

MAQUINARIA

PERSPECTIVA GLOBAL



Edição nº 227 • Novembro/Dezembro 2012 • € 3,50



Elevação

Terex RT555 Progress começou a ser produzida no Brasil

Camiões para Construção e Minas

*Cooperação com a DAF revitaliza a Tatra
Nova gama todo-o-terreno já é global*

A REPORTS

Liebherr R 950 SME, LTC 1045-3.1
e CAL 64000-1500 Litronic

B MUNDO EM CONSTRUÇÃO

Projectos, Iniciativas e Mercados

C MÁQUINAS

Lançamentos, Tecnologia e Inovação

D EMPRESAS E NEGÓCIOS

Go Mobile! O desafio da Mobilidade Empresarial,
por Pedro Figueiredo

E ENGENHARIA

Execução e reparação de infra-estruturas com recurso
a betões correntes, por F. Pacheco Torgal



GRUPOS MÓVEIS BRITAGEM, SELECÇÃO E LAVAGEM

Powerscreen (Pegil, Lda.)
introduz desenvolvimentos técnicos
para melhorar economia e produtividade





ENGENHARIA
.....

Execução e reparação de infra-estruturas com recurso a betões correntes ou o barato sai caro (em termos económicos e ambientais)

De acordo com as últimas estatísticas da European Ready Mixed Concrete Organization (ERMCO), o consumo de betão pronto de resistência elevada ronda apenas 10% do consumo total. A explicação para esta baixa percentagem deve-se ao facto dos vários intervenientes da indústria da construção preferirem betões com menor custo inicial os quais como se verá no presente artigo podem no entanto implicar custos acrescidos ao longo da vida útil das infra-estruturas e ainda um menor desempenho ambiental.

Por F. Pacheco Torgal
torgal@civil.uminho.pt

Introdução

Com uma produção de 10 km³/ano o betão é e continuará a ser nas próximas décadas o material mais utilizado no Planeta Terra. A sua versatilidade e o seu baixo custo fazem dele um material imprescindível na construção das infra-estruturas necessárias para responder ao expectável aumento exponencial da população a nível mundial nas próximas décadas [1,2]. Segundo a ERMCO [3], o consumo de betão pronto em 2011, nas mais de duas dezenas de países membros e associados daquela associação, esteve em termos médios maioritariamente concentrado nas classes de resistência C25/30 e C30/37, enquanto, por exemplo, o consumo médio respeitante às classes C35/45

(ou superiores) não foi além de 13% do consumo total (Fig. 1).

Tendo em conta que as estatísticas da ERMCO relativas ao consumo de betão pronto na última década mostram que

esta percentagem se mantém praticamente inalterada, isso significa que a procura de betões de resistência elevada se encontra de certa forma congelada. A desagregação desse

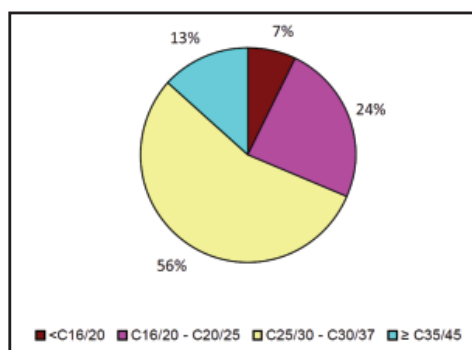


Figura 1:
Produção de betão pronto por classe de resistência [3]

consumo pelos vários países a que reporta a análise estatística da ERMCO (Fig. 2) mostra que o consumo de betão correspondente às classes C35/45 (ou superiores) é muito heterogéneo. A Holanda consome na sua maioria betões destas classes (55%), outros países como a Suécia, Bélgica e Irlanda utilizam um percentagem entre 30 a 40% havendo no entanto alguns países com um consumo inferior a 10%, casos da Áustria, Dinamarca, França, Itália e Turquia.

Este facto, embora parcialmente entendível numa perspectiva simplista de privilegiar betões de menor custo inicial, é no entanto injustificado em face das desvantagens económicas e ambientais dos mesmos face aos betões de resistência elevada. Duas razões fundamentais concorrem para o desconhecimento daquelas por parte da maioria dos intervenientes no sector na construção, nomeadamente por parte dos técnicos com formação superior na área da engenharia civil. Por um lado os currícula dos cursos de engenharia civil estão essencialmente centrados nas competências de projecto. Abundam por isso naquele curso as disciplinas de cálculo (estrutural, geotécnico, hidráulico, térmico, acústico etc etc etc) e escasseiam as disciplinas sobre materiais de construção. Não é por isso possível abordar com a devida profundidade os diversos materiais de construção, nem tão pouco abordar assuntos tão específicos como aquele que justifica o presente artigo. E se essa situação poderia ser entendível há várias décadas atrás, quando os materiais de construção eram pouco diversos e de escassa complexidade, é actualmente bizarra e sem sustentação. E mesmo se no limite esta situação possa ser aceitável nos cursos de engenharia civil de nível universitário já o mesmo não sucede para aqueles que são leccionados no ensino superior politécnico, onde se esperaria que o perfil fosse mais voltado para questões técnicas e menos para modelações analíticas de pouca utilidade na vertente da produção. Por outro lado o facto do "status quo" vigente ter remediado quase para um "gueto" a área dos materiais de construção, tal teve como consequência que os Professores e Investigadores que actuam nessa área sejam eles próprios uma minoria que dificilmente consegue dar resposta às múltiplas solicitações do sector da construção: nomeadamente a de tornarem evidente que, embora alguns

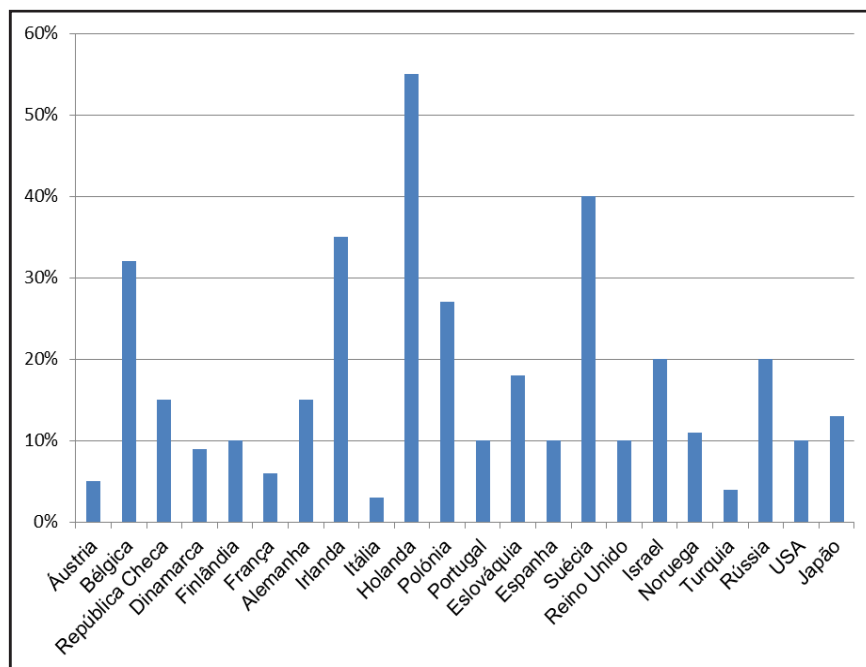


Figura 2:
Percentagem de consumo de betão pronto nas classes C35/45 (ou superiores) [3]

materiais de construção possam apresentar um menor custo inicial, podem ser menos económicos e eco-eficientes quando se considera toda a vida útil de uma determinada infra-estrutura [4].

Considerações económicas e ambientais

Ao contrário dos betões correntes, os betões de resistência elevada permitem a execução de estruturas com menor consumo de aço e também com menor volume de betão. Algumas investigações apontam para o facto de um aumento de 3 vezes da resistência à compressão do betão poder originar reduções na ordem dos 50% no consumo de aço em pilares e de 33% no consumo de betão [5]. Além disso a utilização betões de resistência elevada permite a colocação das infra-estruturas em serviço em prazos mais curtos, o que contribui para aumentar a competitividade económica destes materiais. Por outro lado, as infra-estruturas executadas com betões correntes são regra geral menos duráveis do que se forem executadas com betões de resistência elevada, podendo vir no futuro a necessitar de operações de manutenção e/ou

conservação, ou mesmo nalguns casos a necessitar de serem substituídas na íntegra, com os consequentes consumos de energia e matérias-primas. É importante referir que a reabilitação de infra-estruturas degradadas implica a nível mundial gastos na ordem dos 10 triliões de dólares. Só nos Estados Unidos nos próximos 5 anos este mercado ascende a 1,6 triliões de dólares. A "lei dos cinco" [6] defende que cada dólar gasto na fase de projecto e construção é equivalente a 5 dólares gastos quando a deterioração da estrutura tem início, 25 dólares gastos quando a deterioração se começou a generalizar e a 125 dólares quando a deterioração é já tão extensa que implica obras de reparação substanciais. Este conceito ilustra por isso a importância económica associada à escolha de materiais de elevada durabilidade logo na fase de projecto e construção. A principal desvantagem ambiental associada aos betões diz respeito ao material ligante, o cimento Portland que é responsável por quase 80% das emissões de CO₂ do betão. Tendo em conta o elevado volume de betão produzido anualmente, isso significa que este material é responsável por

Tektonica

MOÇAMBIQUE

Construção / Imobiliário / Segurança / Ambiente

25 de FEV. a 04 de MARÇO 2013

MAPUTO - BEIRA - NAMPULA



quase 7% do total de emissões de CO₂ a nível mundial [1]. A substituição do cimento Portland por adições de características pozolânicas ou hidráulicas constitui por isso a forma mais evidente de reduzir as emissões de CO₂ do betão. Park et al. [7] analisaram 560 composições de betão tendo comprovado que o aumento da percentagem de adições permite reduzir de forma significativa as emissões de CO₂ incorporado (Fig. 3). Contudo é um facto que a regulamentação europeia (NP EN 206-1: 2007) impõe percentagens mínimas de cimento, limitando o uso de adições e por exemplo o rácio cinzas volantes/cimento não pode exceder 33% em termos de massa. Este requisito pretende garantir que o pH no interior do betão seja suficiente (12 a 14) para manter a camada de passivação das armaduras e assim evitar a sua corrosão [8]. Contudo, tendo em conta que de acordo com estatísticas da ERMCO [3] vários países utilizam percentagens de adições pouco expressivas, nalguns casos inferiores até mesmo a 10%, isso significa que o sector da construção ainda não faz uso de todas as vantagens inerentes à utilização de volumes superiores de adições de características pozolânicas ou hidráulicas [9]. Por outro lado Habert e Roussel [10] defendem que como a resistência dos betões é proporcional ao consumo de cimento Portland, o aumento dessa resistência para o dobro conduz a um aumento das emissões de CO₂ da ordem de 1.4, por outro lado esse mesmo aumento pode simultaneamente contribuir para uma redução

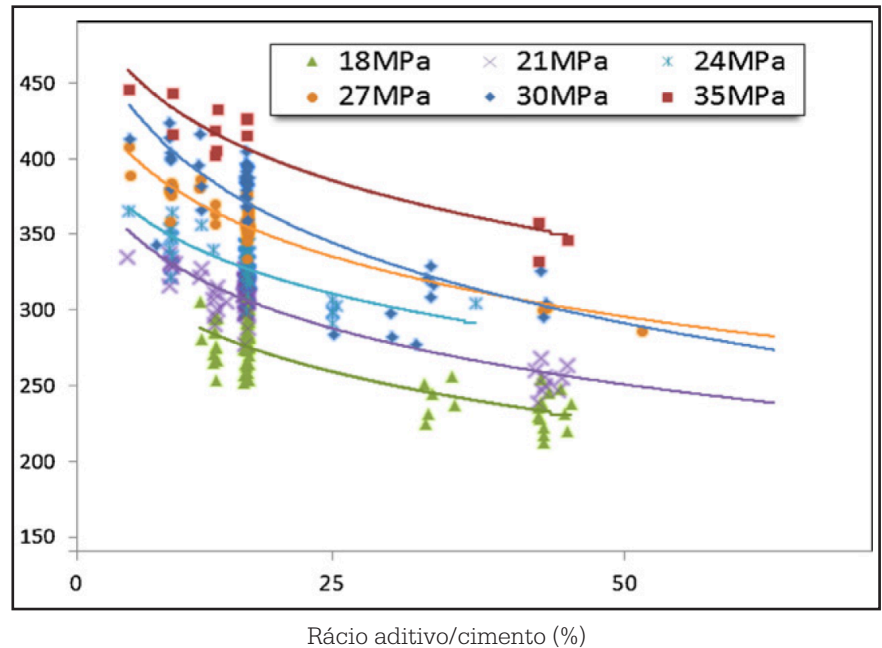


Figura 3:
Influência da substituição de cimento Portland por adições nas emissões de CO₂ [7]

do volume total de betão utilizado na construção da infra-estrutura e logo levar a uma redução das emissões de CO₂ da ordem de 0.7, o que significa uma redução global das emissões de CO₂ da ordem dos 30%. Os mesmos autores referem que caso os betões utilizados apresentem uma resistência à compressão de 120 MPa isso pode significar uma redução global de 50% das emissões de CO₂. No entanto Purnell e Black [11] consideram que estabelecer

uma relação directa entre a resistência do betão e as emissões de CO₂ constitui uma simplificação e que se torna por isso necessário contabilizar o contributo dos diversos constituintes daquele. Os mesmos autores sugerem que uma resistência à compressão de 60MPa permite minimizar as emissões de CO₂ incorporado no betão. Outros autores [12] compararam um edifício feito com betões correntes e betões de resistência elevada concluindo que os últimos



Figura 4:
Ponte "Log Čezsoški" sobre o rio Soca na Eslovénia [14]

	Betão corrente C30/37	Betão eco C30/37	DUERF	DUERF eco
Cimento	280	140	1682	765
Cinzas volantes	-	140	-	-
Filler calcário	-	-	-	765
Microsilica	-	-	153	153
Fibras de aço	-	-	707	707
Areia fina	687	587	-	-
Agregado	1242	1390	-	-
Água	183	144	224	224
Super plastif	2	9	55	55

Tabela 1:

Composição dos betões (kg/m³) correspondentes às várias soluções de reabilitação estudadas [14]

permitem uma redução de 52% no consumo de energia ao longo da vida útil do edifício. Habert et al. [13] estudaram a influência do aumento da resistência do betão na redução do impacto ambiental de duas pontes localizadas em França, uma executada em betão corrente e a outra com betão de resistência elevada. Os resultados obtidos por estes investigadores mostram que a última apresenta impactos ambientais nas diversas categorias analisadas os quais são à volta de 15% inferiores

aos associados à ponte construída com betão corrente.

O caso da reabilitação da ponte “Log Čezsoški” na Eslovénia

Afigura-se pertinente referir aqui o caso da reabilitação de ponte “Log Čezsoški” com 65 m de vão na Eslovénia (Fig. 4) a qual foi construída em 1973 e nunca desde essa data foi objecto de obras de reabilitação. A mesma foi levada a cabo no âmbito do projecto europeu ARCHES (Assessment and Rehabilitation of

Central European Highway Structures) o qual teve como objectivo investigar técnicas de reparação e reabilitação de infra-estruturas viárias, mais económicas e eco-eficientes.

A ponte em causa foi reabilitada com recurso a um betão de resistência ultra elevada reforçado com fibras e com substituição de 50% do cimento por filler calcário (DUERF eco) (Tabela 1). A solução referida foi escolhida tendo em conta o seu desempenho ambiental mais favorável em termos do potencial de aquecimento global (calculado pelo método CML01), quando considerada a vida útil das diversas soluções de reabilitação estudadas (Fig. 5).

Tenha-se presente que a solução relativa ao betão corrente apresenta um desempenho ambiental ligeiramente melhor quando se considera somente a fase de execução da reabilitação, mas a mesma é responsável por mais 50% das emissões de CO₂ do que a solução com o betão DUERF eco quando a análise é feita para a vida útil das diferentes soluções que abaixo se discriminam:

Betão corrente C30/37: 30 anos

Betão eco C30/37: 24 anos

DUERF: 60 anos

DUERF eco: 48 anos

Torna-se por isso aconselhável que a decisão técnico-económica sobre o betão a utilizar numa determinada infra-estrutura seja baseada não apenas no seu custo inicial mas também em termos da vida útil da infra-estrutura.

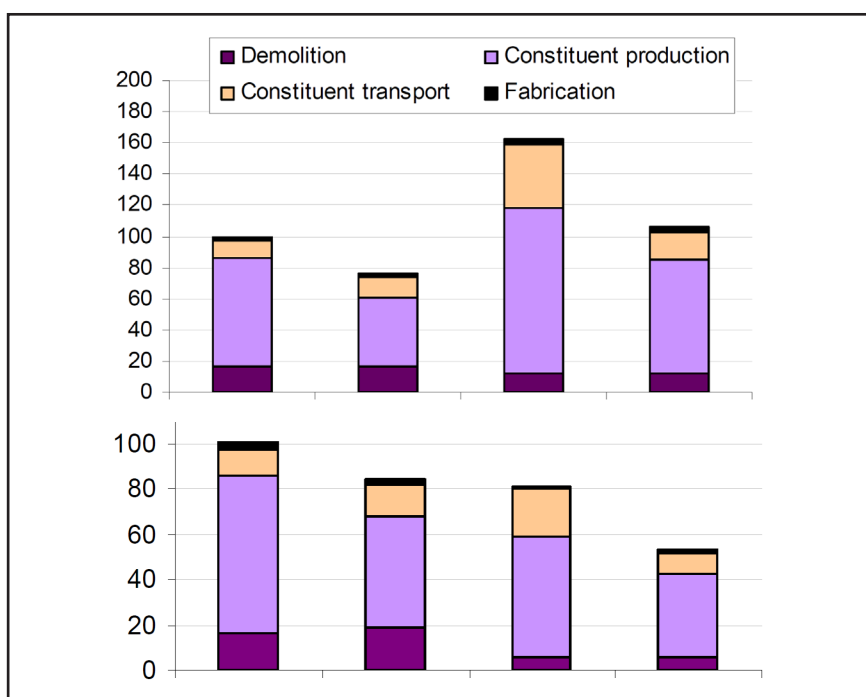


Figura 5:

Potencial de aquecimento global correspondente a diversas soluções de reabilitação da ponte “Log Čezsoški”:

a) considerando somente a fase de execução

b) considerando a vida útil

das soluções de reabilitação [14]

AUTOR



F. Pacheco Torgal

✉ torgal@civil.uminho.pt

Engenheiro Civil Sénior, investigador do Grupo de Construção Sustentável da Unidade C-TAC da Universidade do Minho. Autor e co-autor de 220 publicações em revistas e conferências, onde se incluem 55 publicações referenciadas na ISI Web of Knowledge, a principal base de dados científica a nível mundial. 35 artigos foram publicados em revistas ISI-A1.

[http://www.degois.pt/
visualizador/curriculum.
jsp?key=1300794898489491](http://www.degois.pt/visualizador/curriculum.jsp?key=1300794898489491)

REFERÊNCIAS

- [1] Flatt, R.; Roussel, R.; Cheeseman, C.R. (2012) Concrete: An eco-material that needs to be improved. *Journal of the European Ceramic Society* 32, 2787-2798.
- [2] Pacheco-Torgal, F.; Labrincha, J.A.; Jalali, S.; John, V.M. (2013) Eco-efficient concrete. Woodhead Publishing Limited Abington Hall, Cambridge, UK. 592 pág.
- [3] ERMCO (2012) Statistics of the year 2011. Boulevard du Souverain 68, B-1170 Brussels, Belgium.
- [4] Pacheco-Torgal, F.; Labrincha, J. (2013) The future of construction materials research and the seventh UN Millennium Development Goal: A few insights. *Construction and Building Materials* (in press)
- [5] Hegger, J.; Nitsch, A.; Burkhardt, J. (1997) Hchleistungsbeton im Fertigteilbau. *Betonwerk Fertigteil - Technik* 2, 81-90.
- [6] Delatte, N. (2009) Introduction. In *Failure, Distress and Repair of Concrete Structure*, Delatte, N. (ed), Woodhead Publishing Limited Abington Hall, Cambridge.
- [7] Park, J.; Tae, S.; Kim, T. (2012) Life cycle CO₂ assessment of concrete by compressive strength on construction site in Korea. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16, 2940-2946.
- [8] Pacheco-Torgal, F.; Miraldo, S.; Labrincha, J.A.L.; De Brito, J. (2012) An overview on concrete carbonation in the context of eco-efficient construction: Measurement, use of SCM's and/or RCA. *Construction and Building Materials* Vol.36, 141-150.
- [9] Van den Heede, P.; De Belie, N. (2012) Environmental impact and life cycle assessment (LCA) of traditional and 'green' concretes: Literature review and theoretical calculations. *Cement & Concrete Composites* 34, 431-442.
- [10] Habert G, Roussel N. (2009) Study of two concrete mix design strategies to reach carbon mitigation objectives. *Cement and Concrete Composites* 31(6):397-402.
- [10] Purnell, P.; Black, L. (2012) Embodied carbon dioxide in concrete: Variation with common mix design parameters. *Cement and Concrete Research* 42, 874-877.
- [12] Tae, S., Baek, C., Shin, S. (2011) Life cycle CO₂ evaluation on reinforced concrete structures with high-strength concrete. *Environ. Impact Assess.* 31, 253-260.
- [13] Habert, G.; Arribe, D.; Dehove, T.; Espinasse, L.; Le Roy, R. (2012) Reducing environmental impact by increasing the strength of concrete: quantification of the improvement to concrete bridges. *Journal of Cleaner Production* 35, 250-262.
- [14] Denarié, E., Habert, G., Sajna, A. (2009) Recommendations for the Use of UHPFRC in Composite Structural Members e Rehabilitation Log Cezsowski Bridge. Deliverable ARCHES D14.