

Tecnologia do betão para o desenvolvimento su

Estima-se que a indústria do betão consuma, actualmente, cerca de 8 mil milhões de toneladas de agregados naturais por ano. O fabrico de cimento portland, o ligante mais comum dos actuais betões, exige também grandes quantidades de materiais naturais.

Por: Kumar Mehta ⁽²⁾

Cerca de 7% das emissões mundiais de dióxido de carbono são atribuíveis à indústria do cimento portland [1]. Nos termos do recentemente concluído Protocolo de Quioto da Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações do Clima, muitos países aceitaram compromissos, com efeitos jurídicos, de reduzir as taxas de emissão de gases que contribuem para o aquecimento global até ao ano de 2010.

Para fazer avançar o objectivo do desenvolvimento sustentável⁽³⁾, torna-se, obviamente, necessário conseguir um sábio equilíbrio entre duas necessidades da sociedade, de importância idêntica: as infraestruturas de suporte de padrões de vida aceitáveis para a maioria dos habitantes do planeta, e a protecção do nosso ambiente. Sendo o mais importante parceiro no desenvolvimento das infraestruturas e um grande consumidor de recursos naturais esgotáveis, a indústria do betão tem a obrigação de incorporar tecnologias sensatas do ponto de vista ambiental.

Neste artigo identificam-se três elementos essenciais, inter-relacionados e interdependentes, para lançar os fundamentos sobre os quais pode ser construída a estrutura de uma indústria do betão amiga do ambiente: conservação⁽⁴⁾ dos materiais utilizados no fabrico do betão, melhoria da durabilidade das estruturas do betão e a passagem de uma abordagem reductionista para uma abordagem holística no ensino e na investigação da tecnologia do betão.

Equacionando o problema

De acordo com Gordon Sampat, no relatório de 1999 do World Watch Institute, um observador extraterrestre poderia, com lógica, concluir que a conversão de matérias primas em detritos é a verdadeira finalidade da actividade humana no planeta Terra.

A julgar pelo elevado número de projectos de infraestruturas em execução na Europa Ocidental, América do Norte e Japão, é óbvio que o mundo industrialmente desenvolvido não está a reduzir o uso dos limitados recursos naturais da terra. Ao mesmo tempo, o mundo menos desenvolvido acelerou grandemente o ritmo de industrialização, na busca de uma vida melhor para as massas empobrecidas. Será, obviamente, inevitável um desastre ambiental global, a menos que quer o mundo industrialmente rico, quer o industrialmente pobre, assumam

em partes iguais a responsabilidade de encontrar e adoptar tecnologias para o desenvolvimento sustentável.

Tecnologia do betão para o desenvolvimento sustentável

Identificados os três elementos necessários para suportar uma tecnologia do betão para o desenvolvimento sustentável e amiga do ambiente, analisemos, agora, os referidos elementos.

Conservação dos materiais para o fabrico do betão

Um primeiro passo para o objectivo do desenvolvimento sustentável para as indústrias do cimento e do betão é a utilização integral dos subprodutos cimentícios e pozolânicos das centrais eléctricas e da indústria metalúrgica.

De acordo com Manz [3], foram produzidas, em 1992, 500 milhões de toneladas de cinzas de carvão em todo o mundo, tendo sido usadas como pozolana pela indústria do cimento e do betão apenas 32 milhões de toneladas, o que representa, aproximadamente, 7% do total disponível. A produção anual actual de cinzas de carvão é estimada em 650 milhões de toneladas, das quais, pelo menos, 70%, ou 450 milhões de toneladas, são cinzas volantes ou muito finas, geralmente adequadas ao uso como pozolanas.

Em artigo anterior [2], o autor demonstra que se se conseguir encontrar maneira de usar a maior parte das cinzas de carvão e, também, escórias de alto forno, seja sob a forma de cimento portland composto, seja como aditivos minerais do betão, será possível satisfazer a procura de cimento no ano 2005, sem nenhum aumento da actual capacidade de produção de clínquer de cimento portland. Poder-se-á assegurar, desta forma, o desenvolvimento sustentável das indústrias do betão e do cimento.

Considerando os benefícios ecológicos adicionais a seguir descritos, dificilmente se poderá imaginar uma melhor solução para o problema.

Cerca de 90% das cinzas de carvão e escórias metalúrgicas hoje produzidas acabam em aplicações de baixo valor, como aterros e bases de estradas ou são simplesmente depositadas por espalhamento ou amontoamento. Este modo de depósito é não só um desperdício mas, também, um perigo para a saúde humana, dado o contributo destes materiais para a con-

stentável ⁽¹⁾

taminação do solo, do ar e dos aquíferos. Estes subprodutos contêm geralmente metais tóxicos. A indústria do betão constitui um veículo preferencial para o seu uso/depósito, porque os metais mais perigosos podem ser imobilizados e incorporados com segurança nos produtos de hidratação do cimento. De facto, devido à sua grande dimensão, a indústria do betão é provavelmente o destino ideal de depósito seguro e económico para milhões de toneladas de subprodutos. Ensaio de lixiviação [4] permitiram concluir que para elementos de betão de grandes dimensões, com pequenas relações superfície/volume, este efeito será insignificante.

Dadas as enormes vantagens numa substituição em grande escala do cimento por pozolanas e subprodutos cimentícios, será realmente possível acelerar o seu uso nas indústrias de cimento e betão, como aqui se defende? Num anterior artigo [2], o autor analisava em pormenor os grandes obstáculos que impedem elevadas taxas de utilização de subprodutos industriais no betão, apresentava sugestões para ultrapassar esses obstáculos e exemplos da utilização de grandes volumes de cinzas volantes. Conhecem-se aplicações em obra de betão estrutural de elevada qualidade com até 60% [1,5], e mesmo 80% [6] de substituição do cimento por cinzas volantes das classes F e C da ASTM.

Aumento de durabilidade das estruturas de betão

É um facto conhecido que as principais causas da deterioração das estruturas de betão armado são a corrosão do aço das armaduras, a exposição aos ciclos de gelo e degelo, à reacção alcali-silica e ao ataque dos sulfatos. A partir de uma passagem em revista de exemplos de degradação do betão, o autor [7] desenvolveu uma abordagem holística, englobando as grandes causas de deterioração do betão. Esta abordagem baseia-se na experiência de obra, que mostra que, em qualquer destas quatro causas de deterioração do betão, a existência de uma elevada grau de saturação de água é um pré-requisito do mecanismo responsável pela expansão e fissuração do betão. Comparativamente a outras propriedades, a integridade e a solidez do betão, isto é, a ausência de fissuração, está intimamente relacionada com a durabilidade. Um relatório exaustivo [8] mostrou que a prática moderna da construção em betão não dá a devida atenção às duas principais causas da fissuração precoce, nomeadamente, a contracção térmica e a retracção de secagem.

Procurando responder à necessidade de uma construção rápida, as composições do betão tendem hoje a incluir uma percentagem elevada de cimento normal ou de elevada resistência inicial. A extensibilidade ou resistência à fissuração destes betões é baixa devido, por um lado, ao aumento da retracção de secagem, da retracção térmica e do módulo de elasticidade e, por outro lado, à redução do coeficiente de fluência. É por esta razão que as composições dos betões de

Conservação e Restauro de Património Monumental, Lda.



5 Anos a dar Futuro ao Passado

Parque Industrial de Coimbrões, Edifício Expobeiras,
Area BIC • 3500-618 VISEU
Telef. 232 470 200 • Fax 232 470 201
Telem. 96 9091629 • Telem. 96 6642567
e-mail: arqueohoje@clix.pt

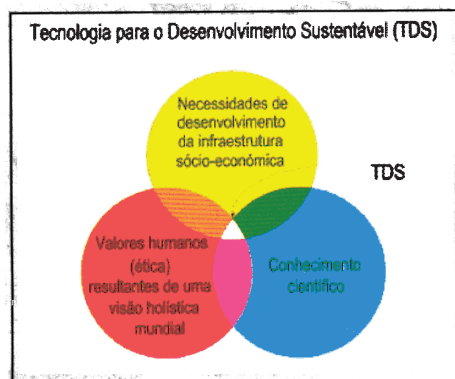


Figura 1

problemas da durabilidade do betão.

Em resumo, de acordo com a abordagem holística da deterioração do betão, um betão bem proporcionado e devidamente compactado e curado manter-se-á estanque, enquanto os poros e as fissuras presentes no seu interior não formarem uma rede de caminhos conduzindo à superfície. As acções estruturais, bem como os efeitos ambientais, tais como a exposição a ciclos de aquecimento e arrefecimento, e molhagem e secagem, facilitam a propagação das micro-fissuras que normalmente existem na zona de transição entre a argamassa de cimento e o inerte grosso do betão. Isto acontece durante a primeira fase da interacção estrutura/ambiente. Uma vez perdida a estanquidade do betão, ele pode tornar-se saturado, e os iões prejudiciais podem penetrar no seu interior. Esta ocorrência marca o início da segunda fase da interacção estrutura/ambiente, durante a qual a deterioração do betão se dá através de sucessivos ciclos de expansão, fissuração, perda de massa e aumento da permeabilidade.

Quando a fissuração térmica e a durabilidade são questões fundamentais, mostra a experiência que a solução mais económica é a substituição da parte do cimento portland por cinzas volantes ou escórias respeitando, ao mesmo tempo, os requisitos de presa e endurecimento da obra sob determinadas condições ambientais.

Abordagem holística da investigação e educação na tecnologia do betão

A abordagem reducionista que tem prevalecido é hoje responsável por muitas práticas dispendiosas no âmbito da tecnologia do betão. Em resultado, as especificações e métodos de ensaio para a durabilidade do betão não têm conseguido ter em conta que a durabilidade não é uma propriedade intrínseca, dependente apenas dos ingredientes do betão e das proporções da mistura: é, antes, um critério de desempenho holístico (respeitante ao conjunto da estrutura), que é determinado por vários outros factores, incluindo as condições de exposição ao ambiente, o projecto estrutural e a tecnologia de processamento do betão.

Obviamente, para desenvolver uma tecnologia do betão holística o processo tem de começar nas universidades. Ora, um levantamento das escolas de engenharia civil feito em 1995 na América do Norte, mostrou que menos de metade das instituições participantes no inquérito que responderam ofereciam um curso opcional, semestral, de tecnologia do betão. Quase nenhuns dos cursos eram oferecidos ao nível da pós-graduação e só alguns estudantes participavam em investigação experimental sobre betão. O ensino da tecnologia do betão precisa,

elevada resistência inicial são mais vulneráveis à fissuração que as composições dos betões de resistências moderadas ou baixas. Tradicionalmente, a fissuração estrutural é controlada através do uso de armaduras suficientes mas a substituição de umas quantas grandes fissuras por numerosas micro-fissuras invisíveis ou difíceis de medir não é uma boa solução para os

obviamente, de uma completa reestruturação antes de ser capaz de responder às necessidades prementes da sociedade.

A fig. 1 mostra um modelo simplificado da evolução da tecnologia para o desenvolvimento sustentável. Os três círculos, apenas com uma pequena sobreposição entre eles, representam o estado da arte. Só haverá um crescimento significativo da área ocupada pela TDS (tecnologia para o desenvolvimento sustentável) quando houver uma considerável sobreposição entre os círculos.

Conclusão

Não devemos esperar que sejam os desastres ambientais a ensinarem-nos como chegar ao desenvolvimento sustentável. Devemos, pelo contrário, ser capazes de visualizar e reformular a nossa vida neste planeta, de uma forma que permita um bem-estar duradouro, em vez de pôr em risco a sobrevivência das futuras gerações. Um novo século e um novo milénio estão iminentes. É a altura apropriada para ter em conta as necessidades futuras da sociedade e o modo como elas podem afectar a indústria do betão. Entre as forças que moldam o mundo de amanhã estão um crescimento da população sem precedentes, uma crescente industrialização e urbanização e ameaças de uma poluição descontrolada do ambiente. Em resumo, o desenvolvimento sustentável emergiu como a principal questão para o próximo século.

Sendo a indústria do betão o parceiro mais importante na resposta às necessidades infraestruturais da sociedade e o maior consumidor de recursos naturais, o processo do desenvolvimento sustentável poderá começar pela adopção de tecnologias que permitam conservar os materiais, de métodos de melhoria da durabilidade das estruturas e da prossecução de uma investigação e de um ensino holísticos da tecnologia do betão.

¹Traduzido e adaptado por V. Córias e Silva a partir do texto de P. Kumar Mehta "Concrete Technology for Sustainable Development" publicado na revista *Concrete International*, Novembro de 1999, págs. 47-53.

²P. Kumar Mehta é professor jubilado de engenharia civil na Universidade da Califórnia, Berkeley, recentemente reformado após 30 anos de Faculdade. É membro conselheiro do ACI (American Concrete Institute) e autor de numerosos artigos sobre as propriedades do betão e materiais de construção cimentícios.

³Definido na Cimeira da Terra de 1982, no Rio de Janeiro, como a actividade económica em harmonia com o ecossistema terrestre. "O termo "conservação" é aqui utilizado no sentido do termo inglês "conservation", isto é, preservação, poupança

BIBLIOGRAFIA:

1. MALHOTRA, V.M. "Making Concrete Greener with Fly Ash." *Concrete International*, V. 21, No. 5, May 1999, pp. 61-66.
2. MEHTA, P.K. "Role of pozzolanic and Cementitious Materials in Sustainable Development of the Concrete Industry." *Fly Ash, Slag, Silica Fume and Other Natural Pozzolans*, SP-178, V.M. Malhotra, ed., American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1998, pp. 1-20.
3. MANZ, O. E. "Worldwide Production of Coal Ash and Utilization in Concrete and Other Products." *Fuel*, V. 76, No. 8, 1997, pp. 691-696.
4. SCHIESSL, P. AND HOHBERG, I. "Environmental Compatibility of Cement-Based Building Materials." *Proceedings of the Mario Collepardi Symposium on Advances in Concrete Technology*, 1997, pp. 27-48.
5. LANGLEY, W. S. and Leamen, G. H. "Practical Uses of High-Volume Fly Ash in Concrete Utilizing a Low-Calcium Fly Ash." *Fly Ash, Slag, Silica Fume and Other Natural Pozzolans*, SP-178, V.M. Malhotra, ed., American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1998, pp. 545-574.
6. MEHTA, P. K. "Advancements in Concrete Technology." *Concrete International*, V. 21, No. 6, June 1999, pp. 69-76.
7. Mehta, P.K. "Durability - Critical Issues for the Future." *Concrete International*, V. 19, No. 7, July 1997, pp. 69-76.
8. Burrows, R. W. "The Visible and Invisible Cracking of Concrete." Monograph No. 11, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1999, 78 pp.