

Atas das Comunicações das 6as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos e das 1as Jornadas de Proteção Civil

**Editores: João Paulo Correia Rodrigues
António Moura Correia
Cristina Calmeiro dos Santos**

**Primeira edição
novembro, 2018**

Copyright © 2018 João Paulo C. Rodrigues

Nenhuma parte desta obra pode ser reproduzida sem autorização escrita do editor.

ISBN: 978-989-96461-9-3

Edição:

ACIV – Associação para o Desenvolvimento da Engenharia Civil

COMPORTAMENTO AO FOGO DE BLOCOS ECOLÓGICOS DE SOLO-CIMENTO COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS

Débora Macanjo Ferreira¹
Professora
IPB - Bragança

Eduarda Pires Luso
Professora
IPB - Bragança

Maria Lurdes Cruz
Bolsista Investigação
IPB - Bragança

Eduarda Nepomuceno
Aluna MEC
IPB - Bragança

SUMÁRIO

O projeto VALORCOMP pretende caracterizar blocos ecológicos resultantes de uma mistura homogénea e compactada de solo, cimento, água e resíduos em proporções adequadas, curados e sem qualquer tipo de cozedura com o objetivo de avaliar o potencial de recuperação de resíduos orgânicos. A finalidade deste trabalho é avaliar a resistência à compressão de provetes cilíndricos sob o efeito do aumento de temperatura em regime estacionário. São analisadas três composições distintas, em relação a diferentes patamares de temperaturas, para poder comparar o seu comportamento e aferir qual a mistura com melhor desempenho. Tendo em conta os resultados obtidos a segurança em caso de exposição a temperaturas elevadas não se afigura como um problema, sendo importante continuar a investigação para tentar encontrar alternativas para colmatação dos efeitos prejudiciais da matéria orgânica.

PALAVRAS-CHAVE: Solo-cimento; resíduos orgânicos; resistência ao fogo.

1. INTRODUÇÃO

O solo é um dos elementos mais importantes no setor da construção, quer no seu estado natural, em fundações ou escavações, quer quando utilizado como material de construção. A estabilização química de solos é feita com a introdução de componentes (ligantes) nos solos que resulta na melhoria da sua resistência e diminuição da sua suscetibilidade às variações de humidade. Dos diversos produtos químicos utilizados para a estabilização, o cimento é o de utilização mais generalizada, devido à sua maior disponibilidade e adequabilidade a uma maior variedade de solos.

Uma das aplicações do solo estabilizado é no fabrico de blocos, que embora tenham um campo de aplicação mais limitado que os elementos de construção em betão ou cerâmica, podem permitir uma utilização mais vasta que a atual. Os blocos são um dos elementos mais importantes para a indústria da construção civil, por isso, são várias as tentativas para conseguir soluções alternativas sustentáveis para a sua fabricação, mantendo os requisitos dos elementos em causa. Este é o objetivo da técnica de produção de blocos ecológicos de solo-cimento, que resulta em menores danos para o meio ambiente, por evitar a queima das matérias-primas e geração de poluentes na atmosfera [1]. Uma vantagem dos blocos de solo-cimento é a possibilidade de adição de outros materiais à mistura, em especial material descartável, o que é um fator importante para a construção sustentável.

O acumular de resíduos transformou-se num problema para a sociedade atual, acarretando enormes prejuízos ambientais. O problema levou à escassez de zonas para depósito dos resíduos causada pela ocupação e valorização de áreas urbanas, problemas de saneamento público e contaminação ambiental [2]. Uma das

¹Instituto Politécnico Bragança, Escola Superior Tecnologia e Gestão, Departamento de Mecânica Aplicada, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal
email: debora@ipb.pt

possibilidades para a diminuição do impacto ambiental passa pela reutilização de resíduos em novos materiais. Ferreira *et al* [3] fizeram uma síntese dos trabalhos já realizados com o objetivo referido. Os resíduos são classificados de acordo com a composição que apresentam. O resíduo orgânico é aquele que apresenta origem biológica produzido a partir de origem vegetal ou animal, ou seja, fez parte de um ser vivo como é o caso dos galhos, das folhas das árvores e das plantas, das cascas de frutas e de resíduos alimentares. Uma das atividades do projeto VALORCOMP visa a incorporação de resíduos orgânicos na composição de blocos à base de solo-cimento. As propriedades destes blocos ficam alteradas com esta adição sendo fundamental estudar as suas propriedades termomecânicas.

2. MATERIAIS UTILIZADOS

As características do solo podem conduzir ao sucesso ou insucesso do processo de estabilização com cimento, pelo que se torna importante conhecer a sua composição. O solo utilizado foi fabricado em laboratório através da mistura de 70% de areia (Figura 1-a) e 30% de caulino (Figura 1-b), o que permitiu obter uma Areia Argilosa (SC), segundo a classificação unificada proposta pela norma ASTM D2487 (2017) [4]. A fabricação dos blocos é inadequada com solos de elevada percentagem de argila (>30%), devido à grande absorção de água por parte destas partículas, o que causa retrações elevadas em processo de secagem conduzindo ao aparecimento de fissuras. Contudo pequenas percentagens de argila são benéficas para assegurar coesão nos blocos frescos moldados [5]. O caulino usado foi o Mibal, de Barqueiros, que é um produto resultante da alteração das rochas feldspáticas ricas em sílica e alumina, como por exemplo, os granitos, os gneisses, os pórfiros e os pegmatitos. Tem como componente essencial a caulinite, um dos minerais que aparecem em maior percentagem nas partículas de argila dos solos residuais graníticos, sendo este mineral que confere ao caulino as propriedades mais relevantes. A opção por um solo artificial (Figura 1-c) em vez de um solo natural deveu-se ao facto de tentar minimizar os fatores que podem influenciar os resultados finais, dada a heterogeneidade dos solos naturais.

Pinto [6] refere que a bibliografia normalmente indica que teores de 4% a 10% de cimento são suficientes para bons resultados de resistência dos blocos. Segundo Moriarty *et al* [7], a quantidade de cimento mínima em blocos para paredes internas, é de cerca de 5%, para assegurar o manuseamento e o suporte dos elementos superiores, enquanto para paredes externas, os requerimentos de durabilidade sugerem percentagens de 7% e para fundações, uma adequada resistência em imersões prolongadas requer valores de 8%. O cimento utilizado foi o cimento Portland de Calcário II/B-L 32.5 N, tendo sido escolhida a percentagem de 10% da massa de solo seco.

Outro componente é a água, elemento essencial para a hidratação do cimento, tendo sido utilizada água da rede pública.

O composto orgânico utilizado foi fornecido pela empresa Resíduos do Nordeste (Figura 1-d) a partir dos resíduos recolhidos. Trata-se de um corretivo orgânico resultante do tratamento biológico de resíduos urbanos, provenientes da recolha indiferenciada dos treze concelhos da área de abrangência da empresa citada, parceira do projeto. É um composto fresco, da classe de qualidade II A (Diário da República, 1.ª série - N.º 114 de 15 de junho de 2015) [8] destinado a culturas agrícolas arbóreas e arbustivas. Pelo facto de o composto ser orgânico existe o problema do cheiro. Quando utilizado nos provetes e como a quantidade é pequena o odor é menos perceptível que no composto isolado, diminuindo com o tempo de cura e reavivando em contacto com água ou para determinadas temperaturas.

O carvão ativado (Figura 1-e) está a ser usado para tentar eliminar o odor do resíduo. É um material poroso de origem natural e um poderoso adsorvente, usado para filtração e purificação de vários materiais. Devido às suas qualidades de adsorção das moléculas poluentes, estas concentram-se sobre a superfície do carvão ativado e são removidas. É utilizado em processos de filtração em que se pretende purificar, descolorir e remover odores. O carvão ativado pode ser misturado ao material a ser tratado e posteriormente removido após um tempo de contacto [9]. Foram feitas várias experiências para aferir a dosagem e condições de atuação do carvão ativado que permitiam uma melhor eficácia no objetivo pretendido. Verificou-se o melhor desempenho na mistura de 20g de composto orgânico com 10g de carvão ativado (proporção 2:1), após colocação em estufa durante 12h a 50°C,

sendo o carvão posteriormente removido por peneiração e lavagem até se obter o composto tratado (Figura 1-f). Durante este processo de tratamento perde-se cerca de metade da quantidade de resíduo inicial.

Como era previsível que o composto prejudicasse a resistência mecânica decidiu-se utilizar a sílica ativa para contrariar este efeito. A sílica ativa (Figura 1-g), também conhecida como “sílica fumo” ou “microsílica”, é o resultado da fabricação do ferro silício, quando é libertado monóxido de silício (SiO), que rapidamente é oxidado até se transformar num dióxido de silício (SiO₂). É considerada uma substância importante para a construção civil, em especial pela sua capacidade de dar resistência, fluidez e durabilidade ao betão, para além de ser uma utilização sustentável, por ser um produto que seria descartado para o meio ambiente. A condição de “silício oxidado” confere-lhe uma aparência não cristalina, com aspecto de um pó finíssimo e, por isso, capaz de preencher “vazios”. Na reação química do cimento com a água são formados os silicatos de cálcio hidratados, responsáveis pela resistência mecânica, e os hidróxidos de cálcio, os quais não contribuem para a resistência. A sílica ativa potencializa a resistência do betão, reagindo com os hidróxidos de cálcio que existem em excesso formando os silicatos de cálcio hidratados [10].

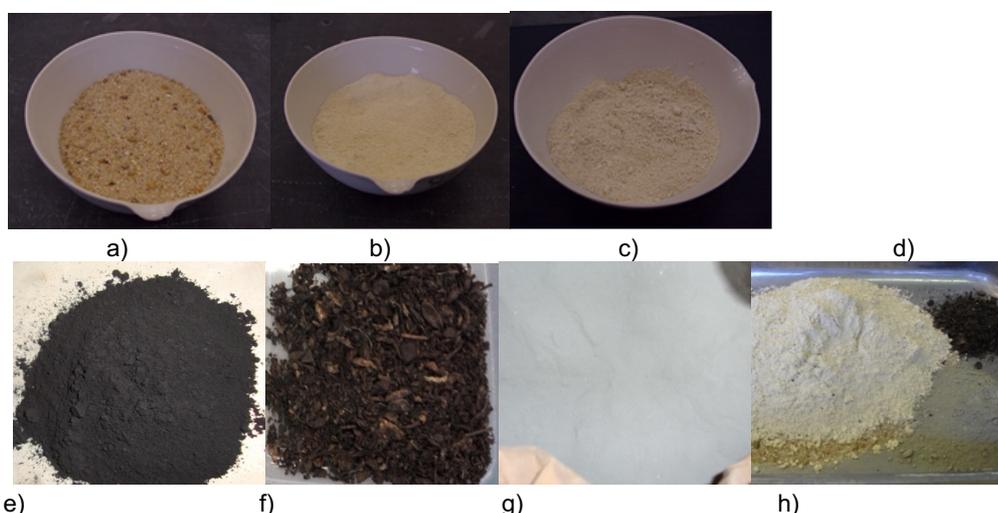


Figura 1: Materiais utilizados: a) areia; b) caulino; c) solo artificial; d) composto orgânico; e) carvão ativado; f) composto tratado; g) sílica ativa; h) mistura a + b + cimento + d

Para avaliar o efeito do cimento e do composto orgânico foram adotadas três composições de misturas, de modo a averiguar quais as alterações em termos termomecânicos. A constituição destas composições está esquematizada no Quadro 1. Por exemplo, para a composição SCRSi, S designa o solo, C refere-se ao cimento, R é referente ao resíduo e Si significa que se utilizou sílica. Identificado o solo, para verificação da sua adequabilidade à estabilização com cimento, foram realizados ensaios de compactação. A baridade seca máxima e o teor em água ótimo permitiram estabelecer as quantidades de materiais necessárias para cada provete (Quadro 1). De referir que a massa de cimento equivale a uma percentagem de 10% em relação à massa seca de solo, enquanto a de resíduo é em substituição de 20% do volume de areia e a de sílica é 10% da massa de cimento (substituição).

Quadro 1: Quantidades dos elementos das composições

| Composição | Areia (g) | Caulino (g) | Cimento (g) | Resíduo (g) | Sílica (g) | Água (g) |
|------------|--------------|----------------|----------------|----------------|---------------|-------------|
| SC | 676,47 | 289,91 | 96,64 | ----- | ----- | 108,43 |
| SCR | 579,95 | 310,69 | 91,59 | 25,29 | ----- | 97,73 |
| SCRSi | 579,95 | 310,69 | 82,43 | 25,29 | 9,16 | 97,73 |

Para a elaboração dos provetes seguiu-se genericamente a norma ASTM D1632 (2017) [11], tendo sido fabricados provetes cilíndricos por compactação estática, com 70 mm de diâmetro e 140 mm de altura obedecendo à relação

altura/diâmetro de 2. Os provetes foram elaborados um a um, iniciando-se o processo com a mistura a seco das quantidades de areia, caulino, cimento e resíduo previamente determinadas. Depois de misturados os elementos secos de cada composição, procedeu-se à junção da água, sendo tudo misturado manualmente até se verificar que a mistura apresentava homogeneidade. Seguiu-se a moldagem dos provetes utilizando o equipamento disponível sendo a compactação realizada com compactador manual em três camadas. Estas condições de fabrico mantiveram-se para todos os provetes. Após a moldagem dos provetes, seguiu-se o período de cura, em câmara húmida, em que estes foram mantidos a uma humidade sensivelmente constante de 95% e a uma temperatura de $\pm 20^{\circ}\text{C}$ até ao dia dos ensaios.

3. ENSAIOS REALIZADOS

3.1 Ensaio prévios

Para averiguar a adequabilidade do solo à sua estabilização com cimento são necessários ensaios de análise granulométrica e determinação dos limites de consistência. Escolhido o solo foram realizados ensaios de compactação para as composições a estudar, para aferir os valores de controle da compactação (Quadro 2), já que o solo-cimento é o produto resultante da mistura de solo, cimento e água que compactados na humidade ótima e sob a máxima densidade, adquirem resistência e durabilidade através das reações de hidratação do cimento.

Quadro 2: Valores ensaios compactação

| Composição | Baridade seca máxima (g/cm ³) | Teor em água ótimo (%) |
|------------|--|---------------------------|
| SC | 1,974 | 10,20 |
| SCR | 1,870 | 9,70 |
| SCRSi | 1,870 | 9,70 |

3.2 Resistência termomecânica

A resistência de um elemento exposto ao fogo é avaliada pelo tempo que decorre desde o início do processo térmico normalizado a que este é submetido, até ao instante em que ele deixa de satisfazer as suas funções, por exemplo, perda de resistência. Na prática, consiste em colocar o elemento num forno e fazer variar a temperatura ao longo do tempo, de acordo com uma função normalizada - curva de incêndio padrão. A curva ISO 834 [12] é a mais usada para avaliar a capacidade resistente de estruturas de edifícios, representando um incêndio num edifício onde a temperatura cresce infinitamente, apesar de num incêndio real esta diminuir quando a maioria dos materiais combustíveis tiver ardido. A temperatura aumenta rapidamente dos 20°C até aos 842°C após os primeiros 30 minutos, atingindo posteriormente os 1000°C ao fim de 87 minutos. A temperaturas elevadas ocorrem mudanças físicas nos elementos ensaiados o que provoca alterações nas suas propriedades mecânicas.

O Laboratório de Estruturas e Resistência dos Materiais do Instituto Politécnico de Bragança possui um forno adequado à avaliação da resistência à compressão de elementos de construção sujeitos a diferentes temperaturas e equipamentos capazes de medir e regular a temperatura no interior do forno e na face exposta do provete.

O sistema para aquisição dos dados da temperatura é constituído por aparelhos para regulação e medição desta variável (PID, MGC Plus e PC com software CalmanEasy DAQ Project). O PID responsável por controlar o aquecimento do forno, permite a fixação, a verde, do valor da temperatura a ser alcançada na superfície exposta do provete, a azul aparece a temperatura no provete e a vermelho o valor da temperatura no forno (Figura 2-a).



a)



b)

Figura 2: a) PID; b) MGC Plus;

O sistema de aquisição multicanal MGC Plus (Figura 2-b), com 23 canais de leitura disponíveis, dos quais foram utilizados 2, tendo o canal 1.2 sido usado para monitorizar a temperatura do provete, e o canal 1.3 para a temperatura interna do forno. Os dados da temperatura do forno e da amostra após leitura pelo sistema MGC Plus eram registados pelo software, que apresenta os valores em forma de gráfico tempo *versus* temperatura, estando a vermelho a representação da temperatura dentro de forno e a azul a temperatura do provete (Figura 3).

O sistema de aquisição de dados da temperatura está ligado ao forno que está acoplado na máquina de ensaios universal da Instron® série 4485. Os provetes eram colocados na máquina de ensaios, tendo o cuidado de alinhar o centro do provete com a célula de carga e de manter uma distância de cerca de 5mm entre a parte superior da prensa e a amostra para precaver a possibilidade de dilatação do material ensaiado a altas temperaturas. Também eram fixados os termopares que são sensores utilizados com a função de medir a temperatura, e neste trabalho foram usados dentro do forno e na superfície do provete. Cobrem um intervalo de temperaturas extenso, que vai de -200 a 2300 °C aproximadamente, com boa precisão. São compostos por dois filamentos de metais de natureza diferente, unidos numa extremidade, denominada por junta de medição, e na outra, onde fecha o circuito, por junta de referência. O primeiro termopar era fixado no provete com a ajuda de um fio, para controlo e monitorização da temperatura no provete enquanto o segundo termopar era colocado na envolvente da amostra, sem estar em contacto com nenhuma superfície, com o objetivo de medir a temperatura do ar interior do forno (Figura 4-a). No fim desta sequência de procedimentos o forno foi fechado (Figura 4-b).

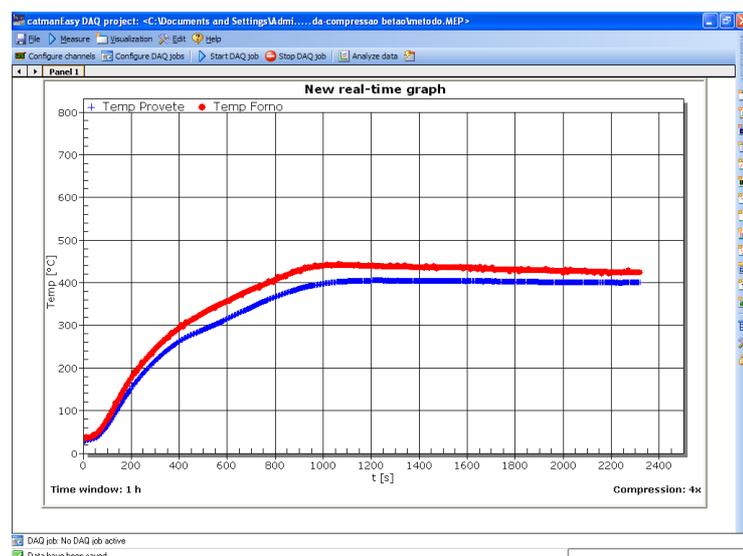


Figura 3: Interface software CalmanEasy DAQ Project

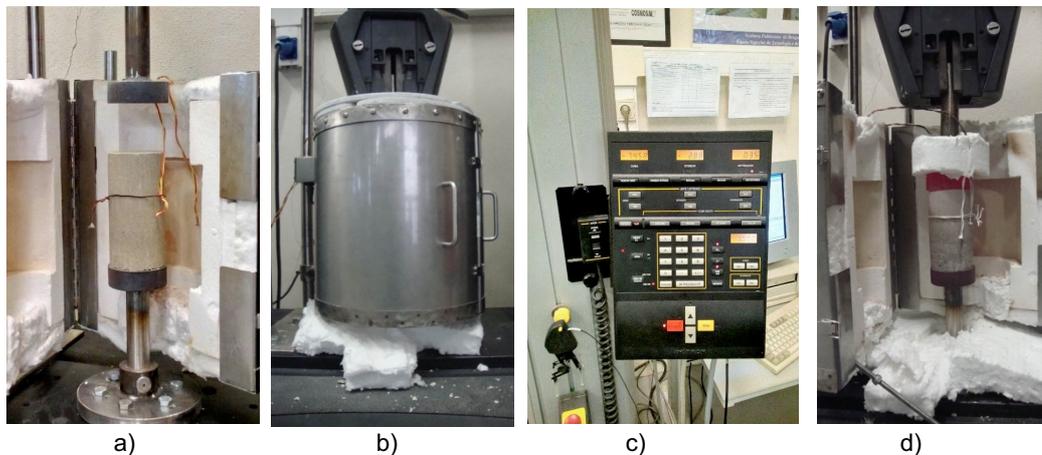


Figura 4: a) Termopares; b) forno acoplado Instron; c) controle Instron; d) final ensaio

Os ensaios foram realizados para cinco patamares de temperatura distintos, o primeiro patamar é referente à temperatura ambiente, 20°C, seguiu-se o patamar de 100°C, 200°C, 400°C e 600°C. Depois de alcançada a temperatura desejada no provete, houve um tempo de espera de 15 minutos para garantir que a parte interna do provete também tivesse a temperatura pretendida, para então dar início ao ensaio de compressão. A temperatura do forno e do provete eram controladas até o final do ensaio. Com a velocidade do ensaio fixada em 0.6 mm/s (Figura 4-c), foi possível observar o comportamento do provete assim como a tensão máxima, dando-se o ensaio por terminado quando o provete atingia a rotura (Figura 4-d). Após o ensaio, os provetes eram colocados numa base para arrefecimento, só tendo início o ensaio seguinte quando o forno e a base da máquina chegassem à temperatura ambiente.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Em seguida, serão apresentados os resultados da resistência à compressão por patamar de temperatura e por composição, para poder comparar os seus comportamentos e compreender a influência dos elementos das composições e da temperatura na resistência à compressão.

No Quadro 3 é possível observar o valor médio da tensão de rotura obtido nos ensaios de resistência termomecânica em regime estacionário. De uma forma geral a tensão máxima aumenta à medida que as temperaturas são mais elevadas, sendo as diferenças entre 20 e 600°C de aproximadamente 12, 7 e 6 MPa, para as composições SC, SCR SCRSi, respetivamente.

| Composição | Quadro 3: Tensão média de rotura (MPa) | | | | |
|------------|--|-------|-------|-------|-------|
| | Patamar de Temperatura | | | | |
| | 20°C | 100°C | 200°C | 400°C | 600°C |
| SC | 7,58 | 7,60 | 11,82 | 17,89 | 19,75 |
| SCR | 4,52 | 3,50 | 6,14 | 6,00 | 11,90 |
| SCRSi | 3,86 | 2,82 | 6,90 | 7,74 | 9,13 |

4.1 Apresentação dos resultados por temperatura

As composições ensaiadas serão analisadas por patamar de temperatura sendo possível compreender e observar qual a composição com melhor comportamento. Pode-se verificar que qualquer que seja o patamar de temperatura (Figuras 5, 6, 7), a composição com melhor desempenho é a que não contém resíduo, o que comprova o efeito estabilizante do cimento. Do lado contrário está a mistura com resíduo e sílica, com valores muito próximos e normalmente inferiores (exceção para 400°C) aos das composições com composto.

Para 100°C obtiveram-se resultados próximos aos registados para a temperatura ambiente, demonstrando que os materiais não sofreram grandes alterações. A partir de 200°C verifica-se, para todas as composições, que à medida que se aumenta a temperatura regista-se um aumento nos valores da resistência. De salientar que as maiores diferenças na resistência à compressão para as composições estudadas se registam para valores mais próximos da tensão de rotura, qualquer que seja o patamar de temperatura.

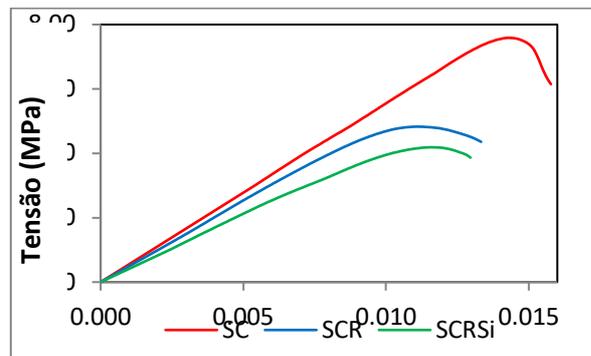


Figura 5: Relação tensão (MPa) versus extensão êmbolo (mm/mm) – 20°C

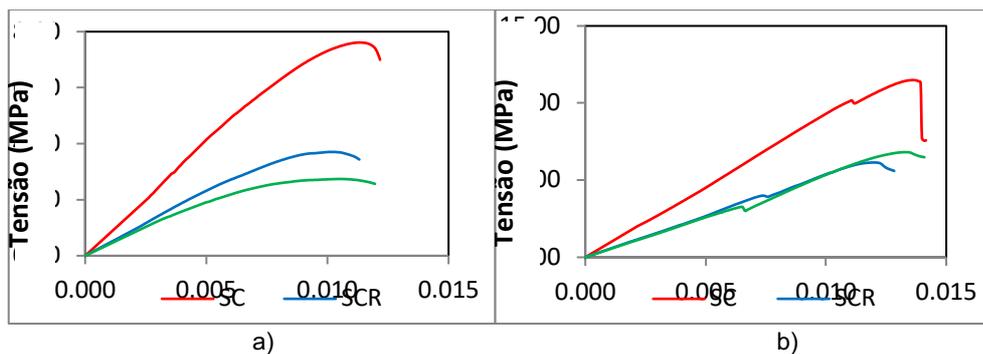


Figura 6: Relação tensão (MPa) versus extensão êmbolo (mm/mm): a) 100°C; b) 200°C

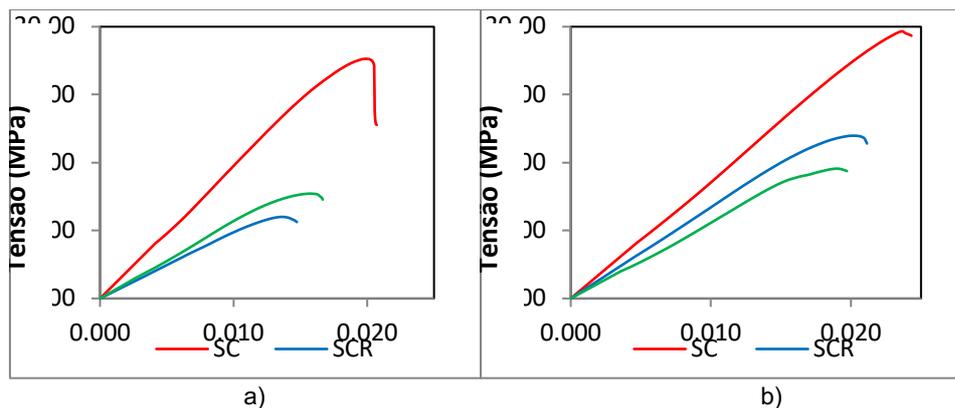


Figura 7: Relação tensão (MPa) versus extensão êmbolo (mm/mm): a) 400°C; b) 600°C

As composições com menor resistência, qualquer que seja a temperatura, foram as que contêm resíduo, demonstrando que o composto influencia a resistência dos provetes, neste caso de forma negativa, porque prejudica as reações de hidratação do cimento. A utilização da sílica não consegue colmatar este efeito negativo, pelo que tendo em conta a economia e a sustentabilidade não se afigura como viável a sua utilização.

4.2 Apresentação dos resultados por composição

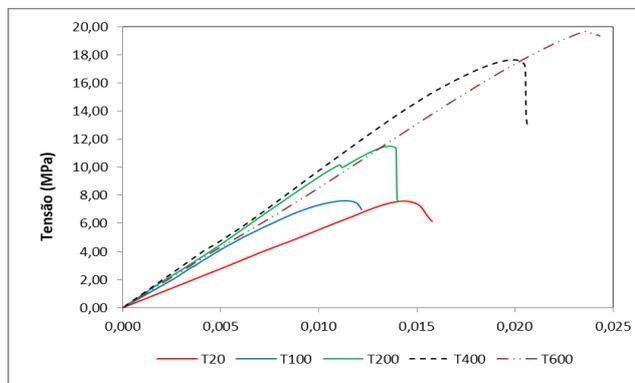


Figura 8: Relação tensão (MPa) versus extensão êmbolo (mm/mm) – SC

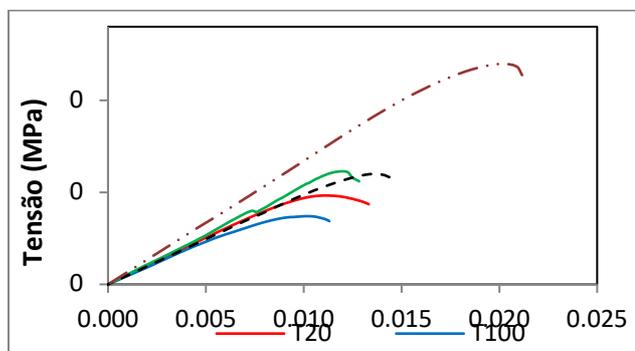


Figura 9: Relação tensão (MPa) versus extensão êmbolo (mm/mm) – SCR

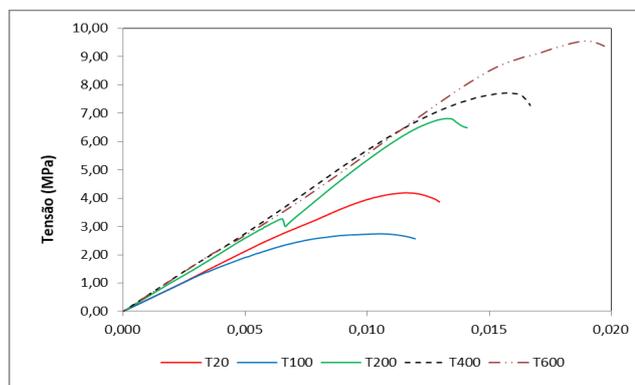


Figura 10: Relação tensão (MPa) versus extensão êmbolo (mm/mm) – SCRSi

Verifica-se que qualquer que seja a composição (Figuras 8, 9, 10), o patamar de temperatura a 600°C é o que apresenta globalmente maiores resistências. As resistências mais baixas registam-se para os patamares de temperatura a 20 e a 100°C, qualquer que seja a composição.

Até 200°C o aspeto visual não tem alterações significativas (cor semelhante) para todas as composições, quando em comparação com a aparência à temperatura ambiente. A partir dos 400°C todas as composições depois de ensaiadas apresentaram mudança de tonalidade (efeito de cozedura), ver Figura 11. Para 200°C os provetes com resíduo apresentaram um cheiro desagradável (superior ao existente antes do ensaio), que vai diminuindo de forma lenta com o decorrer do tempo, sendo que a partir de 400°C este problema deixa de existir. A partir de 400°C

aparecem zonas mais escuras na parte exterior dos provetes com composto (contacto com os elementos da Instron, pontos com resíduo) a que acrescem as alterações no aspeto visual interior da mistura (Figura 12).

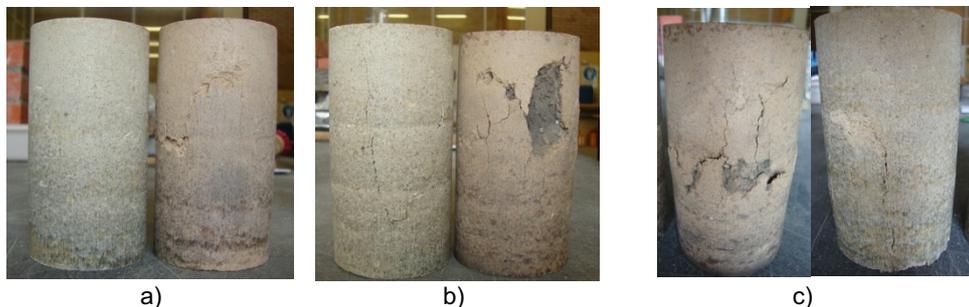


Figura 11: Composições $\leq 200^{\circ}\text{C}$ e $\geq 400^{\circ}\text{C}$: a) SC; b) SCR; c) SCRSi



Figura 12: Aspeto visual das composições sem e com resíduo, após ensaio a 400 e 600°C

5. CONCLUSÕES

O projeto ValorComp ainda se encontra em curso, sensivelmente a meio do tempo de execução, pelo que existem situações ainda não experimentadas ou analisadas (evolução do odor com o tempo, composições com as cinzas do composto e com o resíduo tratado, por exemplo). O recurso ao uso de cimento para a estabilização de solos a utilizar no fabrico de blocos é um método viável que permite bons resultados do ponto de vista mecânico. A incorporação de resíduos nas misturas de solo-cimento permite outra utilização para o composto, ao mesmo tempo que permite economizar na quantidade de solo a utilizar. Apesar dos resultados promissores registados nas misturas de solo-cimento com resíduo, em termos mecânicos, verifica-se uma pequena perda de resistência relativamente às misturas sem resíduo. Este decréscimo supõe-se que é devido ao efeito prejudicial da matéria orgânica nas reações de hidratação do cimento. A utilização de sílica mostrou-se como alternativa não exequível para a melhoria da resistência mecânica, pois globalmente o desempenho foi muito próximo e normalmente inferior ao comportamento das composições semelhantes sem sílica, a que acresce como fator negativo o preço deste material. O escurecimento das composições com resíduo pode estar relacionado com a volatilização que existirá no composto a partir dos 400°C. Resumindo, pode-se afirmar que todas as composições tiveram um aumento da resistência quando submetidas a temperaturas de 200, 400 e 600°C, pelo que a segurança em caso de exposição a temperaturas elevadas não se afigura como um problema.

AGRADECIMENTOS

Ao projeto VALORCOMP, financiado pelo FEDER através do Programa INTERREG V-A Espanha – Portugal (POCTEP) 2014-2020.

REFERÊNCIAS

- [1] Wisbiski, E. A. B. - *Utilização de cinza de caldeira na fabricação de tijolo sustentável*, VII Seminário de extensão e inovação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.

6as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos
1as Jornadas de Proteção Civil
Universidade de Coimbra- Portugal – 29 e 30 de novembro de 2018

- [2] John, V.M. - *Reciclagem de resíduos na construção civil – contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento*, Tese-Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2000.
- [3] Ferreira D., Luso E., Cruz M. - *Blocos ecológicos com incorporação de resíduos municipais*. Congresso Euro-Americano REHABEND 2018, Cáceres, Espanha, 2018.
- [4] ASTM D2487-17 - *Standard Practice for Classifications of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*, American Society for Testing Materials, 2017.
- [5] Bush, Alfred - *Understanding stabilized earth construction*, Technical Paper, Published by Volunteers in Technical Assistance, 1984.
- [6] Pinto, L. M. - *Estudo de tijolos de solo cimento com adição de resíduo de construção civil*. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal de Santa Maria, 2015.
- [7] Moriarty, J. P., Svare, T. I., Therkildsen, O. K. - *Soil-cement for low-cost housing*. Norges Byggeforskning Institutt, 1975.
- [8] Diário da República, 1.ª série - N.º 114, 15 de junho de 2015 - *Decreto-Lei n.º 103/2015*, Ministério da Economia, República Portuguesa, 2015.
- [9] Freitas, L. C. S., Bueno, S. M. - *Carvão ativo: breve histórico e estudo de sua eficiência na retenção de fármacos*. União das Faculdades dos Grandes Lagos, São Paulo, 2014.
- [10] Tezuca, Y. - *Guia de utilização de cimentos hidráulicos*. Associação Brasileira de Cimento Portland, São Paulo, 1988.
- [11] ASTM D1632-17 - *Standard Practice for Making and Curing Soil-Cement Compression and Flexure Test Specimens in Laboratory*. American Society for Testing Materials, 2017.
- [12] ISO 834/1-99 - *Fire-resistance tests - Elements of building construction*. International Organization for Standardization, 1999.