

Caracterização e incorporação de cinzas volantes de biomassa em argamassas



Elisabete Teixeira¹



Aires Camões¹



**Fernando G.
Branco²**

RESUMO

Hoje em dia, o sector da construção tenta encontrar soluções de utilização de alguns resíduos, com o intuito de minimizar os problemas relacionados com a produção do cimento e com a durabilidade do betão. Alguns estudos mostram que as cinzas volantes de biomassa (CVB) apresentam propriedades que permitem a sua utilização como material pozolânico. Contudo, existem ainda algumas limitações na sua utilização, nomeadamente as questões relacionadas com as barreiras comerciais.

Este trabalho foca-se no efeito da sua utilização como material substituto do cimento na produção de argamassas, com três níveis de substituição do cimento (20, 40 e 60%m). Em cada nível de substituição foram estudadas propriedades frescas e endurecidas das argamassas produzidas, como por exemplo, espalhamento, resistências mecânicas e absorção de água.

Os resultados mostraram que o espalhamento das argamassas diminuiu com o aumento da quantidade de cinzas adicionada. Argamassas com 20%m de substituição do cimento apresentaram os melhores valores em termos de resistência mecânicas e absorção de água.

O uso de CVB parece ser promissor, tendo em conta que as argamassas com até 20% de substituição apresentaram bons resultados em termos de qualidade e durabilidade. Estes resultados indicam que o uso de CVB, na produção de outros materiais, por exemplo em betões, pode conduzir a bons resultados, contribuindo inclusive para uma melhoria na sustentabilidade desses materiais, tendo em conta que se substitui cimento por um resíduo, sem se comprometer a qualidade e a durabilidade dos mesmos.

Palavras-chave: Argamassas; Cimento; Cinza Volante de Biomassa; CVB; Resistências Mecânicas; Sustentabilidade

¹CTAC, Department of Civil Engineering, School of Engineering, University of Minho, Campus de Azurém, 4800-058 Guimarães, Portugal.

²ISISE – Coimbra, Department of Civil Engineering, University of Coimbra, Rua Luís Reis Santos - Pólo II da Universidade, 3030 - 788 Coimbra Portugal

1. INTRODUÇÃO

Hoje em dia, as questões da sustentabilidade são uma das preocupações de todos os sectores económicos, sendo também de extrema importância no sector da construção. O betão é um dos materiais mais utilizados no setor da construção, pois possui diversas características importantes, tais como uma boa resistência mecânica e durabilidade, boa resistência ao fogo, preço acessível e disponibilidade. No entanto, a utilização do betão origina um impacto significativo no meio ambiente, pois a sua produção necessita de um elevado consumo de energia, e incorpora um alto teor de recursos naturais [1].

O aumento das emissões de dióxido de carbono para a atmosfera, é um fator com cada vez maior importância em termos globais. A produção de cimento Portland origina a libertação de grandes quantidades de CO₂ para atmosfera e, consequentemente, contribui para problemas ambientais relacionados com as alterações climáticas e a produção de gases com efeito de estufa. [2]. Na produção de cada tonelada de cimento Portland é libertada uma quantidade entre 800 e 1200 kg de dióxido de carbono [2] e a indústria do cimento contribui com cerca de 7% do total de emissões deste gás para a atmosfera [3]. No fabrico de cimento também existe um elevado consumo de energia, cujo impacto ambiental deve ser tido em conta. O consumo de energia relacionado com o processo de fabrico do cimento é apenas ultrapassado pela produção de alumínio e de aço, alcançando valores próximos a cerca de 4 GJ por tonelada [3,4].

Diversas soluções têm sido exploradas com o objetivo de minimizar os problemas ambientais relacionados com a produção de cimento e, consequentemente, com a produção de betão. Um exemplo é a incorporação de cinzas volantes provenientes de centrais termoeléctricas. A substituição de grandes quantidades de cimento por cinzas volantes é benéfica sob o ponto de vista económico, da eficiência energética, da durabilidade e dos benefícios ecológicos e ambientais [5].

A utilização de cinzas volantes de carvão (CVC) como material substituto do cimento é justificada, por exemplo, pelo facto de estas possuírem menor calor de hidratação e serem um subproduto da combustão do carvão, sendo por isso mais baratas do que o clínquer. As cinzas volantes são usadas frequentemente como substituto do cimento no betão, em percentagens de substituição de 0 a 40% do seu peso. No entanto, sabe-se atualmente que o uso de betão com 50% ou mais de substituição de cimento por cinzas volantes pode ter benefícios em termos técnicos e ambientais [1]. Contudo, a elevada substituição do cimento por cinzas volantes leva a alguns problemas, tais como: retardamento no ganho de resistência mecânica inicial, devido à reacção pozzolânica ser mais lenta, e a menor resistência contra a carbonatação, que pode conduzir a problemas de corrosão nas armaduras de aço [6].

Em países como Portugal, existe um compromisso em aumentar a produção de energia eléctrica através do recurso a fontes de energias renováveis em vez de fontes não renováveis, como por exemplo a combustão de carvão. Uma das fontes que tem tido um aumento na sua utilização é a biomassa, principalmente através da combustão de resíduos florestais. Para além disso, existem sectores, como por exemplo o sector da pasta do papel, que produz uma considerável quantidade de resíduos florestais cuja única forma de gestão é a combustão para a produção de calor e energia utilizados nas próprias indústrias. Apesar de esta estratégia ser uma boa forma de aumentar a produção de energia através de fontes renováveis, conduz a um novo problema, que está relacionado com o aumento da produção de cinzas resultantes da combustão da biomassa. Estas cinzas necessitam de uma gestão adequada que, em Portugal, e na atualidade, consiste unicamente na sua colocação em aterro [7].

As cinzas volantes de biomassa apresentam algumas semelhanças em termos de características quando comparadas com as cinzas volantes de carvão. Contudo, são mais alcalinas que aquelas, possuindo mais concentração em elementos químicos alcalinos, como por exemplo óxidos de cálcio, sódio e potássio [8,9]. Diversos estudos foram realizados com a utilização de cinzas volantes de biomassa usadas sozinhas ou misturadas com cinzas volantes de carvão, como material substituto do cimento, onde se verificaram bons resultados em termos de qualidade, durabilidade e sustentabilidade [10-14].

Os resultados obtidos nesses estudos permitem inferir que a utilização das cinzas volantes de biomassa pode ser uma solução para a mitigação de problemas relacionados com o betão, nomeadamente a questão da diminuição da alcalinidade em betões com elevado volume de adições, da sustentabilidade dos betões produzidos e uma melhor solução para a gestão final deste resíduo.

O presente estudo tem como principal objetivo verificar se o uso de cinzas volantes de biomassa seria capaz de mitigar os problemas relacionados com os betões com elevados teores de adições. Assim, foi estudado um conjunto de formulações em argamassas, com três níveis de substituição do cimento por CVB, tendo sido analisado o seu efeito nas propriedades frescas e endurecidas das argamassas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Na preparação das argamassas foram utilizadas duas cinzas como materiais de substituição do cimento: uma cinza volante de carvão proveniente de uma central termoelétrica e uma cinza volante de biomassa resultante da combustão de resíduos florestais, como casca de eucalipto e pinho, usados como combustível na produção de calor e energia para o sector da pasta do papel. A caracterização física e química destas cinzas encontra-se apresentada em [15].

Foram preparadas sete formulações (Quadro 1) com três níveis de substituição do cimento: 20, 40 e 60%*m*. Nessas formulações foi utilizado um cimento CEM I 42.5R proveniente da empresa Secil e uma areia rolada de 0/4 mm comercial como agregado. Todas as misturas foram preparadas com 1 parte em massa de ligante. 2,5 partes em massa de agregado. 0,5 de razão água/ligante.

Quadro 1. Formulações de argamassas estudadas

Formulação	[%] de substituição	Cimento	CVB	CVC [kg/m ³]	Areia	A/L
100C	0	300	0	0	750	0,5
20CVC	20	240	60	0	750	0,5
20CVB	20	240	0	60	750	0,5
40CVC	40	180	120	0	750	0,5
40CVB	40	180	0	120	750	0,5
60CVC	60	120	180	0	750	0,5
60CVB	60	120	0	180	750	0,5

2.1 Propriedades Frescas e Endurecidas das Argamassas

2.1.1 Trabalhabilidade

A consistência das argamassas frescas foi determinada de acordo com o procedimento apresentado na norma EN 1015-3:1998 [16]. O espalhamento foi quantificado através da medição do diâmetro médio da amostra fresca. A amostra fresca foi introduzida num molde definido em duas camadas, entre cada camada foi realizada uma compactação de 15 batidas, para assegurar um enchimento uniforme do molde. Após o enchimento, o molde é levantado na vertical e o espalhamento da amostra é realizado no disco da mesa batendo a mesa de fluxo 15 vezes a uma frequência constante (1 batida por segundo), sendo medido o diâmetro logo de seguida (Fig. 1).



Figura 1. Teste de Espalhamento.

2.1.2 Porosidade Aberta

As amostras de argamassas para a determinação da porosidade aberta foram preparadas em moldes com dimensões de 40x40x160mm³. As amostras foram primeiramente testadas para a resistência à flexão, obtendo-se duas metades, aproximadamente com as mesmas dimensões. Após a flexão, uma das partes de cada amostra de argamassa foi usada no teste de absorção de água por capilaridade e a outra na realização deste teste. Todas as amostras foram secas a 60±5°C, até se atingir uma massa constante, de acordo com EN 1015-10 [17]. Após a secagem, as amostras foram imersas em água até não se observar nenhum aumento na massa aparente do provete entre duas medidas consecutivas. De seguida, as amostras foram pesadas dentro de água. O volume de cada amostra foi determinado de acordo com Eq. (1).

$$V_s = \frac{m_{s,sat} - m_{s,i}}{\rho_w} \quad (1)$$

Onde,

V_s é o volume do provete de argamassa, [m³];

$m_{s,sat}$ é a massa do provete saturado [kg];

$m_{s,i}$ é a massa aparente do provete saturado imerso em água [kg];

ρ_w é a densidade da água [kg/m³].

2.1.3 Resistências mecânicas

As amostras de argamassas usadas nos ensaios de resistência mecânicos foram preparadas em provetes de 40x40x160 mm³. Os moldes foram cobertos com filme plástico para evitar a perda de água e armazenados numa câmara húmida durante 24 horas. Após este período, realizou-se a desmoldagem e os provetes foram armazenados na câmara húmida (T=20°C e HR=60%) até ao dia do ensaio, de acordo com EN 1015-11:1999 [18]. A resistência à flexão foi determinada no equipamento de teste "LLOYDS Instruments Universal", com capacidade máxima de 50kN (Fig. 2). A determinação da resistência à flexão foi efetuada de acordo com Eq. (2).

$$R_f = 1.5 \frac{Fl}{bd^2} \quad (2)$$

Onde,

R_f é a resistência à flexão, [MPa];

F é a força máxima aplicada, [N];

l é a distância entre os eixos de suporte, [mm];

b é a largura do provete de prova, [mm];

d é o comprimento do provete de prova, [mm].

A resistência à compressão das argamassas foi avaliada nas duas partes dos provetes resultantes do teste de resistência à flexão (Fig. 2), tendo sido calculada como a máxima força suportada pelo provete dividida pela sua área transversal. Os valores das resistências mecânicas foram obtidos após 2, 7, 28, 56, 90 e 180 dias de cura e são uma média de três amostras para cada formulação de argamassa.



Figura 2. Teste para obtenção das resistências mecânicas das argamassas em estudo.

2.1.4 Absorção de água por capilaridade

A absorção de água por capilaridade foi realizada de acordo com EN 1015-18:2002 [19]. Para assegurar que a água apenas passava pelos capilares de uma face do provete a ensaiar, as amostras foram revestidas com silicone (Fig. 3 (a)), com a excepção da face oposta à exposta à água (Fig. 2(b)). O coeficiente de absorção por capilaridade (Fig. 2(c)) foi definido pela representação de uma linha recta entre os pontos (referentes a pesagens do provete) medidos entre os 10 e 90 minutos e calculado com base na Eq. (3).

$$C = 0.1(M1-M0) \quad (3)$$

Onde,

C é o coeficiente de absorção de água, $[\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0.5})]$;

M1 é a massa [g] do provete após 90 min;

M2 é a massa [g] do provete após 10 min.

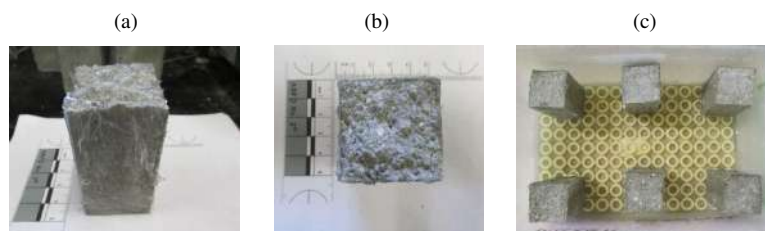


Figura 3. Teste de absorção de água por capilaridade: (a) amostra coberta com silicone, (b) face exposta à água; (c) apparatus.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Espalhamento

Os valores obtidos para o ensaio de espalhamento para cada mistura de argamassa são apresentados na Fig. 4. Observou-se que os valores do espalhamento das misturas com cinzas de carvão são similares aos observados para a mistura de referência (100C), para os três níveis de substituição do cimento. Contudo, é observado que, com o aumento do teor de cinzas volantes de biomassa, o diâmetro de espalhamento das argamassas diminui, verificando-se o menor valor para as argamassas com 60% de substituição do cimento. Isto é devido ao facto das cinzas volantes de biomassa serem um material higroscópico [7], ou seja, é necessário mais água para manter o mesmo nível de trabalhabilidade que a amostra de referência.

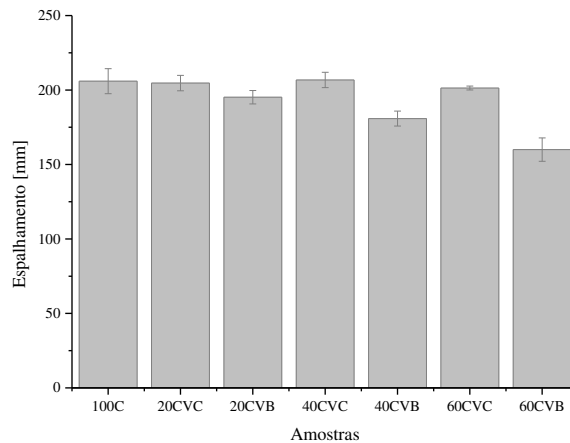


Figura 4. Valores obtidos no ensaio de espalhamento para cada mistura.

3.2 Absorção de água por imersão das argamassas endurecidas

Os valores obtidos para o volume de água absorvido pelas argamassas endurecidas no ensaio de absorção de água por imersão encontram-se apresentados na Fig. 5. Todas as argamassas com cinzas volantes (carvão e biomassa) exibem valores ligeiramente inferiores aos observados para a argamassa de referência. Estes resultados mostram um efeito positivo na porosidade das misturas com cinzas, uma vez que o menor volume de água absorvida indica uma menor porosidade do material. A menor porosidade pode estar relacionada com uma densificação da matriz ligante quando são utilizadas cinzas como material substituto do cimento.

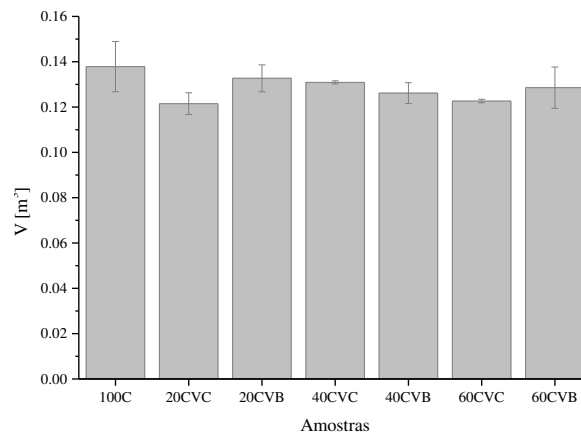


Figura 5. Valores obtidos para o volume no ensaio de absorção de água por imersão.

3.3 Resistências Mecânicas

Os valores obtidos para a resistência à flexão das argamassas em estudo encontram-se apresentados na Fig. 6. Como se pode verificar, de forma geral, os valores aumentam com o aumento do período de cura, sendo este resultando expectável, e relacionado com o endurecimento do material. Por outro lado, é observada uma diminuição da resistência das argamassas à flexão com o aumento da substituição do cimento pelas duas cinzas volantes e os valores obtidos para as argamassas com cinzas são inferiores aos obtidos para a argamassa de referência, com a excepção dos 90 dias para a argamassa com 20% de substituição do cimento por CVB.

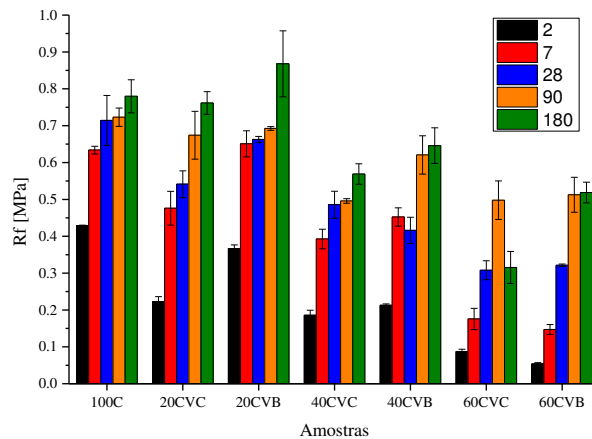


Figura 6. Valores obtidos para a resistência à flexão para cada formulação.

Os valores para a resistência à compressão encontram-se apresentados na Fig. 7. Assim como foi verificado na resistência à flexão, os valores das argamassas com as duas cinzas apresentam menores resistências à compressão do que a argamassa de referência, o que pode estar relacionado com o facto de as argamassas com cinzas volantes possuírem uma menor velocidade de reacção, que leva a um endurecimento mais lento [20].

Argamassas com 20% de substituição do cimento por CVC e por CVB apresentaram os maiores valores de resistência à compressão entre os três níveis de substituição do cimento. Uma importante observação é o facto de os valores de resistência à compressão de argamassas com cinzas volantes de biomassa serem ligeiramente superiores aos observados nas argamassas com a mesma percentagem de substituição do cimento por cinzas volantes de carvão.

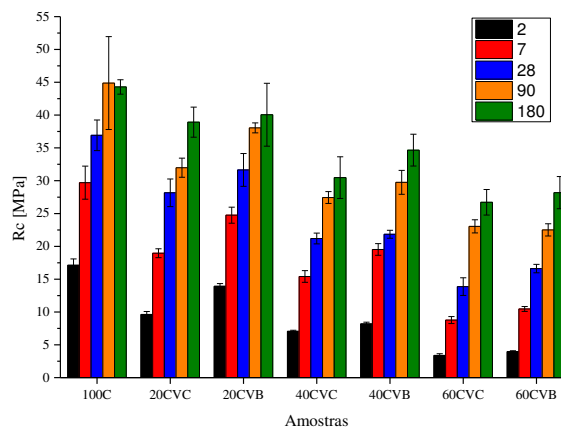


Figura 7. Valores obtidos para a resistência à compressão para cada formulação.

3.4 Absorção de água por capilaridade

O efeito da presença de cinzas volantes de biomassa no coeficiente de absorção de água por capilaridade, em argamassas com 28 dias de cura encontra-se apresentado na Fig. 8. Verificou-se que o coeficiente de absorção de água por capilaridade aumenta com o aumento de substituição do cimento por cinzas volantes de biomassa e de carvão.

É importante referir que, ao contrário das argamassas com cinzas volantes de carvão, as argamassas com cinzas volantes de biomassa apresentam um coeficiente inferior e similar ao da argamassa de referência para 20% e 40% de substituição do cimento, respectivamente. Contudo, em todas as percentagens de substituição, as argamassas com cinzas volantes de biomassa apresentam valores inferiores aos das argamassas com cinzas volantes de carvão. Este resultado revela um efeito positivo

das cinzas volantes de biomassa, que é possivelmente devido a um efeito maior de enchimento, que conduz a argamassas menos porosas, quando se usam cinzas volantes de biomassa. Verificou-se anteriormente que o uso de cinzas volantes de biomassa em materiais de construção contribui para uma boa compactidade da mistura [21].

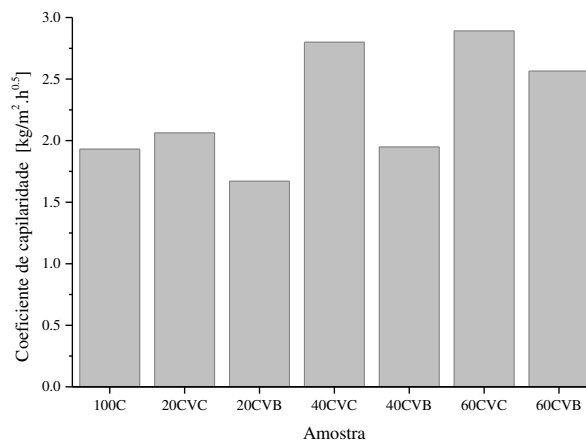


Figura 8. Valores obtidos para o coeficiente de absorção de água por capilaridade para cada formulação.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo a análise do efeito do uso de cinzas volantes de biomassa como material de substituição do cimento, com o intuito de encontrar soluções para a mitigação dos problemas de betões com elevado teor de adições.

A utilização de cinzas volantes de biomassa condiciona a trabalhabilidade das misturas pois, como estas cinzas são um material higroscópico, absorvem alguma da água necessária para a trabalhabilidade da mistura. Observou-se, também, uma diminuição das resistências mecânicas em comparação com argamassa produzida utilizando apenas cimento como ligante. No entanto, verificou-se que os valores obtidos para estas argamassas são superiores aos observados para as argamassas com cinzas volantes de carvão, que é o material pozzolânico mais utilizado em todo o mundo.

A conclusão retirada para os valores de resistência, foi também observada na análise dos coeficientes de absorção de água por capilaridade: verificou-se que este coeficiente aumenta com o aumento da percentagem de substituição do cimento. No entanto, este aumento é menos evidente nas argamassas produzidas com CVB do que nas argamassas contendo CVC. De facto, as argamassas com 20 e 40% m de CVB apresentaram valores de coeficiente de absorção de água por capilaridade inferiores ou similares aos da argamassa só com cimento. Em todas as percentagens de substituição, apresentaram valores inferiores aos obtidos nas argamassas com cinzas volantes de carvão.

Os resultados mostraram que a utilização de cinzas volantes de biomassa conduz a diversos efeitos positivos quando usadas em substituição do cimento em materiais de matriz cimentícia. Os resultados indicam que possivelmente serão de esperar também efeitos positivos na mitigação dos problemas dos betões com adições. Para além disso, tratando-se de um resíduo sólido industrial, são geridas com a sua disposição em aterro e a sua incorporação em betões é uma opção mais sustentável para a gestão final das cinzas volantes.

AGRADECIMENTOS

Os autores querem agradecer à FCT (Fundação para a Ciência e Tecnologia – Portugal) e ao programa doutoral Eco-Construction and Rehabilitation por ajudarem no suporte financeiro através da bolsa com a referência PD/BD/52661/2014. Este trabalho foi também financiado pelo FEDER, através de fundos do programa “Competitivity Factors Operational Programme” - COMPETE e por fundos nacionais através do projecto POCI-01-0145-FEDER-007633 e pelo programa operacional regional CENTRO2020 no âmbito do projecto CENTRO-01-0145-FEDER-000006.

REFERÊNCIAS

- [1] Meyer, C. (2009). The greening of the concrete industry. *Cement and Concrete Composites*, Vol. 31, pp. 601–605.
- [2] P.-C. Aïtcin, *Binders for durable and sustainable concrete*, Taylor & F., vol. 16. London and New York: Taylor & Francis, 2008.
- [3] Metha, P.K. (2004). High-performance, high-volume fly ash concrete for sustainable development. *International Workshop on Sustainable Development and Concrete Technology*, pp.3-14
- [4] Camões, A. (2005). Betões de elevado desempenho com elevado volume de cinzas volantes. *Restoration. Ecology*, Vol. 23, pp. 55–64.
- [5] Demis, S. Tapali, J.G., Papadakis V.G. (2014). An investigation of the effectiveness of the utilization of biomass ashes as pozzolanic materials. *Construction and Building Materials*, Vol. 68, pp. 291–300.
- [6] Rashad, A.M. (2015). An exploratory study on high-volume fly ash concrete incorporating silica fume subjected to thermal loads. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 87, pp. 735–744.
- [7] Barbosa, R., Lapa, N., Dias, D Mendes, B. (2013). Concretes containing biomass ashes: Mechanical, chemical, and ecotoxic performances. *Construction and Building Materials*, Vol. 48, pp. 457–463.
- [8] Dahl, O. Nurmesniemi, H. Pöykiö, R., Watkins, G. (2009). Comparison of the characteristics of bottom ash and fly ash from a medium-size (32 MW) municipal district heating plant incinerating forest residues and peat in a fluidized-bed boiler. *Fuel Processing Technology*, Vol. 90, pp. 871–878.
- [9] Demeyer, A. Voundi Nkana, J.C., Verloo, M.G. (2001). Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: An overview. *Bioresource Technology*, Vol. 77, pp. 287–295.
- [10] Rajamma, R., Senff, L Ribeiro, M.J. Labrincha, J.A. Ball, R.J., Allen, G.C., Ferreira V.M. (2015). Biomass fly ash effect on fresh and hardened state properties of cement based materials. *Composites Part B*, Vol. 77, pp. 1–9.
- [11] Rajamma, R.(2011). Biomass fly ash incorporation in cement based materials. Department of Civil Engineering of the University of Aveiro. Tese de Doutoramento.
- [12] Wang, S. Miller, A. Llamazos, E. Fonseca, F. Baxter, L. (2008). Biomass fly ash in concrete: Mixture proportioning and mechanical properties. *Fuel*, Vol. 87, pp.365-371.
- [13] Ban, C.C. Ramli, M. (2011). The implementation of wood waste ash as a partial cement replacement material in the production of structural grade concrete and mortar : An overview. *Resources, Conservation & Recycling*, Vol. 55, pp. 669–685.

- [14] Teixeira, E.R., Mateus, R. Camões, A.F., Bragança, L., Branco, F.G. (2016). Comparative environmental life-cycle analysis of concretes using biomass and coal fly ashes as partial cement replacement material. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 112, pp. 2221–2230.
- [15] Teixeira, E.R., Camões, A., Branco, F.G., Tarelho, L. (2016). Biomass and coal fly ash as cement replacement on mortar properties. *Proc. of ICCS16 - II International Conference on Concrete Sustainable*, pp. 1–12.
- [16] EN 1015-3. 1998, European Standard, Methods of test for mortar for masonry - Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table), Brussels: CEN.
- [17] EN 1015-10. 1999, European Standard, Methods of test for mortar for masonry - Part 10: Determination of dry bulk density of hardened mortar, Brussels: CEN.
- [18] EN 1015-11. 1999, European Standard, Methods of test for mortar for masonry - Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar, Brussels: CEN.
- [19] EN 1015-18. 2002, European Standard, Methods of test for mortar for masonry — Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar, Brussels: CEN.
- [20] Tkaczewska, E., Małolepszy, J. (2009) .Hydration of coal-biomass fly ash cement. *Construction and Building Materials*, Vol. 23, pp. 2694–2700.
- [21] Cuenca, J., Rodríguez, J., Martín-Morales, M., Sánchez-Roldán, Z., Zamorano, M. (2013). Effects of olive residue biomass fly ash as filler in self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, Vol. 40, pp. 702–709.



Grupo
Português
de Betão
Estrutural



TÉCNICO
LISBOA

ENCONTRO NACIONAL BETÃO ESTRUTURAL 2018

7 A 9 NOVEMBRO DE 2018 – LNEC – LISBOA

ATAS

ENCONTRO NACIONAL

BETÃO

ESTRUTURAL

2018

7 A 9 NOVEMBRO DE 2018 – LNEC – LISBOA

ATAS

Editor: **GPBE**

Aviso Legal

A qualidade científica e os conteúdos das comunicações são da inteira responsabilidade dos respetivos autores. O editor não aceita qualquer responsabilidade pela informação contida nas comunicações inseridas na presente publicação.

Nos termos legais em vigor é expressamente proibida a reprodução total ou parcial desta publicação, no seu todo ou em parte, não podendo ser reproduzida ou transmitida por qualquer forma ou processo eletrónico, mecânico ou outros, incluindo cópia, sem autorização expressa do editor.

Copyright © 2018 Grupo Português de Betão Estrutural
AV DO BRASIL 101 • 1700-066 LISBOA
email: gpbe@lnec.pt
www.gpbe.pt/

Editor: GPBE

Edição: 2018

Publicação disponível em: <https://be2018.pt/papers/>

Descritores: Estrutura de betão / Análise estrutural / Durabilidade de estruturas / Produtos de construção / Processos de construção / Reabilitação de estruturas / Material de construção / Normalização / Impacte ambiental / Congresso

Descriptors: Concrete structure / Structural analysis / Durability of structures / Construction product / Construction process / Rehabilitation of structures / Construction material / Standardization / Environmental impact / Congress

CDU: 624.07[012.4](063)(469)

ISBN: 978-989-20-9043-6

COMISSÃO ORGANIZADORA

Eduardo Júlio (Presidente)

Ana Sofia Louro

António Costa

António Pinho Ramos

Eduardo Cavaco

Hugo Costa

Inês Flores Colen

João Ramôa Correia

Jónatas Valença

Jorge Alfaiate

José Alexandre Bogas

Luís Oliveira Santos

Paulo Fernandes

Ricardo do Carmo

Sandra Neves

Cristina Ventura

COMISSÃO CIENTÍFICA

Manuel Pipa (Presidente)

Albert de la Fuente

Alexandre Portugal

Ana Sofia Louro

Ângela Nunes

António Abel Henriques

António Bettencourt Ribeiro

António Costa

António Lopes Batista

António Pinho Ramos

António Reis

António Santos Silva

Arlindo Gonçalves

Armando Rito

Augusto Gomes

Carlos Chastre Rodrigues

Carlos Félix

Carlos Martins

Carlos Pina

Carmen Andrade

David Fernández-Ordoñez

Eduardo Cansado Carvalho

Eduardo Cavaco

Eva Oller Ibars

Fernando Branco

Fernando G. Branco

Fernando Stucchi

Hugo Corres

Hugo Costa

Humberto Varum

Jaime Galvez Ruiz

Joan Ramon Casas

João Almeida

João Pires da Fonseca

João Ramôa Correia

João Veludo

Joaquim Barros

Joaquim Figueiras

Jónatas Valença

Jorge Alfaiate

Jorge de Brito

José Alexandre Bogas

José Camara

José Campos e Matos

José Luiz Antunes

José Manuel Catarino

Jose Romo Martin

José Sena Cruz

Júlio Appleton

Lluís Torres

Luciano Jacinto

Luís Bernardo

Luís Câncio Martins

Luís Machado

Luís Oliveira Santos

M. Helena Barros

Mário Pimentel

Miguel Azenha

Miguel Lourenço

Nelson Vila Pouca

Paulo Cachim

Paulo Fernandes

Paulo Helene

Paulo Lobo

Paulo Maranhã

Paulo Silveira

Pedro Cabral

Pedro Santos

Regina Souza

Ricardo do Carmo

Rui Faria

Rui Rodrigues

S. Pompeu Santos

Sandra Nunes

Sérgio Lopes

Túlio Bittencourt

Válter Lúcio

Vanderley John

PATROCÍNIOS

Tipo A



Tipo B



Tipo C/D



Tipo E



APOIOS INSTITUCIONAIS



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL



ORDEM
DOS
ENGENHEIROS



ORDEM DOS
ENGENHEIROS
TÉCNICOS

Media Partner



PREFÁCIO

O Encontro Nacional Betão Estrutural 2018 (BE 2018) foi organizado conjuntamente pelo GPBE - Grupo Português de Betão Estrutural e o Instituto Superior Técnico e decorreu de 7 a 9 de Novembro de 2018, no Laboratório Nacional de Engenharia Civil, cumprindo assim mais um ciclo bienal, iniciado em 1986, com o primeiro Encontro Nacional de Estruturas Pré-Esforçadas, organizado pelo GPPE - Grupo Português de Pré-Esforçado.

Embora tratando-se de um encontro nacional, procurou-se estabelecer pontes entre a comunidade técnica e científica nacional e as suas congéneres de língua oficial portuguesa e espanhola, tendo incluído delegações brasileira, espanhola, angolana e moçambicana, num total de 261 participantes.

O BE 2018 foi concebido em estreito alinhamento com a missão do GPBE, grupo nacional da *fib* - *fédération internationale du béton*, de se constituir como um fórum privilegiado de divulgação e discussão das realizações mais recentes e inovadoras na área do betão estrutural, contando com três comunicações a convite sobre: o *fib* Model Code 2020, pelo Dr Stuart Matthews, *convenor* do *fib* TG 10.1; a descarbonização do sector do betão e o Laboratório Colaborativo em Tecnologias Sustentáveis do Cimento, pelos Prof. João Bordado e Prof. Rogério Colaço; e os grandes investimentos públicos no sector da construção civil no pós-2020, pelo Eng.º António Laranjo. Promoveu-se ainda o debate de ideias sobre alguns dos assuntos que presentemente mais interessam a Portugal, fomentando a interação com o público, através da realização de três Mesas Redondas sobre: as obras portuárias, moderada pelo Eng.º Fernando Oliveira; a reabilitação urbana, moderada pelo Prof. Júlio Appleton; e a ferrovia, moderada pelo Prof. Manuel Queiró. Para além destas sessões plenárias, tiveram lugar trinta sessões paralelas, desenrolando-se sempre quatro em simultâneo, sobre os quatro grandes temas do Encontro, A - Análise Estrutural, B - Materiais, C - Produtos e Processos e D – Realizações, e uma sessão especial com os candidatos seriados nos cinco primeiros lugares do Prémio Jovens Mestres.

O BE 2018 incluiu ainda a cerimónia de entrega da Medalha de Mérito do GPBE e a cerimónia de entrega do Prémio Jovens Mestres e das quatro menções honrosas e contou com o espaço da Exposição Técnica onde 15 das 27 empresas patrocinadoras do Encontro divulgaram os seus produtos e serviços. De referir ainda o apoio institucional da *fib*, do LNEC, da OE e da OET, essencial ao sucesso desta iniciativa, assim como o apoio da revista Construção Magazine, cujo N.º 87 foi inteiramente dedicado ao BE 2018, e ainda o apoio da Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas que, de igual modo, irá dedicar o próximo número ao BE 2018, num total de 18 artigos, selecionados de entre os mais relevantes dos apresentados no Encontro.

Passados os três dias do Encontro, que permitiu juntar académicos e investigadores, projetistas, construtores e outros técnicos em torno do tema do Betão Estrutural, promovendo a partilha de conhecimento, aprofundando contactos existentes e estabelecendo novas sinergias, permanecem para memória e consulta futura as presentes Atas do Encontro, as quais incluem

os artigos resultantes das 179 comunicações aceites para apresentação oral, após revisão atenta por parte dos membros da Comissão Científica.

Eduardo Júlio

Presidente da Comissão Organizadora

Manuel Pipa

Presidente da Comissão Científica

TEMAS

O Encontro BE 2018 foi organizado em torno de quatro temas gerais, englobando aspetos comuns às diferentes áreas de interesse nos domínios de atividade do GPBE:

TEMA 1 – ANÁLISE ESTRUTURAL E NORMALIZAÇÃO

- modelos simplificados de análise estrutural
- modelação numérica avançada
- caracterização experimental
- robustez estrutural
- resiliência estrutural
- comportamento aerodinâmico
- comportamento sísmico
- comportamento ao fogo
- normalização e regulamentação

TEMA 2 – MATERIAIS. DESEMPENHO, DURABILIDADE E IMPACTE AMBIENTAL

- novos cimentos, adições e adjuvantes
- caldas e argamassas
- betões de (ultra-)elevado desempenho
- betões reforçados com fibras
- betões eco-eficientes
- armaduras em aço de elevado desempenho
- armaduras em materiais compósitos

TEMA 3 – PRODUTOS E PROCESSOS. CONSTRUÇÃO E REABILITAÇÃO

- novos produtos pré-fabricados
- novos processos construtivos
- monitorização da integridade estrutural
- métodos de inspeção in situ
- sistemas de gestão de ativos
- análise do ciclo-de-vida
- proteção de estruturas de betão
- reparação de estruturas de betão
- reforço de estruturas de betão

TEMA 4 – REALIZAÇÕES. CONSTRUÇÃO E REABILITAÇÃO

- barragens
- cascas
- edifícios
- fundações
- obras ferroviárias
- obras portuárias
- pontes e viadutos
- reservatórios e silos
- túneis

INDICE

SESSÃO PLENÁRIA 1

fib Model Code 2020 and Existing concrete structures – Assessment, through-life care & interventions	2
<i>Stuart Matthews</i>	

SESSÃO 1A – Realizações. Construção e reabilitação

Os projetos das barragens do Baixo Sabor e do Feiticeiro	19
<i>Domingos Silva Matos, Graça Maria Moura, José Carlos Paixão e Gilberto Silva Monteiro</i>	
A monitorização estrutural das barragens do Baixo Sabor e do Feiticeiro	29
<i>João Gomes Cunha, José Piteira Gomes, Graça Maria Moura e António Batista</i>	
A construção das barragens do Baixo Sabor e do Feiticeiro	39
<i>Júlio Gonçalves, Armando Camelo, Alexandre Gomes e Ricardo Pimentel</i>	
Estudos de apoio ao projeto da barragem do Baixo Sabor realizados pelo LNEC na vertente estrutural	49
<i>José Vieira de Lemos, Romano Câmara, Sérgio Oliveira e José Muralha</i>	
Aproveitamento Hidroelétrico do Baixo Sabor – Central e circuitos hidráulicos do Baixo Sabor	59
<i>Manuel Moraes Sarmento, Artur Andrade e Celso Lima</i>	
Aproveitamento Hidroelétrico do Baixo Sabor – Central do Feiticeiro	71
<i>Maria Eugénia Resende, Rui Almeida e Artur Andrade</i>	

SESSÃO 1B – Análise Estrutural e Normalização

Dimensionamento otimizado de vigas em concreto armado com diferentes condições de apoio	83
<i>Charles Jaster de Oliveira, Isabele Antonelli e Monique C. de Azevedo Rodrigues</i>	
Dimensionamento estrutural de edificação com diferentes tipos de betão leve	94
<i>Ivan Santos Dortas, Yuri Sotero Bomfim Fraga, Luiz Henrique Pereira Santos, Lucas de Paula Vasques e César Douglas Bezerra Dos Santos</i>	
Estudo da Influência das paredes de alvenaria de enchimento no comportamento sísmico de um edifício de 15 pisos no Nepal	103
<i>André Furtado, Hugo Rodrigues, Nelson VilaPouca, Humberto Varum e António Arêde</i>	
Efeito do confinamento e da redistribuição de momentos no comportamento de lajes fungiformes	113
<i>Ricardo Faria, Rui Marreiros, António Ramos e Gonçalo Antunes</i>	
Modelagem do comportamento estrutural de vigas de concreto armado pelo método dos elementos finitos	123
<i>Gabriela B. M. L. Albuquerque, João Paulo C. Rodrigues e Valdir Pignatta Silva</i>	
Extensão do GSVATM para vigas de betão armado sujeitas à torção combinada com esforço axial	133
<i>Cátia Taborda, Jorge Andrade e Luís Bernardo</i>	

SESSÃO 1C – Análise Estrutural e Normalização

Avaliação de resultados de ensaios cíclicos alternados sobre varões de aço para betão armado....	144
<i>António M. Baptista e João Filipe</i>	

Extensão total na força máxima de varões de aço para betão armado. Análise da sua distribuição estatística nas duas últimas décadas	154
<i>António M. Baptista e João Filipe</i>	
Deslocamentos transversais em serviço de pilar de concreto armado submetido a carregamento de curta duração com pequena excentricidade	164
<i>Sebastião Pereira, Milton Dias, Élvio Piancastelli, Thiago Bortone e Elves Farias</i>	
Método experimental para o estudo do efeito combinado de cargas aplicadas e retração impedida em lajes de betão armado	172
<i>José Gomes, Miguel Azenha, José Granja, Rui Faria, Carlos Sousa, B. Zahabizadeh, A. Edalat-Behbahani, Dirk Schlicke e Carlos Rodrigues</i>	
Ductilidade de vigas de BA: Influência do tipo de armadura.....	182
<i>Sérgio Lopes e A. V. Lopes</i>	
Resistência ao Punçãoamento de Bordos de Lajes de Betão Armado	197
<i>A.V. Lopes e Sérgio Lopes</i>	

SESSÃO 1D – Materiais. Desempenho, durabilidade e impacto ambiental

Análise das vantagens do uso de concretos com maiores resistências no dimensionamento de edifícios	211
<i>G. M. Fregonezi, W. W. Wutzow e R. D. Vanderlei</i>	
Proteção de edifícios contra explosões através do reforço dos elementos estruturais com novas camadas de betões especiais	221
<i>David Nabais, Luís Cardoso, Gabriel Gomes e Eduardo Júlio</i>	
Durabilidade de betões reforçados com nanotubos de carbono de parede múltipla	231
<i>Ana Carriço, José A. Bogas, Hawreen Ahmed e Mafalda Guedes</i>	
Durabilidade de um material cimentício de ultraelevado desempenho reforçado com fibras metálicas	241
<i>Ana Mafalda Matos, Sandra Nunes, Carla Costa e José Aguiar</i>	
Modelação da anisotropia do comportamento à tração do UHPFRC	251
<i>Mário Pimentel, Aurélio Sine, Amin Abrishambaf e Sandra Nunes</i>	
Comportamento à flexão de elementos híbridos RC-UHPFRC no contexto da reabilitação e reforço de estruturas	261
<i>Aurélio Sine, Mário Pimentel, Sandra Nunes e Amin Abrishambaf</i>	

SESSÃO 2A – Realizações. Construção e reabilitação

Seismic hazard for dams in southern Spain – Application to dams with height larger than 60m and capacity of reservoir larger than 13.5km ³	272
<i>Enrico Zacchei</i>	
Alteamento e reabilitação estrutural da barragem de Bou Heurtma	280
<i>Paulo Soares, Rui Rodrigues, Cristina Costa e José Cruz Morais</i>	
Reabilitação estrutural da barragem de Laroussia	290
<i>Paulo Soares, Rui Rodrigues, Cristina Costa e José Cruz Morais</i>	
Projeto e Construção da Barragem de Laúca	300
<i>Sérgio Kraemer, Nuno Nunes, Cristina Costa, Acácio Santo, Elias Estêvão e Marcus Azeredo</i>	
Análise e interpretação do comportamento observado da Barragem do Baixo Sabor durante o primeiro enchimento da albufeira	311
<i>José Piteira Gomes, António Lopes Batista e João Conde Silva</i>	

SESSÃO 2B – Análise Estrutural e Normalização

Análise Comparativa de Regulamentação Internacional em Ações de Tráfego Rodoviário	322
<i>João Marrana, Nelson Vila Pouca e José Lello</i>	
Comparação das tolerâncias da Regulamentação Europeia (EC2 e Norma NP EN 13670) com as do REBAP	333
<i>Catarina Fernandes, João Vinagre e Cristina Pereira</i>	
Calibração de coeficientes parciais de segurança	342
<i>Luciano Jacinto, Luís O. Oliveira Santos e Luís C. Neves</i>	
Comportamento das lajes fungiformes de edifícios com ou sem inclusão do pré-esforço de acordo com a norma Europeia 1992 versus MC2010	350
<i>Adão António Domingos, Resende Nsambu e José Câmara</i>	
Design of fastenings for use in concrete in accordance with EC2, Part 4 (EN 1992-4)	361
<i>Yujie Li, Joana Oliveira e François Regnier</i>	
Execução de estruturas de betão – Será a EN 13670 suficiente?	370
<i>Arlindo Gonçalves e Manuel Vieira</i>	

SESSÃO 2C – Análise Estrutural e Normalização

Avaliação da aderência entre o aço e o concreto a partir da contaminação superficial das barras com agente desmoldante	379
<i>Vinissius Wendt e Jeferson Patzlaff</i>	
Influência da temperatura na aderência entre betão e laminados de fibras de carbono instalados em rasgos pela técnica NSM	389
<i>Adriana S. Azevedo, Miguel S. Oliveira, João P. Firmo e João R. Correia</i>	
Influência da temperatura elevada na aderência entre betão e varões em compósito GFRP nervurados – ensaios de arrancamento	399
<i>Inês C. Rosa, Pietro Mazzuca, João P. Firmo e João R. Correia</i>	
Influence of elevated temperatures on epoxy adhesive used in CFRP strengthening systems	409
<i>Maria G. Roquette, João P. Firmo, João R. Correia and Adriana S. Azevedo</i>	
Efeito da temperatura elevada na aderência entre betão e varões de GFRP com acabamento superficial em areia – Ensaios de arrancamento e determinação de leis tensão de aderência deslizamento	419
<i>Inês C. Rosa, João P. Firmo, João R. Correia e Joaquim A. O. Barros</i>	
Lajes de betão armadas com varões de GFRP com acabamento a areia: estudo experimental e simulação numérica	429
<i>Wallace M. Souza, Inês C. Rosa, João P. Firmo, João R. Correia, Pedro Santos e João Almeida</i>	

SESSÃO 2D – Materiais. Desempenho, durabilidade e impacto ambiental

Microstructural analysis of cement paste: experimental and numerical investigation	440
<i>Hadi Mazaheripour, Amin Abrishambaf, Rui Faria, Miguel Azenha e Guang Ye</i>	
Caracterização mecânica de argamassas produzidas com cimento reciclado de baixo carbono termicamente reativado	450
<i>Alexandre Bogas, Ana Carriço e Manuel Pereira</i>	
Valorização de resíduos de biomassa e da extração de pedra natural no fabrico de betão autocompactável	460
<i>Gemma Rojo-López, Sandra Nunes, Fernando Martínez-Abella e Belén González-Fontboa</i>	
Cimentos de baixa emissão de CO ₂ com incorporação de misturas de resíduo caulínico e calcário	470
<i>Euler Arruda, Jefferson Lima e Márcio Barata</i>	

Quantificação das fases vítrea e cristalina das cinzas volantes por dissolução seletiva com ácido fluorídrico	481
<i>R. Cunha Reis, Manuel J. P. Ribeiro, João C.C. Abrantes e Aires Camões</i>	

Avaliação do comportamento mecânico de um novo ligante hidráulico amorfo de rácio Ca/Si = 1.1.....	491
<i>Mariana Pinha, Hugo Costa, Rodrigo Santos, João Pereira, Ricardo B. Horta, Rogério Colaço e Eduardo Júlio</i>	

SESSÃO 3A – Produtos e Processos. Construção e reabilitação

Utilização da plataforma Arduino para monitoramento de deformações e deslocamentos em viga de concreto armado	502
<i>Joao Batista Lamari Palma E Silva, Ana Elisabete Jacintho, Nadia Cazarim Forti e Lia Lorena Pimentel</i>	

Controle tecnológico do concreto e suas repercussões na avaliação da confiabilidade de pilares de concreto armado	512
<i>Fábio Magalhães, Mauro Real e Luiz Carlos Silva Filho</i>	

Monitorização da integridade estrutural: técnicas de detecção de dano aplicadas a um modelo laboratorial	522
<i>Lucas Corrêa C. de Lima, Carlos Rodrigues e Carlos Félix</i>	

Métodos de identificação modal no domínio do tempo Testes numéricos e aplicação à Barragem do Cabril	532
<i>Matilde Freitas, Ana Prior e Sérgio Oliveira</i>	

Monitorização dos efeitos estruturais das reações expansivas do betão nas pontes do Criz II e de São João das Areias	542
<i>Luís Oliveira Santos, Min Xu e Luis Freire</i>	

Sensores de betão com adição de negro de fumo	550
<i>Emanuel Pereira e Paulo Cachim</i>	

SESSÃO 3B – Materiais. Desempenho, durabilidade e impacto ambiental

Estimativa semi-probabilística da vida útil de betões estruturais de agregados leves sujeitos a corrosão induzida por carbonatação	559
<i>Sofia Real e José Alexandre Bogas</i>	

Análise da microdureza de matrizes cimentícias com materiais pozolânicos	569
<i>Carla Mabel Medeiros de Albuquerque E Silva, Yuri Sotero Bomfim Fraga, Ivan Santos Dortas, Luiz Henrique Pereira Santos e César Douglas Bezerra Dos Santos</i>	

Efeito da carbonatação na difusão de cloretos através de misturas cimentícias com cinzas volantes	579
<i>Raphaelle Malheiro, João Pinto, Aires Camões e Gibson Meira</i>	

Caracterização e incorporação de cinzas volantes de biomassa em argamassas	588
<i>Elisabete Teixeira, Aires Camões e Fernando Branco</i>	

Influência da adição de pozolanas naturais e de cinzas de combustão no desempenho de betões eco-eficientes com baixo teor de cimento	598
<i>Keila Robalo, Hugo Costa, Ricardo do Carmo e Eduardo Júlio</i>	

Desenvolvimento de Método para Ensaio de Difusão com Variação do Grau de Saturação em Concretos Revestidos com Argamassa	608
<i>Franklin Luiz Fonseca, Jorge Luiz Saes Bandeira, André Tavares da Cunha Guimarães, Margarete Regina Freitas Gonçalves</i>	

SESSÃO 3C – Análise Estrutural e Normalização

Relação entre a resistência à tração e a tensão de cedência dos aços de varões para armaduras de betão armado. Análise da sua distribuição estatística nas duas últimas décadas	619
<i>António M. Baptista e João Filipe</i>	
Fios de aço para pré-esforço. Controlo da sua ductilidade através de ensaios de dobragem alternada no âmbito de ações de certificação	629
<i>António M. Baptista e João Filipe</i>	
Método alternativo para avaliação da aderência de varões nervurados de acordo com as Especificações LNEC	639
<i>Ana S. Louro, Manuel Pipa e António M. Baptista</i>	
Compósitos cimentícios armados com fios de carbono – Avaliação experimental da armadura mínima de tração	650
<i>Diogo Felícissimo e Rui Neves</i>	
Influência da resistência do betão e da rigidez e rugosidade dos agregados nas resistências à compressão e à tração da ITZ agregados/matriz ligante	660
<i>Tiago Simões, Hugo Costa e Eduardo Júlio</i>	
Determinação de coeficientes de rugosidade de interfaces betão-betão através de ensaios de corte inclinado de ângulo variável	670
<i>José Maria Raposo, Luís Costa Neves e Eduardo Júlio</i>	

SESSÃO 3D – Análise Estrutural e Normalização

Metodologia para a previsão da resistência do betão de barragens usando modelos analíticos	681
<i>Carlos Serra, António Lopes Batista, Nuno Monteiro Azevedo e João Custódio</i>	
Modelação da fendilhação por origem térmica de uma barragem de betão em arco	691
<i>Nuno Monteiro Azevedo, Eloísa Castilho, Noemi Schclar Leitão, Maria Luísa Braga Farinha e Romano Câmara</i>	
Modelos de elementos discretos na determinação da forma de cascas	701
<i>Vítor Dias Da Silva e Tatiana Sá Marques</i>	
Desenvolvimento de uma metodologia para a simulação do efeito das serpentinas de refrigeração: Aplicação a uma barragem abóbada durante a construção	711
<i>José Conceição, Rui Faria, Miguel Azenha e Manuel Miranda</i>	
Modelos de contacto com enfraquecimento na análise de estabilidade de barragens gravidade	721
<i>Patrícia Lopes Reis, Nuno Monteiro Azevedo, Maria Luísa Braga Farinha e João Rocha de Almeida</i>	

SESSÃO 4A – Realizações. Construção e reabilitação

Pavilhão João Rocha em Lisboa – Estrutura de betão armado	732
<i>Nuno Travassos, Rui Pombo, Hugo Rodrigues e João Appleton</i>	
Inelastic static analysis to estimate the displacement performance for pile-supported wharves	742
<i>Enrico Zacchei, Pedro Lyra e Fernando Stucchi</i>	
Análise multicritério para apoio à decisão em intervenções de obras marítimo-portuárias: Estudo de quebra-mares de talude de blocos de betão e enrocamento	751
<i>Rodrigo Giollo, Maria João Falcão, Rute Lemos e Paula Couto</i>	
Terminal de contentores - Muro cais e tratamento terrenos	761
<i>Rui Tomásio, Alexandre Pinto e António Cristóvão</i>	
Edifício Batista Russo em Lisboa. Reabilitação e Reforço Estrutural	771
<i>José Delgado, Rui Barreiros e Jorge Francisco</i>	
A cúpula de betão e a conclusão das obras de Santa Engrácia	783
<i>Adriana Monteiro, António Sousa Gago e Eduardo Júlio</i>	

SESSÃO 4B – Materiais. Desempenho, durabilidade e impacto ambiental

Análise da implementação da metodologia BIM no projecto de estruturas	794
<i>Alcinia Zita Sampaio, João Nuno Novais e João Diniz Oliveira</i>	
Estado de Arte sobre a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) das Estruturas de Concreto Armado	803
<i>Ricardo Bento e João Adriano Rossignolo</i>	
Análise do consumo de betão e aço em blocos de fundação	813
<i>Ana Carolina Reis Lozovey e Fernanda João</i>	
Comportamento bifásico de betões estruturais de agregados leves sujeitos a carbonatação	823
<i>Sofia Real e José Alexandre Bogas</i>	
Definição de um Sistema de Gestão de Ativos aplicado a Instituições Públicas de Investigação	834
<i>Catarina Simões, Maria João Silva e Paula Couto</i>	
Carbonation and Environmental Impact of Concrete	844
<i>Isabel Martins e Arlindo Gonçalves</i>	

SESSÃO 4C – Análise Estrutural e Normalização

Análise numérica e experimental de blocos de fundação com cálice embutido	853
<i>Rodrigo Barros, Fabiana Stripari Munhoz, José Samuel Giongo e Daniel Nelson Maciel</i>	
Avaliação de tipologias de modelos de escoras e tirantes através de análise de fiabilidade	863
<i>J.C. Pantoja, H. Varum e A.B. Henriques</i>	
Influência da distribuição transversal de armaduras longitudinais junto ao pilar na resistência ao punçoamento	873
<i>Ricardo Faria, Catarina Jesus, Rui Marreiros e António Ramos</i>	
Análise da estabilidade da via balastrada num viaduto com tabuleiro misto aço-betão para tráfego de comboios de alta velocidade	883
<i>Artur Silva, Gonçalo Ferreira e Rui Calçada</i>	
Confiabilidade em Estruturas de Concreto Armado: Estudo Comparativo entre Análises no Estado Limite Último e por Segurança Global	893
<i>Claudia Interlandi, Luiz Fernando Martha e Sergio Hampshire C. Santos</i>	
Avaliação do desempenho de pontes rodoviárias segundo indicadores de robustez e risco face a erros de projeto e construção	903
<i>Neryvaldo Galvão, José C. Matos e Daniel V. Oliveira</i>	

SESSÃO 4D – Realizações. Construção e reabilitação

Análise térmica de barragens de betão em fase de exploração – aplicação à barragem do Alto Rabagão	914
<i>Eloísa Castilho, Nuno Monteiro Azevedo, Noemi Schclar Leitão, Luísa Braga Farinha e Romano Câmara</i>	
Análise do Comportamento de Barragens de Betão tendo em conta o Efeito das Expansões. Modelos de Separação de Efeitos do tipo HSCT	924
<i>Miguel Rodrigues e Sérgio Oliveira</i>	
Monitorização de deslocamentos em grandes barragens utilizando GNSS. Aplicação à barragem do Cabril	934
<i>Rodrigo Moraes, Sérgio Oliveira e José Nuno Lima</i>	
Comportamento de barragens abóbada para o cenário de decréscimo da resistência. Utilização de um modelo de dano desenvolvido em MATLAB	944
<i>André Alegre, Sérgio Oliveira e Margarida Espada</i>	
Análise e interpretação do comportamento observado da barragem de Pretarouca durante o primeiro enchimento da albufeira e o primeiro período de exploração	954
<i>Ivo Figueiredo Dias, António Lopes Batista e José Boal Paixão</i>	

SESSÃO 5A – Realizações. Construção e reabilitação

Linha de Évora. Troço Évora Norte – Linha do Leste. Obras de Arte Especiais	965
<i>Paulo Jorge Osório Tavares</i>	
Management of highway bridges affected by delayed ettringite formation pathology	974
<i>Nicolas Bardou</i>	
Reabilitação, Reforço Estrutural e Aumento de Segurança em Viadutos de Auto-Estradas	984
<i>Pedro Cabral, Susana Bispo e Armando Rito</i>	
O Projecto e a Construção da Ponte sobre o Rio Cuito, em Angola	994
<i>Luis Xavier, Pedro Cabral e Armando Rito</i>	
Reabilitação e Beneficiação da Ponte sobre o Rio Arda, em Pedorido	1005
<i>Francisco Virtuoso e Augusto Gomes</i>	

SESSÃO 5B – Materiais. Desempenho, durabilidade e impacto ambiental

Avaliação da sustentabilidade de colunas tubulares mistas aço-betão com agregados de borracha	1016
<i>António Duarte, Nuno Silvestre, Jorge de Brito, Eduardo Júlio e José Silvestre</i>	
Dimensionamento de colunas curtas tubulares mistas aço-betão com agregados de borracha submetidas a flexão cíclica composta com compressão	1026
<i>António Duarte, Nuno Silvestre, Jorge de Brito e Eduardo Júlio</i>	
Betões eco-eficientes com baixo teor de cimento e com agregados reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição	1036
<i>Keila Robalo, Hugo Costa, Ricardo do Carmo e Eduardo Júlio</i>	
Avaliação da durabilidade de betões auto-compactáveis produzidos com agregados reciclados provenientes da indústria de pré-fabricação	1046
<i>Sara Santos, Pedro Raposeiro da Silva e Jorge de Brito</i>	
Avaliação da resistividade elétrica no concreto com agregados graúdos reciclados cerâmicos ...	1056
<i>Felipe Reis e Paulo Sérgio</i>	
Resistência ao corte de betões com agregados finos reciclados	1066
<i>Diogo Semedo, Luís Evangelista e Jorge de Brito</i>	

SESSÃO 5C – Análise Estrutural e Normalização

Integración de OpenSees en el software de CYPE	1077
<i>Javier Pereiro-Barceló e Manuel Fernández-Baños</i>	
Comprobación por software de anclajes a elementos de hormigón	1085
<i>Javier Pereiro-Barceló</i>	
Modelos de partículas para simulação de ensaios deformabilidade diferida do betão considerando explicitamente a mesoestrutura	1095
<i>Carlos Serra, Nuno Monteiro Azevedo, António Lopes Batista e Noemi Schlar</i>	
Análise de vigas de acoplamento de paredes de betão estrutural com modelos combinados de campos de tensões (1D/2D)	1105
<i>Miguel Pedrosa Ferreira, João F. Almeida e Miguel Sérgio Lourenço</i>	
Metodologia probabilística para avaliação de edificações com estrutura existente em betão armado	1115
<i>João Pantoja, Humberto Varum e António Abel Henriques</i>	

SESSÃO 5D – Análise Estrutural e Normalização

Comportamento de ancoragens de pré-esforço por aderência para o reforço de estruturas de betão às ações sísmicas	1126
<i>Tiago Vilhena, Válder Lúcio, Carla Marchão e Helisa Muhaj</i>	
Seismic strengthening of RC beams using post-tensioning with anchorages by bonding	1136
<i>Helisa Muhaj, Carla Marchão, Válder Lúcio e Ana Rita Gião</i>	
Seismic assessment of framed structures reinforced with superelastic shape memory alloy	1146
<i>Mohamed Abdelaziz e Mohamed Gomaa</i>	
Comportamento à compressão de pilares circulares de betão confinados por sistemas compósitos de FRP híbridos	1156
<i>Filipe Ribeiro, José Sena-Cruz, Fernando Garrido Branco e Eduardo Júlio</i>	
Estudos numéricos de lajes de betão armado reforçadas à flexão com laminados de CFRP pré esforçados	1166
<i>Luís Correia, José Sena-Cruz e Paulo França</i>	
Efeito da temperatura no comportamento de ancoragens mecânicas para confinamento transversal de FRP	1176
<i>José Sena-Cruz, Luís Correia e Cristina Barris</i>	

SESSÃO 6B – Materiais. Desempenho, durabilidade e impacto ambiental

Betão antigo e equipamento de ensaio: Museu de Engenharia Civil	1187
<i>Alcinia Zita Sampaio</i>	
Betões de edifícios galardoados com o Prémio Valmor de Arquitectura. Caracterização e contributos para a sua salvaguarda	1195
<i>Luís Almeida, António Santos Silva, Maria do Rosário Veiga, José Mirão e Manuel Vieira</i>	
Caracterização Experimental de Betões Pré-misturados sem Adição de Água	1205
<i>Carolina Freitas, Paulo Silva Lobo e Miguel Guimarães</i>	
Avaliação dos resultados de resistência à compressão de betão pronto produzido em centrais portuguesas	1215
<i>João Pacheco, Jorge de Brito, Carlos Chastre e Luís Evangelista</i>	
Adequação de ensaio de permeabilidade de concreto permeável em corpos de prova prismáticos	1225
<i>Arthur Aviz, Jayme Ribeiro e Luciana Cordeiro</i>	
Estudo paramétrico da armadura mínima requerida para controlo da fissuração, em elementos de BA espessos restringidos, baseada em análises termo-higro-mecânicas	1234
<i>Carlos Sousa, Miguel Azenha, Cláudio Ferreira e Rui Faria</i>	

SESSÃO 6C – Produtos e Processos. Construção e reabilitação

Previsão da capacidade de suporte de fundações profundas e análise dos materiais em relação às estacas hélice contínua	1245
<i>Ana Carolina Reis Lozovey e Fernea Aparecida João</i>	
Ambiente corrosivo: análise da deposição de cloretos e perspectiva da vida útil das estruturas de concreto armado em Aracaju/SE/BR	1255
<i>Ana Prata, Carlos Carvalho e Francisco Lopes</i>	
Levantamento de anomalias para a reabilitação estrutural e funcional de edifícios de betão armado	1265
<i>José Dias, António Santos, Armando Pinto, António Coelho, Luís Matias e Teresa Santos</i>	
Medição da corrosão de estruturas de betão armado com recurso à fotogrametria	1275
<i>Eduardo Cavaco, Rui Pimenta e Jónatas Valença</i>	

Considerações sobre o uso da Biocimentação para Reparação de Fendas em Vigas de Betão Armado	1285
<i>Rafaela Cardoso, António Monteiro, Gabriel Monteiro e Inês Flores-Colen</i>	
Influência da textura da superfície do furo e do nível de confinamento na capacidade resistente de ligações seladas no reforço de fundações com microestacas	1295
<i>David Marques, João Veludo e Pedro Santos</i>	

SESSÃO 6D – Materiais. Desempenho, durabilidade e impacto ambiental

Desenvolvimento do Ultra High Performance Reinforced Concrete (UHPFRC): uma proposta prática	1308
<i>Rosangel Rojas, Christa Kcorzenowski, Jose R. Yepez, Luiz C. Pinto, Américo Campos F. e Ronaldo Beraldin</i>	
Influência da corrosão no comportamento pós-fendilhação do betão reforçado com fibras de aço recicladas	1318
<i>Cristina Frazão, Joaquim Barros, José Bogas e Delfina Gonçalves</i>	
Numerical analysis for steel-fiber-reinforced concrete as a homogeneous material	1328
<i>Caio Matos e Aline Ramos</i>	
Otimização de um betão auto-compactável reforçado com fibras para a indústria de prefabricação	1340
<i>Paulo Fernandes, Hugo Rodrigues, João Veludo, João Baptista e Nuno Almeida</i>	
Energia de Fratura Interna a Altas Temperaturas de Betões Fibrosos de Alta Resistência b	1350
<i>Hugo Caetano e João Paulo C. Rodrigues</i>	

SESSÃO 7A – Realizações. Construção e reabilitação

Reforço Sísmico do Viaduto do Fonte Nova na 2ª Circular de Lisboa	1361
<i>Júlio Appleton, António Costa, João Sousa Dias e João Paulo Costa</i>	
Confronting the historical with the contemporary, a proposal for the new Alcantara Bridge	1172
<i>Jose Romo, Javier León e Julio Sánchez</i>	
Reabilitação e Beneficiação da Ponte de São João das Areias	1382
<i>Augusto Gomes e Francisco Virtuoso</i>	
Building the two largest High-Speed Railway arch bridges in the world with fully autonomous MMS	1392
<i>António Póvoas e Joana Delgado</i>	
Análise do colapso de um viaduto em concreto pré-esforçado: Viaduto Batalha dos Guararapes ..	1402
<i>Sebastião Salvador Real Pereira, Hermes Carvalho e Victor Roberto Verga Mendes</i>	

SESSÃO 7B – PRÉMIO JOVENS MESTRES

Innovative building protection system against blast loads consisting of reinforced concrete facade panels supported by thin-walled steel energy absorption connectors	1413
<i>Vítor Pereira, Eduardo Júlio e Gabriel Gomes</i>	
Seismic analysis of structures: stress-resultant interaction based on response spectra	1423
<i>Ana Rita Tomaz</i>	
Comportamento à flexão de vigas de betão eco-eficientes e de ultra-elevada durabilidade	1433
<i>Ricardo Martins, Ricardo do Carmo, Hugo Costa e Eduardo Júlio</i>	
Pontes do tipo “Stress Ribbon” – Conceção e dimensionamento	1443
<i>Rita Almeida, Miguel Ferraz e Renato Bastos</i>	
Estruturas de betão armado reforçadas com laminados de CFRP: caracterização da aderência e do comportamento em flexão	1453
<i>Sérgio Soares</i>	

Análise da estabilidade da via num viaduto ferroviário para tráfego de comboios de alta velocidade	1463
<i>Artur Silva</i>	
Design of a pre-stressed bridge deck with ultra-high performance concrete (UHPC)	1474
<i>Rui Valente</i>	
Análises de placas de betão pré-esforçado com base no modelo de treliça com amolecimento ..	1484
<i>Ana Rita Lyrio, Luís Bernardo e Bernardo Horowitz</i>	

SESSÃO 7C – Produtos e Processos. Construção e reabilitação

Método de restauro para superfícies lisas em betão colorido	1495
<i>Judite Miranda, Jónatas Valença e Eduardo Júlio</i>	
Inspection and rehabilitation of fire-damaged reinforced concrete structures with NSM-CFRP strips	1506
<i>Ana S. Vieira, João P. Firmo e João R. Correia</i>	
Preventive and curative measures in heritage buildings due to settlements risk with consequent degradation of their masonry walls	1516
<i>José Dias</i>	
Avaliação do desempenho de resinas epoxídica em reparos de concreto à base de cimento Portland	1526
<i>Luiz A. Modesti, Alexandre S. Vargas e Eduardo L. Schneider</i>	
Análise de três soluções para proteção de estruturas sujeitas a explosões	1536
<i>Válter Lúcio, Gabriel Gomes e Cornel Cismasiu</i>	

SESSÃO 7D – Análise Estrutural e Normalização

Comportamento ao fogo de lajes de betão armadas com varões de GFRP: estudo experimental .	1547
<i>Inês C. Rosa, Pedro Santos, João P. Firmo e João R. Correia</i>	
Resposta sísmica de barragens abóbada. Estudo numérico sobre a influência da cota de água na albufeira	1556
<i>André Alegre, Sérgio Oliveira, Rafael Ramos e Margarida Espada</i>	
Análise de elementos de Betão Armado expostos ao incêndio após um sismo	1566
<i>Hugo Vitorino, Hugo Rodrigues e Carlos Couto</i>	
Efeito da Temperatura Ambiente na Resposta Sísmica de Estruturas de BA com Juntas Ligadas com SMA	1576
<i>Pedro Nunes e Paulo Silva Lobo</i>	
Resposta da ligação pilar-laje fungiforme sujeitas a ações horizontais cíclicas reforçadas com estribos	1586
<i>André Almeida, António Ramos, Rui Marreiros, Válter Lúcio e Ricardo Faria</i>	

SESSÃO 8A – Realizações. Construção e reabilitação

Grande Auditório da Nova SBE em Carcavelos - Um Projeto em Betão Estrutural de Geometria Singular	1597
<i>André Biscaya, José Oliveira Pedro e António Barreiros Ferreira</i>	
Edifício FPM41	1607
<i>Miguel Sérgio Lourenço, João F. Almeida e José N. Câmara</i>	
Estruturas e Fundações do novo Hospital Cuf Tejo em Lisboa	1619
<i>Júlio Appleton, António Costa, Nuno Travassos e Hugo Rodrigues</i>	
Hotel Savoy: Conceção e Projeto	1631
<i>José Câmara, Filipe Reis e André Fonseca</i>	

Edifícios Liberdade 203 em Lisboa	1643
<i>João Almeida, David Gama e Miguel Lourenço</i>	
Basílica do Divino Pai Eterno – Estrutura do Corpo Central	1653
<i>Filipe Conceição</i>	

SESSÃO 8B – Produtos e Processos. Construção e reabilitação

Desenvolvimento de painel sanduíche multifuncional para reabilitação sustentável de edifícios porticados de betão armado: caracterização de componentes	1665
<i>Christoph de Sousa, Joaquim Barros, João Ramôa Correia, Delfina Gonçalves e Miguel Azenha</i>	
Fabrico e Aplicação de Betão Branco Estrutural Leve com Agregados de Cortiça no Terminal de Cruzeiros de Lisboa	1674
<i>Jorge Galvão, Vitor Vermelhudo, Ricardo Ribeiro e Ângela Nunes</i>	
Análise experimental de ligações pilar-pilar em torres treliçadas em concreto pré-moldado para suporte de geradores eólicos	1687
<i>David Martins, Sueli Souza, Válder Lúcio, Carlos Chastre e Luiz Souza</i>	
Associação de múltiplos conectores tipo Perfobond para ligações aço-betão	1697
<i>Luís Costa Neves, Pedro Vellasco, Carlos Neto e Luciano Lima</i>	
Análise da viabilidade técnica da reutilização de resíduos de pedras ornamentais na fabricação de blocos de gesso sustentáveis	1707
<i>Victor Valério Landim da Silva, Gastão Coelho de Aquino Filho e Cícero Joelson Vieira Silva</i>	
Requisitos de Controle de Qualidade para Produção de Painéis Estruturais Pré-fabricados de Concreto	1719
<i>Karin Cangela Grabner e Maurício Silveira Martins</i>	

SESSÃO 8C – Produtos e Processos. Construção e reabilitação

Avaliação da ponte de ligação no ensaio de potencial de corrosão em estruturas de concreto armado	1730
<i>José E. F. de Borba Júnior, Débora A. B. de Medeiros, Rodrigo M. da Silva, Tatiana A. E. Ewen e Timóteo C. Tarão e Victor H. D. de Oliveira</i>	
Desenvolvimento de plataforma robótica aérea integrada em ROS para inspeção de pontes de betão	1738
<i>André Araújo, Jónatas Valença, Micael Couceiro e Eduardo Júlio</i>	
Mapeamento de fendilhação em estruturas de betão através de classificação automática de imagem	1748
<i>Bruno Oliveira Santos, Jónatas Valença e Eduardo Júlio</i>	
Utilização da termografia para monitoramento de patologias presentes em pontes e viadutos	1758
<i>José E. F. de Borba Júnior, David de S. T. da Silva, Rodrigo M. da Silva, Julio S. do N. Mamede, Gustavo R. de S. Silva e Victor H. D. de Oliveira</i>	
NDT techniques for the analysis of anomalies related with durability - Heritage buildings with masonry walls and confining concrete elements	1767
<i>José Miranda Dias, Maria João Henriques, Luís Matias, Maria Sofia Ribeiro e Sónia Raposo</i>	
Monitorização de fendas em superfícies de betão através de análise de imagens multitemporais	1777
<i>Jónatas Valença, Bruno Oliveira Santos e Eduardo Júlio</i>	

SESSÃO 8D – Produtos e Processos. Construção e reabilitação

Avaliação das condições de segurança da Ponte-Cais do Porto de Pemba por meio de ensaio de carga de curta duração	1787
<i>Rafael Miguel Mabunda, Filda Miguel Langa e Américo Ocua Dimee</i>	

Ensaio dinâmico e modelação da ponte sobre o rio Itacaiúnas	1797
<i>Laura Souza, Romulo Antonio Chaves Lopes, Eloi Figueiredo, Dragos Ionut Moldovan, Jorge Antonio Moraes de Souza, Jairo de Jesus Rabelo, Ronyere Ferraz Moreira de Sousa, Plínio Glauber Carvalho dos Prazeres e João Crisóstomo Weyl Albuquerque Costa</i>	
Resistência última à flexão de lajes alveolares protendidas	1807
<i>Sebastião Pereira, Milton Dias, Elvio Piancastelli, Thiago Bortone e Elves Faria</i>	
Comportamento dinâmico da laje de betão armado de um viaduto ferroviário com solução estrutural mista aço-betão	1814
<i>Joel Malveiro, Carlos Sousa, Diogo Ribeiro e Rui Calçada</i>	
Ensaio dinâmico ambiente para avaliação dos danos na Ponte Antiga da Foz do Dão	1824
<i>Min Xu, Luís Oliveira Santos e Manuel Pipa</i>	

Grupo Português de Betão Estrutural
Av. do Brasil 101
1700-066 LISBOA
tel.: 218 443 307
gpbe@lnec.pt
www.gpbe.pt/

ISBN: 978-989-20-9043-6



9 789892 090436

