO}_3$	$\text{TiO}_2$	MnO	$\text{Sm}_2\text{O}_3$	$\text{La}_2\text{O}_3$
Orgânica	0,00 - 0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A	0,05 - 0,40	67,51	23,89	2,56	3,93	0,64	0,49	0,05	-	-
B	0,40 - 2,00	57,82	30,53	7,22	2,00	1,72	1,72	0,02	-	-
C + 10 % Areia Q.	0,05 - 2,00	70,13	23,65	2,74	2,16	0,81	0,37	0,01	0,07	0,06
Componentes da amostra C - Composição do solo argiloso após esquarteamento de todo perfil geológico e adição de 10% de areia quartzosa.										

Podemos constatar na Tabela 1 todos os elementos químicos presentes nos diferentes solos, apresentando-se em maiores percentagens o elemento de óxido de silício em todas as amostras. Por outro lado, o elemento de óxido de silício está em maior quantidade na amostra C (solo misturado das duas camadas e 10% de areia quartzosa).

Além da grande presença dos óxidos de silício no solo verificou-se uma quantidade moderada de alumina no solo, deve-se ao fato deste elemento ser transportado da superfície para o interior da camada do solo pela força da gravidade e pela água da chuva.

O fato de se realizar uma correção granulométrica no solo e se misturar a camada A com a B, teve como objetivo obter uma composição química e física que apresentasse características favoráveis, tal

como a plasticidade do próprio solo, a moldagem e a trabalhabilidade, conferindo assim aos blocos a coesão das partículas e resistência nas propriedades mecânicas.

As amostras do solo argiloso natural expõem diferentes composições químicas ao longo do perfil geológico como se observa na Tabela 1. A amostra (A) encontra-se de 0,05 a 0,40 m de profundidade, no qual foi determinado um valor de  $\text{SiO}_2$  de 67,51% e 23,89 % de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , destacando-se com um valor superior no elemento químico  $\text{K}_2\text{O}$  de 3,93 % em relação às outras amostras. A amostra (B) localizada a uma profundidade de 0,40 a 2,00 metros da superfície contém uma quantidade de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (30,54 %) formando os argilo-minerais.

A elevada percentagem de óxidos de alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) presente na mistura do solo das duas camadas (A+B), atribui a propriedade refratária aos blocos solo-cimento produzidos com características isolantes. O óxido ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) está presente em todas as camadas do perfil geológico, concentrando-se em maior percentagem na camada B sendo este o elemento responsável pela cor avermelhada do solo.

A composição química da areia quartzosa obtida por fluorescência de Raios X apresenta teor de sílica ( $\text{SiO}_2$ ) de 82,71 %, teor de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  de 9,92 %, teor de  $\text{CaO}$  de 2,23 %. O teor de álcalis ( $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ ) é de 2,09 %, não apresentando o teor de  $\text{Na}_2\text{O}$ . Os demais constituintes são elementos traços ou impurezas. De acordo com a Figura 1 a granulometria da areia quartzosa 9 % fração argila e 8 % na fração siltes e faixa de diâmetro entre 0,12 e 228  $\mu\text{m}$ .

No estudo foi utilizada uma prensa manual na produção dos blocos solo-cimento, no qual resultaram 20 blocos de solo-cimento, com dimensões de 125 x 70 x 250 mm. Na produção dos blocos solo-cimento foi utilizado um total de 60 kg de solo-cimento, este foi homogeneizado e condicionado em sacos plásticos tal como os blocos solo-cimento (Figura 2).



**Figura 2** - Blocos em processo de cura.

A produção dos blocos obedeceu às especificações técnicas relativamente aos requisitos de resistência à compressão e durabilidade. Realizaram-se ensaios mecânicos, físicos e químicos aos blocos de solo-cimento produzidos. As faces de aplicação de carga dos blocos de solo-cimento foram regularizadas de acordo com a norma ABNT NBR 5738:2003. Os blocos foram ensaiados à compressão com uma velocidade de ensaio de 0,3 MPa/s às idades de 7, 14 e 28 dias.

A condutividade térmica foi medida por um equipamento modelo KD2 Pro como indicado na Figura 3a) este inclui uma fonte de calor linear e uma temperatura elementar de medição com uma resolução de 0,001 °C. O KD2 Pro produz corrente constante entre 0,01 V e 0,01 amperes e o tempo de 0,1 segundo. Este equipamento utiliza os métodos analíticos no qual é baseado em microprocessadores segundo a especificação da ASTM D5334-08. O equipamento utilizado no estudo permite reunir autonomamente os dados das propriedades térmicas em intervalos pré-definidos, permitindo medir a condutividade térmica, resistividade, difusividade e calor específico.

A sonda utilizada baseia-se na metodologia de um fio quente, os valores da condutividade térmica ( $k$ ) e da difusão térmica ( $\alpha$ ) são obtidos pela solução da equação de condução de calor em coordenadas cilíndricas em meio homogêneo (Fontana et al., 2001).

$$\frac{dT}{dt} = \alpha \left( \frac{d^2T}{dr^2} + r^{-1} \frac{dT}{dr} \right) \quad (1)$$

em que:  $T$  = temperatura (°C);  $t$  = tempo (s);  $\alpha$  = Difusividade térmica ( $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ );  $r$  = distância (m).

Na realização do bloco foi inserido na massa do solo um gabarito, isto com o objetivo de ficar um orifício no bloco solo-cimento para podermos inserir a sonda do equipamento e efetuar as leituras

térmicas do material submetido a ensaio, como se observa na Figura 3. Realizaram-se leituras em intervalos de tempo de 10 minutos, os provetes e o sensor foram colocados no interior de uma caixa térmica, com objetivo de eliminar as influências das temperaturas externas do ambiente.



**Figura 3** - a) Equipamento K2-PRO; b) Detalhe do gabarito no interior da amostra do solo.

### 3. Resultados e discussões

O transporte dos óxidos finos através das camadas interiores no solo, transforma fisicamente e mecanicamente as suas propriedades, ao contrário deste, a volatilização do carbono orgânico é elevada à superfície do solo para a atmosfera, tornando este solo acinzentado.

Os valores obtidos ao longo do perfil do solo observam a presença de argilo minerais tais como a caulinita e ilita. Os valores da amostra C (Tabela 1) resultam de uma composição que resulta da mistura das amostras A e B com uma adição de 10% de areia quartzosa. Os valores dos elementos químicos apresentados na amostra homogeneizada (C) são significativamente diferentes das restantes, destacando-se o elemento de silício.

A adição de 10% de areia quartzosa no solo natural modificou a sua estrutura granulométrica, transformando-a num solo com propriedades mecânicas desejáveis para fabricação de bloco-solo cimento, uma vez que a adição de areia quartzosa complementou a falta de algumas frações granulométricas tornando num solo mais homogêneo.

A amostra C apresentou um teor de 70,13 % de  $\text{SiO}_2$  e 29,04% de outros constituintes, entre estes,  $\text{Sm}_2\text{O}_3$  e  $\text{La}_2\text{O}_3$ , proveniência provável da areia quartzosa utilizada na correção granulométrica. A composição química do solo com adição de 10% de areia quartzosa (amostra C) obtida por FRX (Tabela 1) resultou numa composição ideal, isto por apresentar uma resistência mecânica maior em relação às restantes composições, conforme a Tabela 2. O solo-cimento E2 ideal para a fabricação do bloco solo-cimento, que proporciona bom acabamento e resistências mecânicas.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados de resistência à compressão com os resultados aos 7, 14 e 28 dias. Os blocos apresentaram valores superiores aos requisitos normativos, verificando um elevado desempenho nos blocos corrigidos com 10% de areia quartzosa. Os restantes obtiveram desempenhos inferiores, destacando-se as misturas com 3 e 5% de PCMs.

**Tabela 2** - Valores da resistência à compressão dos blocos solo-cimento maciços nas diferentes idades.

Resistência mecânica do bloco solo-cimento (MPa)				
Tempo (dias)	E1	E2	E3	E4
7	3,3	3,86	2,58	2,78
14	4,39	6,91	3,84	3,74
28	6,76	10,95	4,76	4,86

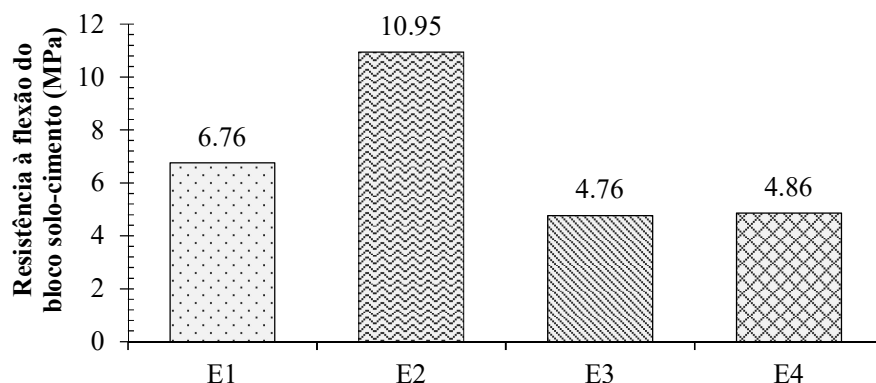
Legenda:

E1 – Solo + 0 % de Areia + 9 % de Cimento + 0 % PCM  
 E2 – Solo + 10 % de Areia + 9 % de Cimento + 0 % PCM  
 E3 – Solo + 10 % de Areia + 9 % de Cimento + 3 % PCM  
 E4 – Solo + 10 % de Areia + 9 % de Cimento + 5 % PCM

Verifica-se na Figura 4, independente da idade, que o melhor desempenho mecânico foi alcançado



pelo solo corrigido com 10% de areia, seguido do solo natural. Os solos com adição de 3% e 5% de PCMs que obtiveram resistências inferiores.



**Figura 4** - Resultados da resistência à compressão dos blocos solo-cimento das diferentes misturas.

Na Tabela 3 verifica-se que independentemente da idade, os melhores resultados em termos de desempenho térmico foram alcançados pelo bloco solo-cimento em função da maior quantidade de PCM.

Quando se pretende obter bloco de solo-cimento com baixa resistência térmica e alta condutividade térmica, o bloco E2 tem essas características. Esse bloco permite as trocas de calor do meio externo e interno e baixa capacidade de acumular energias na forma de calor latente. No entanto, se quisermos melhorar as propriedades térmicas como a resistência térmica temos que aumentar a taxa de adição de PCMs. Estes têm duas funções, acumular energia na forma de calor latente e liberando lentamente para o ambiente devido à sua alta resistência térmica como pode ser verificado na Tabela 3 os blocos de solo-cimento E3 e E4. E quando a temperatura for elevada entra o segundo mecanismo de absorção de energias com as quebras de ligação química entre os átomos de hidrogénios.

**Tabela 3** - Resultados do desempenho térmico dos blocos solo-cimento.

Bloco solo-cimento	Temperatura T (°C)	Resistência (°C.m/W)	Condutividade $\lambda$ (W/m.k)	Difusidade (mm².s-1)	Capacidade (MJ/m³.k)	Erro
E2	28,21	0,780	1,280	0,950	1,350	0,054
E3	27,97	0,820	1,220	0,842	1,446	0,047
E4	28,63	0,870	1,150	0,619	1,855	0,040

Observa-se que o solo com a adição de 10% de areia quartzosa proporciona melhor densidade e interação entre as partículas, reforça a estabilização mecânica e consequentemente a estabilização química. Esta adição proporciona o aumento de contato entre seus constituintes e potencializando as ligações químicas.

Uma distribuição uniforme dos tamanhos de partículas proporciona o melhoramento da compactação do solo que origina uma redução da porosidade, neste caso foi determinada indiretamente pela equação (2), (Stengel, 1983).

$$PT = \left(1 - \frac{Ds}{Dp}\right) \times 100 \quad (2)$$

onde: PT - Porosidade total (%); Ds - Densidade aparente (g /cm³); Dp - Densidade real (g /cm³).

Os valores da densidade aparente e real foram determinados conforme os ensaios do EMBRAPA (1997) pelo método do anel volumétrico e picnómetro respetivamente, estes encontram-se na Tabela 4.

**Tabela 4** - Massa específica aparente e específica real, determinados pelos ensaios do anel volumétrico e picnómetro.

Tipo de solos	Massa específica (g/cm³)		Porosidade total (%)
	Aparente	Real	
Solo natural - 9% CEM	1,94	2,71	28,31
Solo natural 10% Areia - 9% CEM	1,92	2,64	27,33

Foi observado uma diferença significativa nas propriedades físicas dos solos em função da correção granulométrica, podendo essas diferenças ter importâncias na compactação do solo-cimento. No solo natural a percentagem da porosidade total obtida foi de 28,31% e teor de umidade ótimo para compactação de 9,63%, no solo com 10% areia quartzosa, a porosidade total obtida foi de 27,33% e um teor de umidade ótima de 9,15 %.

Devido à estrutura do próprio material, relativamente às dimensões dos seus poros existem diferenças nos valores das porosidades. Estas diferenças são função do aumento das partículas de areia quartzosa usada na correção granulométrica. Este fator torna a compactação mais efetiva.

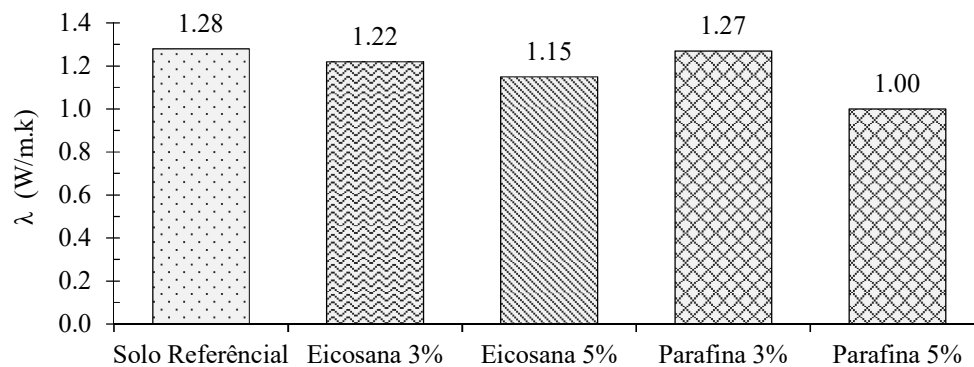
Para se obter no fabrico dos blocos solo-cimento uma elevada resistência mecânica e com uma pequena quantidade de percentagem de cimento é necessário reunir um teor de silício superior a 70% do total da massa desse solo. Quando não é possível obtermos essa percentagem de silício é necessário efetuar uma correção nesse material, adicionando um outro material que compense o elemento de silício. Esta alteração modifica as suas propriedades, nomeadamente a sua granulometria.

Ao examinar as composições químicas na Tabela 1 do solo A e B verificou-se valores reduzidos relativamente ao elemento de silício. Conclui-se que estes solos argilosos não reuniam condições ideais para o fabrico do bloco solo-cimento, no entanto foi adicionado 10% de areia quartzosa aos solos compensando assim na sua correção granulométrica e no elemento do silício em falta.

As sondas térmicas foram posicionadas e identificadas devidamente no centro do bloco solo-cimento, após 10 minutos foram executadas leituras da condutividade térmica diretamente sobre o solo.

Na Figura 5 estão presentes os resultados da condutividade térmica das diferentes misturas utilizados na construção dos blocos, verificando que os valores térmicos mais elevados para os blocos de solo-cimento estão presentes no bloco de referência.

Os restantes materiais com n-eicosano e parafina com diferentes percentagens de adição no solo dos blocos, resultaram em valores inferiores de condutividade térmica quando comparado com o bloco do solo referencial, aproximando a este apenas o solo com 3% de parafina.



**Figura 5** - Condutividade térmica ( $\lambda$ ) do bloco solo-cimento.

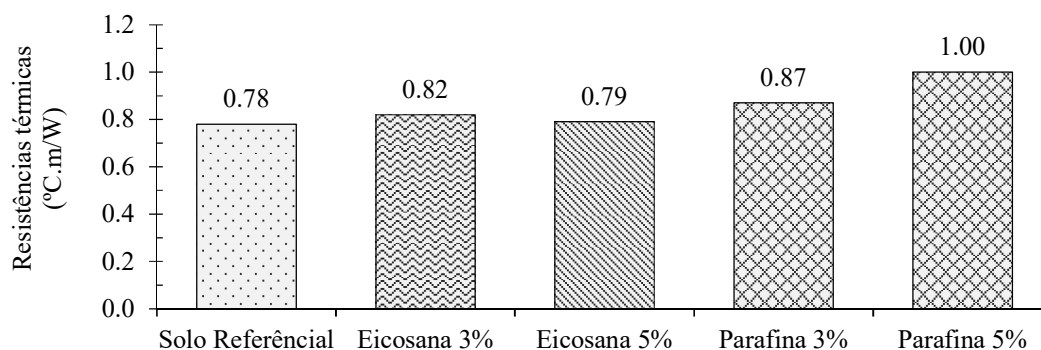
Globalmente conclui-se que todas amostras de PCMs na Figura 5 obtiveram valores inferiores à amostra de solo referencial dos blocos solo-cimento. À medida que se aumenta a percentagem de PCMs no solo-cimento os valores de condutividade térmica têm uma tendência para diminuir estes valores, traduzindo-se num aumento de isolamento térmico, assim maiores quantidades de parafina adicionada ao solo maiores são as suas capacidades de isolamento térmico.

As moléculas de PCMs ficam sujeitas a muitas vibrações devido a fatores externos, nomeadamente às temperaturas a que são expostos, a interação dos constituintes do bloco solo-cimento originam um armazenamento de energia cinética e com isso a energia potencial armazenada nestes graus de liberdade contribui para aumento desta, mas não na temperatura.

No caso deste tipo de materiais de mudança de fase (PCMs) é necessário elevar as temperaturas a uma determinada fase chamada de vaporização na ordem dos 300 °C, com este fato ocorre a separação molecular entre os átomos de hidrogénios ocorrendo a volatilização dessa matéria. No estado líquido destes materiais não ocorre a separação molecular, fixando-os no interior dos elementos construtivos.

Os blocos solo-cimento com adição de materiais de mudança de fase apresentaram bom desempenho em dissipar energias térmicas. A baixa condutividade do bloco solo-cimento produz bons isolamentos térmicos, no caso de aplicação destes materiais em paredes de uma residência, o fluxo de calor tem dificuldade de difundir-se para o interior.

Na Figura 6 observa-se as resistências térmicas dos blocos solo-cimento. A análise da resistência térmica é inversa quando comparada com a condutividade térmica destes materiais como se observa na Figura 5. O aumento percentual dos PCMs no solo-cimento conduz a resistências térmicas maiores.



**Figura 6 - Resistências térmicas (R) do bloco solo-cimento.**

À medida que a temperatura da estrutura aumenta verifica-se uma quebra da resistência térmica, logo entra em ação os materiais inteligentes (PCMs). Estes detetam a variação de temperatura fora dos limites da temperatura e processa a quebra das ligações químicas entre os átomos de hidrogênio absorvendo a variação do calor, e consequentemente acumulando energia na forma de calor latente, quando a temperatura baixar as ligações químicas são organizadas novamente e com isso devolvem o calor ao ambiente. Assim com este processo serão menos utilizados equipamentos que controla energia do meio ambiente.

#### 4. Conclusões

A racionalização e economia de energia térmica são importantes na época atual, não só pela indústria, mas de uma maneira geral. Assim sendo, a transferência de calor com a máxima eficiência possível é tão importante quanto evitar perdas de calor com a utilização de materiais adequados a parafina combinada com solo-cimento na construção de bloco para alvenaria tem essa função binária.

As misturas obtidas a partir da substituição parcial do solo acrescentando 10% de areia obtiveram maiores resistências mecânicas quando comparadas com solo natural para blocos solo-cimento.

A adição de PCMs aos materiais melhora substancialmente desempenho térmico, no entanto a resistência mecânica dos blocos solo-cimento diminuem com o aumento destes materiais.

O uso do método de fluorescências de raios (FRX), é vantajoso no processo da correção granulométrica do solo para a fabricação do bloco solo-cimento. Isto em função das resistências mecânicas quando comparado ao método mecânico tradicional.

#### Referências

- ABNT NBR 08491. ABNT NBR 08491:1992 - Tijolo maciço de solo-cimento (1992). Brasil: ABNT.
- ABNT NBR 5738. ABNT NBR 5738:2003 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. (2003). Brasil: ABNT.
- ABNT NBR 6491. ABNT NBR 6491:1985 - Reconhecimento e amostragem para fins de caracterização de pedregulho e areia (1985). Brasil: ABNT.
- ASTM D5334-08. Standard Test Method for Determination of Thermal Conductivity of Soil and Soft Rock by Thermal Needle Probe Procedure (2008). United States of America, West Conshohocken: ASTM.
- Colvin, D. P., & Bryant, Y. G. (1998). Protective clothing containing encapsulated phase change materials. *HTD American Society of Mechanical Engineers*, 362, 123–132.
- Colvin, D. P. (Cary, NC), Bryant, Y. G. (Raleigh, NC), Driscoll, J. C. (Cary, NC), Mulligan, J. C. (Raleigh, N. (1995). Thermal insulating coating employing microencapsulated phase change material and method.
- Embrapa Solos. (2013). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (3a edição) (3rd ed., p. 342). São Paulo - Brasil.
- Gardolinski, J. E., Martins Filho, H. P., & Wypych, F. (2003). Comportamento térmico da caulinita



- hidratada. *Quimica Nova*, 26(1), 30–35.
- Grim, R. E. (1953). Clay Mineralogy. Encyclopedia of Ocean Sciences Second Edition (Vol. 2, pp. 563–571). doi:10.1016/B978-012374473-9.00186-7
- Houben, H., & Guillaud, H. (1994). Earth construction: a compressive guide. *Intermediate Technology Publications*, 290 P.
- Mullins, C. E., MacLeod, D. A., Northcote, K. H., Tisdall, J. M., & Young, I. M. (1990). Hardsetting soils: Behavior, occurrence, and management. Springer.
- Peippo, K., Kauranen, P., & Lund, P. D. (1991). A multicomponent PCM wall optimized for passive solar heating. *Energy and Buildings*.
- Rudd, A. F. (1993). Phase-change material wallboard for distributed thermal storage in buildings. In *ASHRAE Transactions* (Vol. 99, pp. 339–346). Publ by ASHRAE.
- Santos, P. S. (1989). Ciência e tecnologia de argila (2 Ed. - Vo., p. 408). São Paulo - Brasil, Brasil: Edgard Blucher.
- Stengel, P. (1983). Analyse de la porosité. (p. 68 P.). Avignon, FRA: Presented at *Séminaire CEE Agrimed*.