

BETÃO LEVE ESTRUTURAL USANDO AGREGADOS DE ARGILA EXPANDIDA



B. SILVA
Engº Civil
FEUP
Porto



J. COUTINHO
Prof. Auxiliar
FEUP
Porto



S. NEVES
Prof. Associado
FEUP
Porto

SUMÁRIO

Nas estruturas de Betão Estrutural o peso próprio constitui uma acção geralmente predominante no dimensionamento das mesmas. Se a estrutura é pré-fabricada, então o peso próprio assume uma importância ainda maior. Neste contexto, o betão leve com agregados de argila expandida surge como material alternativo. Nesta comunicação apresenta-se a caracterização dos agregados, estudos de composição e resultados de ensaios de resistência.

1. INTRODUÇÃO

A utilização de betão leve de agregados de argila expandida entre nós, tem já um enorme historial. Este pode ser usado para fabricar qualquer tipo de elemento de betão armado ou pré-esforçado, quer seja construído “in situ” ou pré-fabricado. A sua aplicação permite, entre outras vantagens, a redução das secções transversais dos elementos estruturais e das dimensões das fundações e a redução do peso dos materiais a manipular em obra com conseqüente aumento de produtividade, permitindo ainda o aumento do isolamento térmico no produto acabado.

Hoje em dia, são muitos os ramos de engenharia onde este tipo de betão leve está a ser utilizado. São de destacar os edifícios de grande porte, como por exemplo, as Marina City Towers construídas em 1962 em Chicago, com 180m de altura, pontes de grandes dimensões e com as mais variadas tipologias (atirantadas, flutuantes, por avanços sucessivos, etc.), sendo por exemplo de referenciar entre nós o alargamento da ponte 25 de Abril, em que foi utilizado um betão leve de elevada resistência que aos 28 dias era já superior a 50 Mpa. Na

pré-fabricação é usado na construção de vigas rectangulares em I ou em caixão, painéis e lajes alveolares, bancadas e degraus de estádios, etc., sendo de destacar a cobertura do estádio de Newcastle [1].

Em Portugal, a obra mais mediática em que foi utilizado este tipo de betão, é a pala do pavilhão de Portugal na EXPO98, que constitui uma das mais bonitas obras de engenharia dos nossos dias.

Neste trabalho, pretende-se realizar uma caracterização do agregado leve de argila expandida, bem como a classificação do betão leve obtido com tal agregado, dando-se a conhecer o trabalho que está a ser realizado no Laboratório de Materiais de Construção na FEUP.

2. ARGILA EXPANDIDA

2.1 Processo de fabrico

A produção de argila expandida inicia-se com a extracção da matéria-prima no barreiro, seguindo para a fábrica, onde as argilas são seleccionadas e preparadas para a conformação. A argila é misturada com substâncias que aumentam a sua expansibilidade (p.ex: carvão, pirite, dolomite, etc.), sendo a mistura introduzida no forno de secagem para passar posteriormente ao forno de expansão, de maior diâmetro e rodando em torno do mesmo eixo. Estes fornos são geralmente circulares rotativos, com um eixo ligeiramente inclinado e um comprimento entre os 30 e os 60 metros. A mistura, ao ser introduzida no forno de secagem, vai ser gradualmente seca a temperaturas a rondar os 800 °C, sendo no forno de expansão que ocorre a fusão da argila a uma temperatura próxima dos 1200 °C. Após esta cozedura, os agregados caem numa grelha onde se dá o arrefecimento, sendo posteriormente crivados e armazenados por classes. Através deste processo, a argila transforma-se em grânulos esféricos com uma estrutura interna alveolar e com uma superfície externa dura e clinkerizada de cor castanha.

2.2 Forma e aspecto exterior dos grãos

A forma dos agregados leves é dependente do processo usado no seu fabrico, podendo variar desde a angulosa à quase perfeitamente esférica, sendo esta última a ideal para o fabrico de betões de agregados leves de elevado desempenho.

Quanto ao seu aspecto exterior, apresenta uma casca de cor acastanhada, razoavelmente fechada e de superfície pouco rugosa. Esta casca encerra uma matéria de estrutura alveolar, que tem origem na formação de gases que se expandem no seu interior devido à acção das temperaturas elevadas no forno.

Para se poder definir de uma forma mais clara as propriedades geométricas da argila expandida utilizada, foi realizado o ensaio preconizado na norma NP EN 933-5 (“Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 5: Determinação de superfícies esmagadas e partidas nos agregados grossos”). Este ensaio tem como principal objectivo, a classificação

manual das partículas de um provete de ensaio para a determinação da percentagem de partículas com superfícies esmagadas e partidas numa amostra. Os resultados obtidos constam da tabela 1. Foram usadas amostras de diferentes granulometrias, com as referências “LECA 2/4” e “LECA 3/8”.

Tabela 1- Determinação da percentagem de superfícies esmagadas e partidas nos grãos

	LECA 2/4	LECA 3/8
Partícula totalmente esmagada ou partida	24%	24%
Partícula esmagada ou partida	21%	15%
Partícula arredondada	27%	15%
Partícula totalmente arredondada	29%	46%

2.3 Características granulométricas

A dimensão individual das partículas, assim como a sua granulometria, tem uma grande influência nas propriedades do betão leve e relacionam-se com outras características destes materiais. É de destacar, que as partículas de menor dimensão apresentam uma maior resistência, sendo por sua vez, também muito mais densas e rígidas.

A determinação das granulometrias dos agregados leves de argila expandida faz-se de modo idêntico ao usado nos agregados correntemente utilizados. As curvas granulométricas foram obtidas segundo a EN 933-1 (“Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 1: Análise granulométrica. Método de peneiração”). Os valores correspondentes a cada uma das curvas estão expressos na tabela 2, onde se indica também o módulo de finura e a máxima dimensão (D) dos agregados.

Tabela 2- Granulometria segundo a EN 933-1

Abertura do peneiro (mm)	Material passado (%)	
	LECA 2/4	LECA 3/8
31,5	100	100
16	100	100
8	100	60
4	44	2
2	2	1
1	1	1
0,500	1	1
0,250	1	1
Mód. Finura	5,153	6,187
D (mm)	8	16

De acordo com a EN 13055-1, podem-se designar os agregados de acordo com as suas dimensões mínima e máxima, d e D respectivamente. Estas dimensões são referidas às séries de aberturas indicadas na Tabela 1 da secção 4.3 da referida norma. Assim pode-se classificar a LECA 2/4 com a seguinte designação comum: 2,0/8,0 e a LECA 3/8 por: 4,0/16,0.

Tendo em consideração a definição de finos indicada na EN 13055-1 como a percentagem de partículas do agregado que passa no peneiro de abertura de 0,063mm, a partir da determinação das curvas granulométricas registou-se a quantidade de finos em cada uma das amostras, estando esses valores apresentados na tabela 3.

Tabela 3 - Percentagem de finos

Agregado	Finos (%)
LECA 2/4	1,10
LECA 3/8	1,06

2.4 Baridade

A baridade dos agregados, também denominada como densidade aparente, define-se como sendo a relação entre a massa de uma quantidade de agregados e o volume ocupado pelos mesmos incluindo vazios. O enchimento do recipiente de medida com os grãos é feito sem qualquer compactação.

A determinação da baridade dos agregados em amostra não compactada (tabela 4), realizou-se segundo o procedimento descrito na EN 1097-3 (“Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 3: Determinação da baridade e do volume de vazios”).

Tabela 4- Baridade em amostra não compactada

Agregado	Baridade (kg/m ³)
LECA 2/4	585
LECA 3/8	445

2.5 Massa volúmica

A massa volúmica é a relação entre a massa e o volume total dos grãos com os poros incluídos, sendo a porosidade um factor que muito a condiciona.

A determinação da massa volúmica das partículas secas e das partículas saturadas com superfície seca, realizou-se segundo o procedimento descrito na NP 581 (“Inertes para argamassas e betões. Determinação das massas volúmicas e da absorção de água de britas e de godos”).

Tabela 5- Massa volúmica das partículas secas e saturadas com superfície seca

	LECA 2/4	LECA 3/8
Partículas saturadas com superfície seca (kg/m ³)	1095	1327
Partículas secas (kg/m ³)	966	1118

2.6 Absorção

A absorção, que representa a relação entre a massa de água absorvida e a massa das partículas no estado anidro, é uma das características mais importantes dos agregados leves, pela influência que tem no desempenho do betão tanto no estado fresco como no estado endurecido.

A totalidade da água absorvida (estado de saturação), assim como a evolução da intromissão da água ao longo do tempo, dependem do valor da porosidade, da distribuição e ligação entre poros, das características da superfície e da água já contida.

A determinação da absorção de água à pressão atmosférica foi realizada segundo a NP 581, efectuando-se medições desta propriedade para vários períodos de tempo (tabela 6), com o objectivo de avaliar a sua evolução.

Tabela 6- Evolução da quantidade de água absorvida pelos agregados leves em função do tempo de imersão

Absorção (%)	2 minutos	5 minutos	10 minutos	20 minutos	30 minutos	1hora	2horas	24horas
LECA 2/4	6,31	6,45	6,54	7,19	7,41	7,84	8,50	13,30
LECA 3/8	7,41	8,19	8,77	9,55	9,75	10,53	10,92	18,70

2.7 Resistência dos grãos ao esmagamento

A resistência ao esmagamento é por definição a força necessária para comprimir a certa profundidade os agregados contidos num dado recipiente.

Devido às pequenas dimensões dos grãos não é possível determinar a resistência do mesmo modo que para os betões e pedras. A porosidade dos grãos de argila expandida influenciam a sua resistência no que diz respeito ao tamanho, à forma, à superfície, ao tipo e à distribuição dos poros.

A resistência dos grãos ao esmagamento foi obtida segundo a EN 13055-1, com ligeiros ajustes às dimensões do molde preconizado na norma (tabela 7).

Tabela 7- Resistência do agregado leve por esmagamento

	Resistência (MPa)
LECA 2/4	1,3
LECA 3/8	0,6

2.8 Propriedades químicas

Realizaram-se um conjunto de ensaios químicos com o objectivo de verificar se os agregados de argila expandida possuem propriedades satisfatórias para serem incorporados em betão, não representando perigo para reacções que possam levar à ruína das estruturas.

Apresentam-se os valores obtidos para a referida análise química, onde são também referenciadas as normas que serviram de suporte aos referidos ensaios.

Tabela 8- Propriedades químicas dos agregados de argila expandida

ENSAIOS	RESULTADOS
Teor em cloretos (EN 1744-1)	0,00%
Sulfatos solúveis em ácido (EN 1744-1)	0,09%
Enxofre total (EN 1744-1)	0,13%
Reactividade potencial com os álcalis do cimento (E159)	Negativo

3. AGREGADO FINO, LIGANTE E ADJUVANTE

O agregado fino utilizado foi uma areia fina, com uma baridade seca de 1467kg/m^3 . A análise granulométrica foi obtida segundo a EN 933-1.

Como ligante usou-se um cimento Portland do tipo I-42,5 R, de acordo com as definições indicadas no documento normativo NP 2064. O cimento foi fornecido a granel. Foi escolhida esta classe de cimento para permitir que o betão venha a ter uma mais elevada classe de resistência à compressão.

O adjuvante utilizado foi um superplastificante da terceira geração para betão, com o objectivo de obter betões de melhor desempenho, reduzindo a relação A/C e mantendo uma consistência fluida. Este tipo de adjuvante, foi também o escolhido por permitir que o betão possa ser fabricado no estaleiro e posteriormente, transportado para locais distantes mantendo a consistência ou para betonagens demoradas. Este apresenta uma massa volúmica de cerca de $1,05\text{kg/l}$ e um pH aproximado de 5,0.

A água utilizada em todas as amassaduras é potável, proveniente da rede pública de abastecimento do Porto. Logo de acordo com a NP ENV 206 as suas características são satisfatórias podendo ser utilizada como água de amassadura no fabrico de betões.

4. ESTUDO DE COMPOSIÇÕES DO BETÃO

Os materiais adoptados para a produção de betões foram os referidos anteriormente, isto é, as duas fracções de agregado de argila expandida, uma areia fina, um cimento tipo I 42,5 R e um adjuvante superplastificante, para além da água.

Como parâmetros principais para a escolha do betão a utilizar, adoptou-se uma relação A/C de cerca de 0,45, uma consistência de pelo menos 18cm e uma dosagem de ligante de 340kg/m³ de cimento. Importa referir também que estão a ser estudadas composições em que a quantidade do cimento é de 500kg/m³ melhorando assim a durabilidade do betão.

A determinação das composições foi efectuada com o recurso a um programa de cálculo automático BECOMP, desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Foi aplicada a fórmula de Faury, tendo sido os parâmetros A e B necessários para o estudo, ajustados de forma adequada.

O valor escolhido para a trabalhabilidade, teve em conta a necessidade de obter um betão com bom desempenho, quer seja produzido na obra quer em centrais de betão pronto.

A dosagem de adjuvante foi ajustada em função da consistência pretendida, através de várias amassaduras experimentais.

5. ENSAIOS DE RESISTÊNCIA DO BETÃO

Na formulação das composições utilizou-se agregado seco, de forma a poder controlar a água do sistema, uma vez que uma das características mais importantes nos agregados leves de argila expandida é a sua absorção. A quantidade de água a ter em conta devido à absorção pelos agregados, corresponde à capacidade de absorção destes durante 30 minutos à pressão atmosférica.

As composições ensaiadas estão apresentadas na tabela 9. Estão em curso estudos sobre outras composições, em que a quantidade de cimento é de 500kg/m³.

Tabela 9- Composições estudadas

	AGREGADOS		Areia Fina (kg/m ³)	Cimento (kg/m ³)	Água (l/m ³)	Adjuvante (l/m ³)	A/C
	LECA 2/4 (kg/m ³)	LECA 3/8 (kg/m ³)					
COMP. 1	222	215,5	417,5	340	154	5,75	0.453
COMP. 2	329.5	-	535	340	154	6	0.453

As amassaduras foram executadas numa misturadora com capacidade para 40 l, sendo a compactação do betão efectuada com o recurso a um vibrador de agulha. É importante referir que para ensaios posteriores onde os moldes não são prismas nem cubos, utilizar-se-á uma

mesa vibratória de forma a minimizar a segregação, que neste tipo de betões assume particular importância.

Na tabela 10 apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão em cubos de 15cm já realizados.

Tabela 10- Ensaios de resistência em cubos

	Massa Volúmica (kg/m ³)	Trabalhabilidade (cm)	Resistência Compressão	
			7dias (MPa)	28 dias (MPa)
COMP. 1	1475	17,5	23,3	27,5
COMP. 2	1675	17,0	35,1	36,0

6. CONCLUSÕES

Devido a este tipo de betão ser leve e apresentar um conjunto de características interessantes, cada vez mais é mais utilizado entre nós, proporcionando a redução dos esforços nos elementos estruturais, e conduzindo a uma redução de custos. É que tal redução de esforços conduz, não só a uma redução do volume de betão utilizado como também a uma redução de armaduras, mão de obra e cofragens.

Nos estudos em curso, os resultados já obtidos permitem concluir que é possível realizar com o uso de agregados de argila expandida um betão leve (1600kg/m³) com características de resistência semelhantes aos betões correntemente utilizados.

Estão em curso ensaios de composição e resistência de betões leves, em elevado número, que por certo permitirão caracterizar melhor o campo de aplicação deste betão estrutural.

7. REFERÊNCIAS

- [1] Vieira, M. - Betões de elevado desempenho com agregados leves. Durabilidade e microestrutura. Dissertação de Mestrado. IST, Lisboa. 2000.
- [2] Lourenço, J. - “Estudos de composição para a produção de betões de agregados leves de argila expandida – Parte I”, revista BETÃO, 2000, p. 21-27.
- [3] Lourenço, J. - “Estudos de composição para a produção de betões de agregados leves de argila expandida – Parte II”, revista BETÃO, 2001, p. 35-40.
- [4] Lourenço, J. *et al.* - Betões de agregados leves de argila expandida, APEB, 2004, p. 85-134.