

betão

nº 21 Outubro 2008



Revista da Associação Portuguesa das Empresas de Betão Pronto

Obra:
Autódromo do Algarve •
Betões Coloridos em Obras de Arte •

Qualidade:
Certificação do Controlo •
de Produção do Betão

Normalização:
• Ensaios de Identidade

Técnica:
• Betão e Sustentabilidade da Construção
• Betão com Agregados Reciclados

Contributos do betão para a sustentabilidade da indústria da construção



Eng.º F. Pacheco Torgal

Doutor em Materiais de Construção, Grupo de Construção Sustentável, Unid. Invest. C-TAC, Universidade do Minho



Eng.º Said Jalali

Professor Associado com Agregação, Dept.º de Eng. Civil, Universidade do Minho

Sumário

O betão é o material mais utilizado na indústria da construção, quer a nível nacional quer mesmo a nível mundial. Importa por isso, analisar os possíveis cenários que permitem equacionar o contributo deste material para a sustentabilidade da indústria da construção. Questões como, as emissões de carbono deste material, a utilização de cimentos compostos, a incorporação de resíduos no betão ou a durabilidade do betão são abordadas no presente artigo, numa óptica de divulgação das investigações mais recentes levadas a cabo sobre esta temática.

1. Introdução

O nosso planeta enfrenta hoje um desafio ambiental cuja falta de resolução ou adiamento, poderá vir a ditar o fim da civilização humana, tal como a conhecemos. Em termos ambientais, a acção do homem tem-se revelado muito pior que uma praga de gafanhotos. Pelo menos aqueles limitam-se a consumir recursos renováveis numa lógica igualitária. A acção humana consome tudo e polui tudo numa lógica de devastação sem paralelo,

agravada pelo facto de somente a alguns assistir o direito de consumir e poluir (com apenas 5% da população mundial, os Estados Unidos consomem cerca de um terço dos materiais do planeta e 35% da energia). O resultado final é um planeta poluído quase até ao limite, e que ironicamente parece caminhar no sentido de uma nova idade do gelo. Nunca como agora os efeitos imediatos dos padrões de consumo da civilização humana, revelaram dimensões de natureza intergeracional e intergeográfica tão evidentes, produzindo consequências noutros países e afectando futuras gerações. Um relatório recente do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) refere qualquer coisa como 200 milhões de refugiados, em consequência da provável subida do nível da água do mar. Outros investigadores, acreditam mesmo que o ponto de não retorno foi já atingido, não sendo por isso já possível evitar um ciclo interminável de catástrofes naturais, que levará a que no prazo de 100 anos a humanidade possa ficar reduzida a aproximada 20% da população actual. As preocupações ambientais da sociedade actual começaram a ganhar maior relevo após a realização em 1972 da Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente em Estocolmo. Contudo, somente em 1987 adquiriram uma perspectiva mais incisiva, a partir da publicação do Relatório "Our common future", mais mediatizado como relatório Brundtland, e onde pela primeira vez aparece consignada a expressão do desenvolvimento sustentável, como aquele que "permite satisfazer as necessidades do presente sem comprometer as possibilidades das gerações futuras satisfazerem as suas". Posteriormente, em 1992, na Conferência do Rio, em que estiveram presentes 176 países e 102 Chefes de Estado e de Governo, foram aprovadas por unanimidade a Declaração do Rio sobre o Ambiente e Desenvolvimento, a Declaração de Princípios sobre as Florestas e a Agenda 21, bem como a Convenção sobre as Alterações Climáticas e a Convenção sobre a Diversidade Biológica. Em 1993, a União Europeia desenvolveu o 5º Programa para o Ambiente e

Desenvolvimento, no qual se estabelece a necessidade de uma maior abrangência das políticas do ambiente. Na sequência dos compromissos assumidos por Portugal no âmbito da Agenda 21, foi elaborado em 2002 um documento intitulado Estratégia Nacional para o Desenvolvimento Sustentável (ENDS), o qual foi recentemente actualizado até ao ano 2015. Este documento consiste num conjunto coordenado de actuações nas dimensões Económica, Social e Ambiental, permitindo "assegurar um crescimento económico célere e vigoroso, uma maior coesão social e um elevado e crescente nível de protecção e valorização do ambiente". A indústria da construção constitui um dos maiores e mais activos sectores em toda a Europa, representando 28,1% e 7,5% do emprego, respectivamente na indústria e em toda a economia europeia. Com uma facturação anual de 750 milhões de euros, este sector representa 25% de toda a produção industrial europeia, sendo o maior exportador mundial com 52% do mercado. Em termos ambientais, esta indústria é responsável por 30% das emissões de carbono, sendo que o parque edificado consome 42% da energia produzida. Como consequência, a União Europeia no âmbito de uma construção mais sustentável estabeleceu recentemente as seguintes metas:

- A médio prazo reconversão de 30% do parque edificado com:
 - Redução de 50% da energia;
 - Redução de 30% das matérias-primas;
 - Redução de 40% dos resíduos;
 - Materiais de Construção 100% recicláveis;
 - Resíduos de construção demolição aproveitados integralmente.
- Até ao ano 2050:
 - Construção de edifícios novos sem CO₂;
 - Parque edificado até 2005 reconvertido, com redução de 50% de consumo de energia e 75% das emissões de CO₂.

Também a nível mundial a indústria da construção consome mais matérias-primas que qualquer outra actividade económica, onde se destaca o betão, pelo facto de ser o material mais utilizado por esta indústria e com um ritmo de crescimento exponencial (Figura 1).

O aumento da população mundial (até ao ano 2030 espera-se que aumente mais de 2000 milhões de pessoas) e as necessidades implícitas em

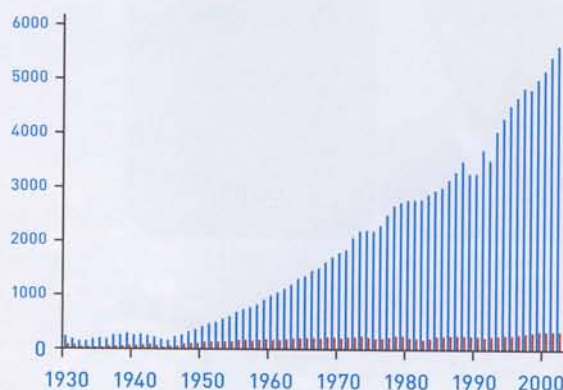


Figura 1 – Evolução da produção de betão a nível mundial

termos de construção de edifícios e outras infra-estruturas, agravará ainda mais o consumo de matérias-primas não renováveis, bem assim como a produção de resíduos. A sustentabilidade da indústria da construção e em particular o caso do material betão, assume desta forma, um papel primordial que importa analisar. Nessa sequência apresenta-se neste artigo uma revisão da literatura sobre investigações no âmbito da sustentabilidade do material betão.

2. Produção de betão: consumo de energia e emissões de CO₂

Como se pode constatar na Figura 2, na produção de uma unidade de betão o consumo de energia deve-se quase exclusivamente à energia necessária para o fabrico do cimento portland, o ligante que confere integridade estrutural aos diversos componentes do betão. Alguns estudos revelam que esse gasto de energia implica um nível de emissões de 0,39 tonelada de CO₂ por tonelada de clínquer de cimento. Além disso, o fabrico do cimento não é possível sem a emissão de CO₂ através da descarbonização do calcário (CaCO₃), quando incinerado conjuntamente com argilas a aproximadamente 1450 °C, para a produção do clínquer de acordo com a seguinte reacção:



de acordo com a qual, a produção de 1 tonelada de clínquer de cimento, gera 0,55 toneladas de CO₂ de origem química, a que acrescem as emissões para produção de energia, o que equivale a afirmar simpli-

ficadamente que durante a produção de 1 tonelada de clínquer de cimento portland se produz igualmente 1 tonelada de CO_2 . A parcela de energia referente ao processo de clínquerização tem diminuído ao longo dos últimos 50 anos de forma progressiva e muito substancial, não parecendo no entanto possível conseguir baixar do actual nível de consumo de energia que já quase corresponde ao mínimo teórico que varia entre 2000 a 3000 kJ/kg de clínquer (Figura 3).

Uma forma de reduzir o impacto ambiental associado ao fabrico do clínquer, passará assim pela utilização de cimentos compostos, em que a quantidade de clínquer empregue pode ser substancialmente reduzida. De acordo com a norma NP EN 197-1, que rege os diversos tipos de cimentos, somente a classe CEM I respeita à utilização de uma percentagem de clínquer entre 95-100%, todas as outras prevêem a possibilidade de substituição parcial do clínquer por subprodutos de características cimentícias (escórias), pozolânicas (cinzas volantes, pozolanas naturais e artificiais), e também filler calcário em percentagens que vão quase até 95% para o caso do cimento de alto forno CEM III/C constituído basicamente por escórias de alto forno (Quadro 1).

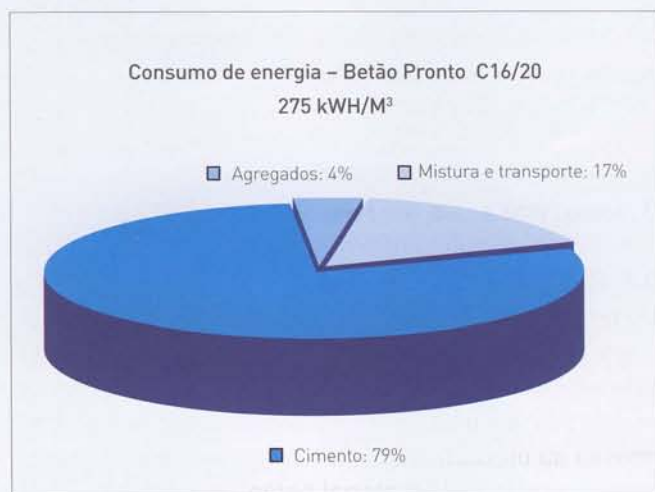


Figura 2 – Desagregação do consumo de energia na produção de betão pronto

Tipos de cimentos principais	Constituintes
CEM I – Cimento Portland	Clínquer 95-100%
CEM II – Cimento Portland Composto	Clínquer > 65%
CEM III – Cimento de alto forno	Clínquer + 35-95% de escórias de alto forno
CEM IV – Cimento pozolânico	45% Clínquer + 55% de sílica de fumo, pozolana ou cinzas volantes
CEM V – Cimento composto	> 20% Clínquer + >18% escórias + pozolana e/ou cinzas volantes siliciosas

Quadro 1 – Tipos de cimentos (adaptado da norma NP EN 197-1)

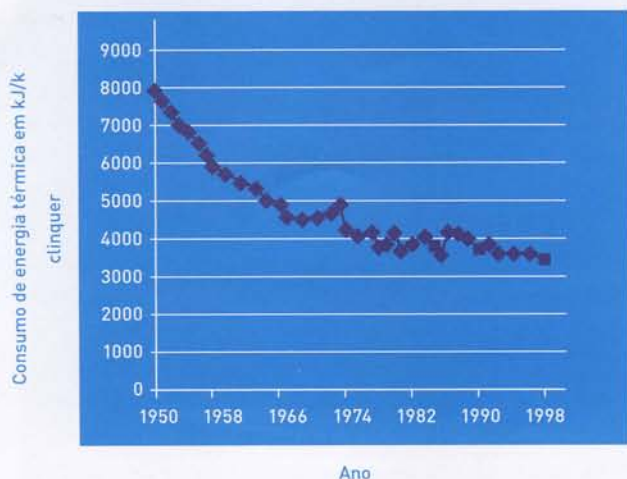


Figura 3 – Consumo de energia na produção de clínquer de cimento

Contudo e um pouco paradoxalmente, a indústria cimenteira nacional apresenta em termos de ofertas comerciais somente as classes CEM I, CEM II (B-L e A-L) e CEM IV/A, o que se poderá ficar a dever ao facto de não haver ainda uma penalização económica efectiva associada à produção de materiais responsáveis por um elevado nível de emissões de carbono. Aliás, a questão das emissões de carbono é um problema ambiental particularmente grave. De facto, é hoje já inegável, a relação entre a evolução da temperatura média da Terra e o aumento da concentração de CO_2 . Note-se que no início do século VIII, o nível de concentração de CO_2 era de 280 ppm, actualmente é de 430 ppm crescendo a um ritmo superior a 2ppm/ano, pelo que mantendo o nível de

emissões actual (o que não é provável, atendendo ao rápido crescimento económico da China e da Índia, com os consequentes aumentos de taxas de emissões) isso implicará um nível de concentração de CO_2 de 550 ppm no ano 2050. Por esse motivo, em 1997 os países signatários do Protocolo de Quioto, assumiram o compromisso conjunto de reduzirem até 2012, as suas emissões de gases responsáveis pelo aumento do efeito de estufa (GEE), em 5,2% relativamente ao nível de emissões no ano base de 1990. Pretendendo com isso estabilizar no ano 2012 os níveis de CO_2 para que a temperatura global média da Terra não excedesse 2 °C acima dos níveis pré-industriais. Nessa sequência, a Comunidade Europeia estabeleceu num primeiro momento a meta de reduzir as suas emissões de GEE em 8%. No âmbito desse compromisso Portugal pode apresentar em 2012, um nível de emissões de GEE, 27% superior ao apresentado em 1990. Sendo o nível de emissões de CO_2 e (CO_2 equivalente, que já inclui todos os gases GEE) em 1990 de 60 milhões de toneladas (Mt) anuais, a meta individual para Portugal, de emissões para o ano 2010, significa um tecto máximo de 76 Mt, contudo em 2001 o nível de emissões de CO_2 e, já tinha atingido as 82 Mt, ou seja 36% acima do máximo permitido pelos compromissos assumidos.

O último acordo estabelecido em 2007, respeitante às emissões da EU, obriga a reduzir globalmente essas emissões em 20% até ao ano 2020. A fórmula de cálculo utilizada pela Comissão Europeia na distribuição do esforço de redução das emissões de gases de efeito de estufa (GEE) pelos 27 Estados-Membros contemplou uma componente de riqueza por habitante (PIB per capita) que torna mais transparente a imputação do esforço de redução e é mais equitativo entre países. Dado o seu fraco desenvolvimento económico, Portugal irá poder aumentar as suas emissões de GEE em 1%, em relação a 2005 no que respeita às emissões que não as da indústria incluída no comércio de emissões (transportes, edifícios e agricultura). O resto das indústrias que hoje já são obrigadas a reduzir emissões e que representam 40% do total, terão de fazer um maior esforço para cortar carbono.

Esta questão é particularmente relevante no contexto nacional em que a energia é quase exclusivamente importada, sendo muito relevante a parcela correspondente à energia de origem térmica (Figura 4).

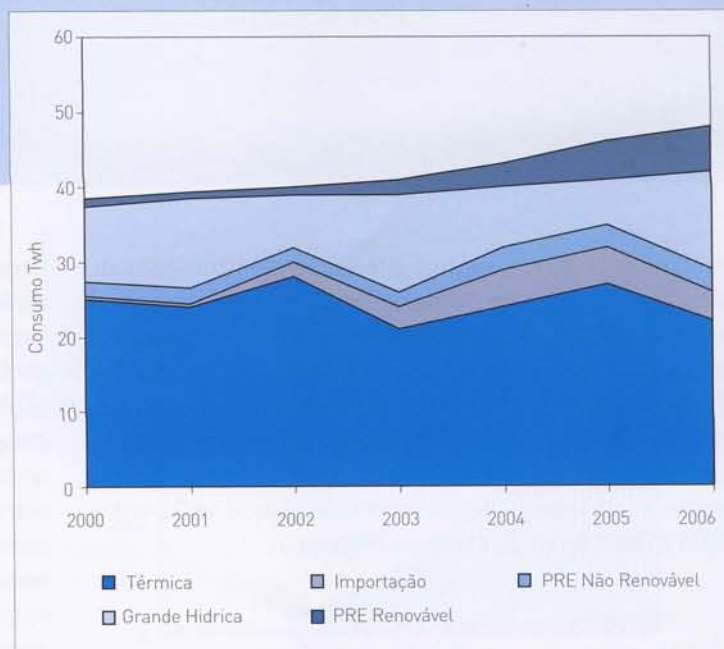


Figura 4 – Origem do consumo de energia em Portugal
(Fonte APREN/REN)

3. Incorporação de resíduos no betão

3.1. Resíduos pozolânicos

De acordo com alguns investigadores, a forma mais eficiente para a indústria da construção se tornar uma actividade sustentável passa pela incorporação de resíduos de outras indústrias em materiais de construção [1]. As investigações neste domínio têm vindo a merecer uma atenção especial por parte da comunidade científica, existindo já um corpo de investigação bastante consistente em termos da utilização de resíduos em betões, com características pozolânicas a saber: cinzas volantes [2,3], escórias de alto forno [4], sílica de fumo [5], cinzas de resíduos vegetais [6,7], cinzas de resíduos sólidos urbanos [8,9], resíduos de vidro [10, 11]. Os resultados obtidos são bastante satisfatórios e revelam que para além das vantagens ambientais, existe adicionalmente uma melhoria do desempenho mecânico e da durabilidade dos betões com este tipo de resíduos.

3.2. Outros resíduos industriais

Investigações recentes apontam ainda para a possibilidade da incorporação de outros resíduos industriais em betões, como agregados ou filler, a saber: resíduos da indústria automóvel [12, 13], de plástico [14, 15], têxteis [16], pó de pedra da indústria das rochas ornamentais, de extracção de agregados e da indústria cerâmica [17,18] e os resíduos de construção e demolição (RCD) [19, 20], onde se destaca ultimamente o caso da utilização de resíduos cerâmicos como agregados [21, 22].

3.2.1 A situação dos RCD em Portugal

Os RCD merecem uma atenção particular já que representam 1/3 dos resíduos produzidos no espaço Europeu, aproximadamente 100 Mt. Relativamente a Portugal, muito recentemente o IST estimou em 4,4 Mt os resíduos de RCD produzidos durante 2004, os quais podiam ser reaproveitados e dos quais 95% tiveram como destino a deposição em aterro. A título de exemplo, a taxa média de reciclagem de RCD na Europa é de 50%, já na Dinamarca a taxa de reciclagem de resíduos é de cerca de 89%, muito por força das taxas de deposição e de extracção de recursos não renováveis. A incorporação de resíduos RCD em betões constitui assim e no caso concreto de Portugal, uma maneira eficaz para se alcançar a meta prevista no âmbito do 3º objectivo do ENDS 2015 de reduzir em 12,1% o valor dos resíduos industriais relativamente aos valores do ano de 2001. A legislação sobre os RCD em Portugal foi publicada recentemente (Decreto-Lei nº 46/2008 de 12 de Março) e entrará em vigor em Junho do corrente ano. Este instrumento jurídico irá consagrar uma mudança drástica na forma como até agora são encarados este tipo de resíduos, merecendo especial destaque as seguintes medidas:

- Só é possível a deposição deste tipo de resíduos em aterro após operação de triagem;
- É estabelecida uma taxa de deposição em aterro de dois euros por cada tonelada;
- Nas empreitadas de obras públicas é necessário executar um plano de prevenção e gestão de RCD.

4. Durabilidade e sustentabilidade

A palavra durabilidade provém do latim *durabilis*, que significa aquilo que é durável ou seja que perdura através do tempo. Contudo, um material de construção (da família dos ligantes) só pode considerar-se como sendo durável, quando consegue manter ao longo do tempo (vida útil projectada), a sua capacidade de resistência à acção de forças e a sua integridade estrutural mesmo após ser sujeito a fenómenos de degradação mecânicos, físicos e químico quando colocado em serviço, quer por acção ambiental ou decorrente da actividade humana.

São inúmeros os casos de deterioração precoce de estruturas correntes de betão armado. Mehta [23] refere um caso de deterioração de estacas 12 anos após a sua construção e também um caso de um túnel no Dubai que concluído em 1975, teve de ser completamente reparado em 1986. Gjorv [24] indica um estudo sobre pontes constru-

ídas na Noruega após 1970 em que 25% apresentavam deterioração por corrosão de armaduras. Ferreira [25] cita estudos que indicam que 40% das cerca de 600.000 pontes existentes nos Estados Unidos estariam afectadas pela corrosão, com um custo de reparação de aproximadamente 50.000 milhões de dólares.

A durabilidade dos betões correntes, fica a dever muito ao material ligante (cimento portland), que apresenta uma elevada quantidade de cal, facilmente susceptível de ataque químico, pelo que a utilização de betões com materiais pozolânicos é um passo fundamental para o aumento da durabilidade dos betões correntes, já que ao serem adicionadas ao betão vão reagir com a fase solúvel de Portlandite ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) que constitui 20-25% do volume de sólidos da pasta de cimento hidratada, originando novos compostos insolúveis de CSH e consumindo a fase de CaOH_2 conhecida pela sua reduzida durabilidade. Por outro lado, sabe-se hoje que a capacidade de um betão se deixar atravessar por substâncias agressivas, sólidas ou líquidas que posteriormente vão provocar reacções físicas e químicas na sua estrutura interna originando a sua deterioração e a conseqüente exposição de armaduras, constitui um dos factores que mais influi na sua durabilidade sendo por isso considerado um indicador da sua qualidade. Esta nova abordagem do material betão, mais em função do seu desempenho ao longo do tempo do que em função da sua resistência à compressão, define uma nova classe de betões conhecidos como betões de elevado desempenho (BED). Por oposição aos betões de alta resistência (BER) os BED podem apresentar resistências não muito elevadas, já que não é este o parâmetro fundamental, mas sim a sua elevada durabilidade. Produzidos com cimentos CEM I das classes de resistência 42,5 ou 52,5 e recurso a razões A/L inferiores a 0,4 (com a utilização de superplastificantes) os BED incorporam subprodutos de características pozolânicas e ainda a adições de sílicas de fumo, as quais tendo em conta o seu custo só se justificam para estruturas em ambientes de elevada agressividade química [26]. Tendo em conta que quanto maior for a durabilidade de um material, maior será a sua vida útil e conseqüentemente menor será o seu impacto ambiental (ao aumentarmos a durabilidade do betão de 50 para 500 anos, há uma redução do seu impacto ambiental de um factor de 10 vezes [27]), facilmente se percebe a importância da durabilidade do material betão para a sustentabilidade da indústria da construção.

5. Conclusões

Os betões correntes à base de cimento portland, constituem pela sua versatilidade e competitividade económica, materiais que não é possível dissociar quando se pretende analisar a sustentabilidade da indústria da construção. A utilização de cimentos compostos com baixa quantidade de clínquer por incorporação de subprodutos industriais e ou pozolanas, e a substituição de agregados por agregados reciclados ou outros resíduos industriais, constituem passos fundamentais para a obtenção de betões mais sustentáveis. Também, o aparecimento dos aditivos superplastificantes que estão na génese dos betões de elevado desempenho, caracterizados por uma elevada durabilidade, contribuem de forma decisiva para a diminuição dos impactos ambientais deste material, através de um aumento considerável da sua vida útil.

Bibliografia

- [1] Metha, P.K. – Reducing the environment impact of concrete. Concrete can be durable and environmentally friendly. *Concrete International*, Vol.10, 2001;
- [2] Mehta, K. – High-performance, high-volume fly ash concrete for sustainable development. *International workshop on sustainable development and concrete technology*, 2001; pp.4-14;
- [3] Roskovic, R.; Bjegovic, D. – Role of mineral additions in reducing CO2 emission. *Cement and Concrete Research*, Vol.35, 2005, pp. 974-978;
- [4] Olorunsogo, F.; Wainwright, P. – Effect of ggbs particle size distribution on mortar compressive strength. *Journal of Materials in Civil Engineering ASCE*, Vol.10, 1998, pp.180-187;
- [5] Khedr, A.; Abou-zeid, N. – Characteristics of silica fume concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering ASCE*, Vol.6, 1994, pp.357-375;
- [6] Chindaprasirt, P.; Homwuttiwong, S.; Jaturapitakkul, C. – Strength and water permeability of concrete containing palm oil fuel ash and rice husk-bark ash. *Construction and Building Materials*, Vol. 21, pp. 1492-1499;
- [7] Tangchirapat, W.; Saeting, T.; Jaturapitakkul, C.; Kiattikomol, K.; Siripachorn, A. – Use of waste ash from palm oil industry in concrete. *Waste Management*, Vol. 27, 2007, pp. 81-88;
- [8] Redmond, S.; Bentz, D.; Pimienta, P. – Effects of the incorporation of municipal solid waste incineration fly ash in cement pastes and mortars I. *Experimental*. *Cement and Concrete Research*, Vol.32, 2001, pp. 303-311;
- [9] Redmond, S.; Bentz, D.; Pimienta, P. – Effects of the incorporation of municipal solid waste incineration fly ash in cement pastes and mortars II. *Modeling*. *Cement and Concrete Research*, Vol.32, 2001, pp. 365-376;
- [10] Shi, C.; Zheng, K. – A review on the use of waste glasses in the production of cement and concrete. *Resources, Conservation and Recycling*, May 2007;
- [11] Taha, B.; Nounu, G. – Properties of concrete contains mixed colour waste recycled glass as sand and cement replacement. *Construction and Building Materials*, 21 March 2007;
- [12] Papakonstantinou, C.; Tobolski, M. – Use of waste tire steel beads in Portland cement concrete. *Cement and Concrete Research*, Vol. 36, 2006, pp. 1686-1691
- [13] Bignozzi, M.; Sandrolini, F. – Tyre rubber waste recycling in self-compacting concrete. *Cement and Concrete Research*, Vol. 36, 2006, pp.735-739;
- [14] Marzouk, O.; Dheilily, R.; Queneudec, M. – Valorization of post-consumer waste plastic in cementitious concrete composites. *Waste Management*, Vol.27, 2007, pp. 310-318;
- [15] Choi, Y.; Moon, D.; Chung, J.; Cho, S. – Effects of waste PET bottles aggregate on the properties of concrete. *Cement and Concrete Research*, Vol. 35, 2005, pp. 776-781;
- [16] Schmidt, H.; Cieślak, M. – Concrete with carpet recycles: Suitability assessment by surface energy evaluation. *Waste Management*, 2007;
- [17] Almeida, Nuno G.C. M. – Reutilização de lamas de tratamento de rochas ornamentais em betões. *Dissertação de Mestrado*. Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior Técnico. 2004;
- [18] Almeida, N.; Branco, F.; Santos, J. – Recycling of stone slurry in industrial activities: Application to concrete mixtures. *Building and Environment*, Vol. 42, 2007, pp. 810-819;
- [19] Evangelista, L.; Brito, J. – Mechanical behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates. *Cement & Concrete Composites*, Vol.29, 2007, pp.397-401;
- [20] Jurč, B.; Hanžič, L.; Ilić, R.; Samec, N. – Utilization of municipal solid waste bottom ash and recycled aggregate in concrete. *Waste Management*, Vol. 26, 2006, pp. 1436-1442;
- [21] Senthamarai, R.; Manoharan, P. – Concrete with ceramic waste aggregate. *Cement and Concrete Composites*, Vol. 27, 2005, pp. 910-913
- [22] Brito, J.; Pereira, A.; Correia, J. – Mechanical behaviour of non-structural concrete made with recycled ceramic aggregates. *Cement and Concrete Composites*, Vol. 27, 2005, pp. 429-433;
- [23] Mehta, P.K. – *Concrete in marine environment*. Elsevier Science Publishers, 1991, New York, USA;
- [24] Gjorv, O.E. – Steel corrosion in concrete structures exposed to Norwegian marine environment. *ACI Concrete International*, 1994, pp. 35-39;
- [25] Ferreira, R. – *Avaliação de ensaios de durabilidade de betão*. Tese de Mestrado, 2000, Escola de Engenharia da Universidade do Minho;
- [26] Camões, Aires – *Betões de elevado desempenho*. Seminário Inovação em betões. Construnor 2006, pp. 81-100;
- [27] Mora, E. – Life cycle, sustainability and the transcendent quality of building materials. *Building and Environment* Vol. 42, 2007, pp.1329-1334.