

Estudo da influência de cargas leves nas propriedades de uma argamassa bastarda

Rui A. Ribeiro

Saint Gobain Weber Cimenfix, rui.ribeiro@weber-cimenfix.com

Luís M. Silva

Saint Gobain Weber Cimenfix, luis.silva@weber-cimenfix.com

Vítor M. Ferreira

Secção Autónoma de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, CICECO, Portugal, victorf@civil.ua.pt

João A. Labrincha

Departamento de Engenharia Cerâmica e Vidro da Universidade de Aveiro, CICECO, Portugal, jal@cv.ua.pt

Resumo: Este trabalho consiste no estudo da influência da adição de vermiculite expandida e perlite nas propriedades de uma argamassa bastarda de cimento/cal/areia na proporção 1:1:6. Para o efeito, fez-se a adição de várias percentagens das cargas em análise e avaliou-se a sua acção sobre as propriedades da pasta e de produto endurecido.

Relativamente às propriedades da pasta, fez-se a avaliação da massa volúmica aparente, do teor de ar e do poder de retenção de água; relativamente ao produto endurecido, fez-se a avaliação das propriedades mecânicas, da porosidade aberta e da capilaridade.

Em termos de análise, dá-se especial atenção à comparação entre os dois materiais relativamente à sua eficiência em tornar a argamassa mais ligeira.

Considerando os resultados obtidos, faz-se uma abordagem da possível aplicação destas argamassas como uma alternativa à reabilitação de fachadas antigas.

Palavras-chave: argamassas; cargas leves; vermiculite; perlite.

1. INTRODUÇÃO

Actualmente, podem encontrar-se no mercado diferentes tipos de agregados leves para propósitos de construção, cuja escolha é feita de acordo com a composição, densidade, textura superficial, capacidade de absorção de água, capacidade de isolamento térmico e acústico. Estudos recentes indicam, inclusive, que argamassas formuladas com agregados leves apresentam melhor resistência ao ataque de sulfatos [1,2]. Entre os agregados mais comuns, encontram-se as argilas expandidas, o vidro expandido, a perlite, a vermiculite expandida e cinzas sintetizadas.

Muitos agregados leves contêm uma fase vítrea e/ou minerais sensíveis a álcalis e, portanto, devem ser tratados como potencialmente reactivos em argamassas de cimento. De facto, eles podem reagir expansivamente com pequenas quantidades de alcalis presentes no cimento, e a reacção sílica-álcalis pode dar origem a efeitos indesejados como expansão ou eflorescências [3,4].

Por isso, a norma europeia EN13055-1, admitindo a possibilidade desta reacção, prescreve medidas preventivas, como dosagens em betão, combinações com agregados não reactivos, limites de saturação da argamassa com água e outros, mas não prescreve quaisquer especificações sobre métodos de ensaio específicos para avaliação dos efeitos da adição da carga ligeira.

Por outro lado, o comportamento das argamassas tradicionais, traduzido normalmente por elevados módulos de elasticidade e elevadas densidades, fornece aos fabricantes de argamassas indícios, aliados ao factor económico, sobre a necessidade da produção de sistemas mais ligeiros. Para o efeito, o processo mais usado passa pela adição de agentes introdutores de ar e de cargas leves [5,6,7].

Assim, o presente trabalho tem por objectivo o estudo do efeito da adição de cargas ligeiras, como a perlite e a vermiculite, sobre uma argamassa bastarda, contendo ainda como aditivos um derivado celulósico e agente introdutor de ar. A perlite representa um tipo de carga reconhecido por apresentar potencial de reacção sílica-álcalis e, em contraste, a vermiculite não apresenta ocorrência desta reacção [4]. O estudo foi realizado no sentido de avaliar as propriedades da argamassa em pasta e endurecida com especial enfoque para as variações dimensionais, no sentido de avaliar possíveis efeitos nefastos para a argamassa.

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1. Preparação de argamassas

A tabela 1 apresenta a composição das argamassas usadas no presente estudo. O cimento usado foi Portland, tipo II, classe 32.5, cor cinza (Cimpor). A cal hidratada usada contém aproximadamente 97% de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, 2% de CaCO_3 e ~1% de água absorvida (valores do fornecedor - Calcasa). O agregado é do tipo silicioso com dimensões entre 1.0-0.160mm.

Tabela 1. Composição das argamassas testadas (% ponderal).

| Amostra | Cimento (%) | Cal (%) | Agregado (%) | Perlite (%) | Vermiculite (%) |
|---------|-------------|---------|--------------|-------------|-----------------|
| 0 | 12 | 12 | 76 | 0 | 0 |
| 1 | 12 | 12 | 74 | 2 | 0 |
| 2 | 12 | 12 | 72.5 | 3.5 | 0 |
| 3 | 12 | 12 | 71 | 5 | 0 |
| 4 | 12 | 12 | 66 | 10 | 0 |
| 5 | 12 | 12 | 74 | 0 | 2 |
| 6 | 12 | 12 | 72.5 | 0 | 3.5 |
| 7 | 12 | 12 | 71 | 0 | 5 |
| 8 | 12 | 12 | 66 | 0 | 10 |

Para cada uma das composições anteriores, adicionaram-se 0.10% de um derivado celulósico de viscosidade 20000mPa.s (solução a 2%; 20°C), 0.20% de estearato de cálcio, (95% de grau de pureza) (Ferro) e 0.010% de olefina-sulfonato de sódio (Clariant).

2.2. Cargas leves utilizadas

A figura 1 mostra a microestrutura característica das cargas leves estudadas, tal como é revelada por microscopia electrónica de varrimento (SEM, Hitachi S-4100).

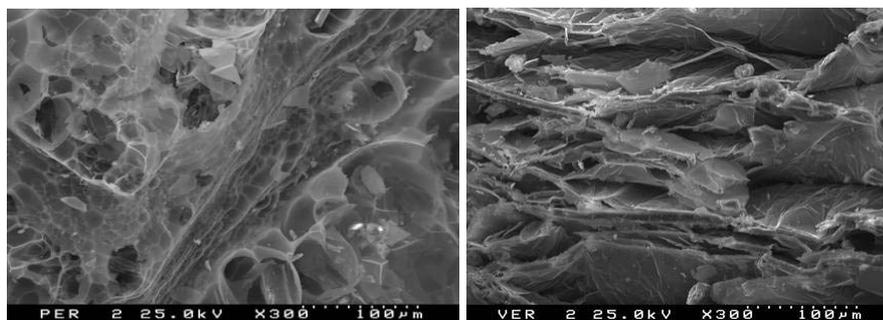


Figura 1. Imagem obtida por SEM relativa à perlite (à esquerda) e vermiculite (à direita).

A perlite corresponde à designação comercial “perlita B6”, comercializada pela empresa Europerlita, Lda. A vermiculite é comercializada pela firma Aguiar e Melo, Lda. A tabela 2 apresenta algumas das propriedades destes materiais. A superfície específica foi determinada por BET.

Tabela 2. Apresentação dos resultados relativos à perlite e vermiculite.

| Propriedade | Perlita B6 | Vermiculite |
|--|------------|-------------|
| Massa volúmica (kg/m^3) (EN 1097-6) | 40-60 | 100-140 |
| Distribuição de partícula (μm) (EN 933-1) | <315 | 315-1230 |
| Absorção de água (%) (EN 1097-6) | 470 | 310 |
| Superfície específica (m^2/g) | 1.83 | 6.36 |

2.3. Ensaio realizados

Para a caracterização do comportamento das argamassas em análise, procedeu-se a um conjunto de ensaios sobre o produto em pasta e sobre o produto endurecido que se indicam em seguida:

1. Determinação da massa volúmica aparente da pasta;
2. Determinação do teor de ar de uma pasta de argamassa;
3. Determinação da retracção livre;
4. Determinação da perda de massa;
5. Determinação do módulo de elasticidade dinâmico;
6. Determinação do módulo de ruptura à flexão e compressão;
7. Determinação do coeficiente de absorção de água por capilaridade;
8. Determinação da porosidade aberta;
9. Observação da microestrutura por imagens SEM.

3. RESULTADOS

3.1. Propriedades da pasta

Nas tabelas 3 e 4 são apresentadas propriedades de argamassas preparadas com diferentes quantidades de perlite e vermiculite, respectivamente. A figura 2 ilustra essas variações, tendo os ensaios sido efectuados segundo métodos sugeridos em [8].

Tabela 3. Variação da relação água/cimento, da densidade aparente da pasta e do teor de ar em função da percentagem de perlite.

| Amostra | Razão água/cimento | MVA (kg/m ³) | Teor ar (%) |
|---------|--------------------|--------------------------|-------------|
| 0 | 1.90 | 1530 | 24.0 |
| 1 | 2.40 | 1290 | 31.0 |
| 2 | 2.75 | 1230 | 31.0 |
| 3 | 3.15 | 1100 | 36.0 |
| 4 | 4.45 | 950 | 36.0 |

Tabela 4. Variação da relação água/cimento, da densidade aparente da pasta e do teor de ar em função da percentagem de vermiculite.

| Amostra | Razão água/cimento | MVA (kg/m ³) | Teor ar (%) |
|---------|--------------------|--------------------------|-------------|
| 0 | 1.90 | 1530 | 24.0 |
| 5 | 2.25 | 1310 | 30.0 |
| 6 | 2.50 | 1220 | 31.0 |
| 7 | 2.80 | 1140 | 36.0 |
| 8 | 3.50 | 1040 | 35.0 |

3.2. Retracção livre, perda de massa e coeficiente de absorção de água por capilaridade.

A realização destes ensaios seguiu também métodos indicados em [8]. Nas tabelas 5 e 6 apresenta-se a evolução da retracção, da perda de massa e do coeficiente de absorção de água em função da percentagem de perlite e vermiculite, respectivamente. A figura 3 apresenta a variação da retracção livre em função da percentagem ponderal de cargas ligeiras.

Tabela 5. Variação da retracção livre, perda de massa e coeficiente de absorção de água em função da percentagem de perlite.

| Amostra | Retracção (mm/m) | Perda de massa (g/kg) | C (kg/m ² .s ^{1/2}) |
|---------|------------------|-----------------------|--|
| 0 | 1.001 | 93.04 | 0.012 |
| 1 | 1.081 | 117.71 | 0.009 |
| 2 | 1.194 | 125.38 | 0.012 |
| 3 | 1.213 | 143.65 | 0.016 |
| 4 | 1.362 | 156.16 | 0.051 |

Tabela 6. Variação da retracção livre, da perda de massa e do coeficiente de absorção de água em função da percentagem de vermiculite.

| Amostra | Retracção (mm/m) | Perda de massa (g/kg) | C ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}$) |
|---------|------------------|-----------------------|--|
| 0 | 1.001 | 93.04 | 0.012 |
| 5 | 1.112 | 95.16 | 0.009 |
| 6 | 1.275 | 115.44 | 0.009 |
| 7 | 1.294 | 130.48 | 0.008 |
| 8 | 1.506 | 114.75 | 0.006 |

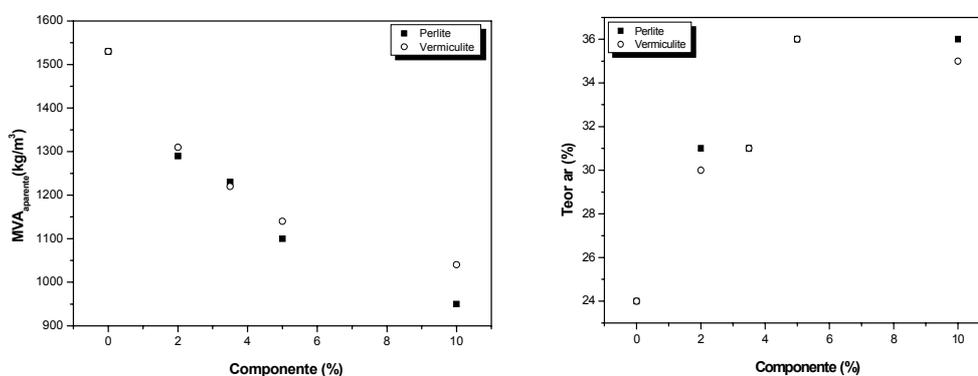


Figura 2. Variação da densidade aparente da pasta e do teor de ar em função da percentagem de introdução de perlite e vermiculite.

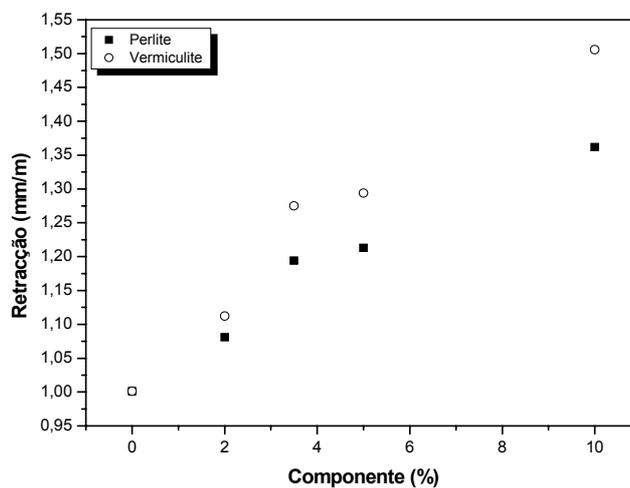


Figura 3. Variação da retracção livre em função da percentagem de cargas leves adicionada à argamassa.

3.3. Propriedades mecânicas do produto endurecido

A determinação das propriedades mecânicas foi realizada segundo os métodos de ensaio descritos em [8]. Os valores obtidos estão indicados nas tabelas 7 e 8 reflectindo, respectivamente, a adição de perlite e vermiculite.

Tabela 7. Variação da densidade aparente, das resistências à tracção por flexão e compressão, do módulo de elasticidade dinâmico e da porosidade em função da percentagem de perlite.

| Amostra | MVA (kg/m ³) | R _{flexão} (MPa) | R _{comp} (MPa) | E (MPa) | Porosidade (%) |
|---------|-----------------------------|------------------------------|----------------------------|---------|--------------------|
| 0 | 1330 | 1.56 | 3.56 | 5660 | 29.7 |
| 1 | 1120 | 0.84 | 1.46 | 3540 | 51.3 |
| 2 | 970 | 0.58 | 1.46 | 2410 | 57.8 |
| 3 | 970 | 0.46 | 1.20 | 2615 | 61.3 |
| 4 | 730 | 0.20 | 0.37 | 1050 | --- ⁽¹⁾ |

⁽¹⁾ Não mensurável devido à impossibilidade de saturação da amostra (por flutuação constante sobre a água)

Tabela 8. Variação da densidade aparente, das resistências à tracção por flexão e compressão, do módulo de elasticidade dinâmico e da porosidade em função da percentagem de vermiculite.

| Amostra | MVA (kg/m ³) | R _{flexão} (MPa) | R _{comp} (MPa) | E (MPa) | Porosidade (%) |
|---------|-----------------------------|------------------------------|----------------------------|---------|-------------------|
| 0 | 1330 | 1.56 | 3.56 | 5660 | 29.7 |
| 5 | 1150 | 1.14 | 2.11 | - | 43.0 |
| 6 | 1020 | 0.79 | 1.42 | 3165 | 56.8 |
| 7 | 930 | 0.55 | 1.03 | 2260 | 78.2 |
| 8 | 880 | 0.45 | 1.01 | 1835 | 88.8 |

Na figura 4 representa-se a variação da massa volúmica e porosidade em função da percentagem de cargas ligeiras adicionadas à argamassa. Por último, a figura 5 mostra imagens de SEM representativas de microestruturas de argamassas contendo perlite e vermiculite.

4. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

A análise das tabelas 3 e 4 permite observar que a adição de cargas ligeiras condiciona significativamente as propriedades da pasta, como é demonstrado pela variação da quantidade óptima de água de amassadura, da densidade da pasta e do teor de ar incorporado. Com efeito, verifica-se ser necessário aumentar a quantidade de água de amassadura quando se aumenta a quantidade de agentes leves, para assegurar a correcta trabalhabilidade da argamassa. Este efeito é mais significativo quando se adiciona perlite, provavelmente em consequência da presença de maior quantidade de finos na argamassa, uma vez que esta carga comporta partículas de menor tamanho, inferior a 315µm. A vermiculite possui partículas relativamente mais grosseiras (até 630µm, como se pode ver na tabela 2). Adicionalmente, observa-se que a perlite apresenta maior absorção de água.

Como era de esperar, a massa volúmica aparente da pasta diminui com o aumento da fracção de cargas leves, não só devido ao efeito directo da introdução de componentes ligeiros mas também em consequência do aumento da quantidade de ar introduzida na argamassa, tal como ilustra na figura 2. Uma análise comparativa mostra que a perlite induz maior redução na massa volúmica da pasta, em consequência directa da sua menor densidade (tabela 2). Esta tendência só seria invertida se o teor de ar na pasta fosse significativamente afectado pela natureza da carga ligeira utilizada, o que parece não se verificar.

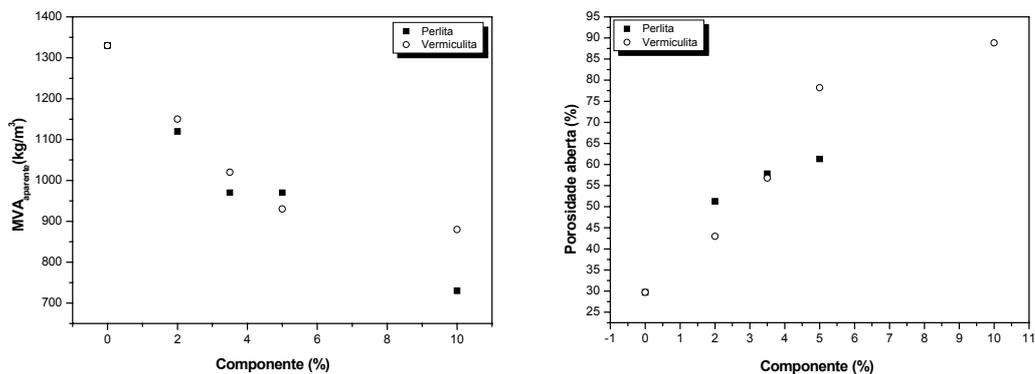


Figura 4. Variação da massa volúmica aparente e da porosidade em função da percentagem de perlite e vermiculite na argamassa endurecida.

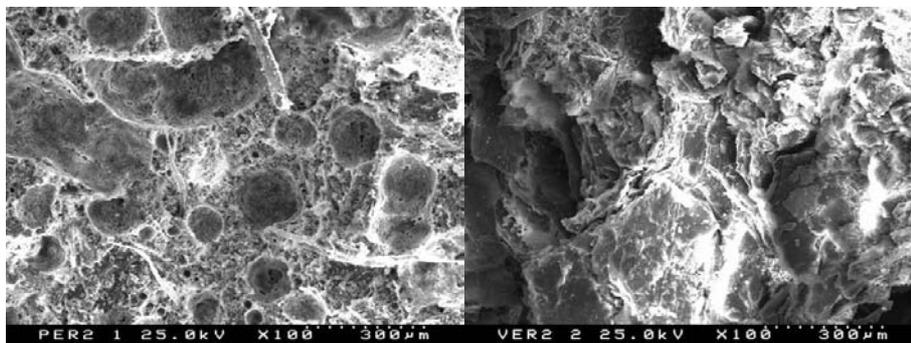


Figura 5. Microestruturas (SEM) de argamassa contendo 2% de cargas ligeiras: perlite à esquerda; vermiculite à direita.

Relativamente às propriedades do produto endurecido, verifica-se, do mesmo modo, uma forte influência dos agregados ligeiros. Por análise das tabelas 5 e 6, verifica-se que a retracção livre aumenta com o teor em agregados, registando-se, para adições acima de 2%, valores muito acima de 1.2mm/m, que define o limite de argamassas fortemente susceptíveis a fendilhamento [9]. Este aumento da retracção livre segue uma evolução sensivelmente linear em função do teor de cargas leves, tal como se ilustra na figura 3, e

justifica-se por duas razões: (i) aumento da quantidade de água de amassadura; (ii) criação de maior volume de vazios na estrutura da argamassa e superior compressibilidade. O efeito da vermiculite é mais efectivo que o da perlite, em consequência da provável ocorrência de reacções sílica-álcalis com a adição de perlite, cujo carácter expansivo tende a contrariar a retracção.

A observação das tabelas 5 e 6 revela ainda que a perda de massa aumenta significativamente com aumento da quantidade de cargas leves, como consequência óbvia da superior quantidade de água adicionada na fase de preparação da pasta. Por outro lado, a variação do coeficiente de absorção de água por capilaridade apresenta comportamento antagónico com o uso de perlite e vermiculite; com efeito, o aumento do teor em perlite induz aumento daquele valor (com excepção da composição formulada com 2%), enquanto que o aumento da quantidade de vermiculite origina uma redução progressiva do coeficiente de absorção de água por capilaridade. Este efeito dispar sugere desenvolvimentos microestruturais diferentes com os dois aditivos, tal como parece observar-se na figura 5 (imagens de SEM). A microestrutura da argamassa formulada com perlite apresenta partículas mais esféricas e maior volume de vazios, enquanto que as argamassas com vermiculite são mais compactas e contêm partículas de forma laminar, ou seja, semelhante à da própria matéria-prima (figura 1). O volume de poros e a sua dimensão média e forma (não avaliadas) condicionam a absorção de água por capilaridade, de acordo com a equação seguinte [10]:

$$v = \frac{r}{4\mu L} \gamma \cos \theta \quad (1)$$

onde v representa a velocidade média de ascensão no poro, r o raio do poro, μ a viscosidade do fluido, L corresponde ao comprimento do capilar, γ é a tensão superficial e θ o ângulo de contacto entre o fluido e a superfície sólida.

Os poros vazios de maior dimensão são preenchidos a velocidade superior, sendo de esperar que as argamassas com perlite possuam poros desse tipo. Além disso, o volume superior de poros das argamassas preparadas com perlite (< MVA), pode assegurar maior conectividade entre os poros, outro pressuposto fundamental para uma efectiva acção capilar. Nas argamassas com perlite não é óbvia a causa para o decréscimo do coeficiente de absorção de água com reduzidos teores de carga leve. Uma possível justificação reside na tendência para a formação de poros de maiores dimensões na vizinhança dos agregados comuns (areia), tal como foi relatado em estudos recentes [1]. Para além da distribuição de tamanhos, da forma e quantidade de poros, realça-se assim a importância da sua distribuição espacial na definição do nível de absorção por capilaridade.

A análise das tabelas 7 e 8 permite inferir o efeito do teor e natureza das cargas leves sobre as propriedades mecânicas das argamassas. É óbvia a diminuição substancial do módulo de ruptura à flexão com o aumento da percentagem de perlite ou vermiculite. Da mesma forma, a resistência à compressão e módulo de elasticidade dinâmico decrescem fortemente com o incremento da quantidade de componentes leves. Em casos extremos, para adições próximas de 10%, formam-se estruturas sem qualquer resistência ou coesão. No entanto, e como seria de esperar, a adição destas cargas permite, com alguma facilidade, obter materiais com módulos de elasticidade dinâmica perfeitamente adaptados a vários tipos de obras.

A análise da figura 4 indica uma diminuição da massa volúmica aparente das argamassas endurecidas com o aumento da quantidade de cargas leves. Esta evolução é coerente com a explicação indicada para o comportamento do produto em pasta, isto é, este decréscimo é acompanhado pelo aumento do valor da porosidade aberta. Assim, espera-se que o aumento do volume de vazios constitua a base para o decréscimo das propriedades relacionadas com o produto endurecido.

A comparação entre o efeito de cada carga leve, perlite e vermiculite, nas propriedades do produto endurecido, indica maior acção da perlite, em consequência das já discutidas diferenças microestruturais. Com perlite formam-se, em geral, corpos mais porosos.

5. CONCLUSÕES

A adição de cargas ligeiras como perlite ou vermiculite expandida condicionam fortemente as propriedades da pasta e do produto endurecido de argamassas bastardas. Entre estas, destaca-se a relevante diminuição da resistência mecânica do produto endurecido com o aumento da concentração dos ditos aditivos. No limite, poder-se-ão obter argamassas sem qualquer interesse prático, dada a baixa coesão estrutural. Por outro lado, a aplicação de cargas leves pode contribuir para a obtenção de um espectro alargado de opções em função da solicitação em obra.

A evolução da resistência mecânica não está naturalmente desligada de outras propriedades que importa controlar de forma cuidada: (i) a retracção, que tende a aumentar, incrementado os riscos de fissuração; (ii) a porosidade, que tende também a aumentar com o teor de aditivos, em consequência da menor densidade intrínseca e do aumento do teor de ar na argamassa (estes aditivos actuam como introdutores de ar). O leque relativamente extenso de propriedades que se pode obter, é um factor de interesse em termos de flexibilidade para diferentes aplicações (argamassas de reabilitação, de saneamento, etc).

Os resultados obtidos evidenciam modos diferentes de actuação entre a perlite e a vermiculite. Esta última permite formular argamassas com menor demanda de água de amassadura, o que condiciona o desenvolvimento de propriedades: menor perda de massa, menor decréscimo de resistência mecânica. Ao contrário, a perlite permite obter corpos mais ligeiros com níveis de retracção menores, dada a ocorrência de reacções expansivas sílica-álcalis.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Elsharif, A; Colen, M.D.; Olek, J. *Influence of lightweight aggregate on the microstructure and durability of mortar*. Cement and Concrete Research, article accepted at 8th July 2004, in press.
- [2] Frattolillo, A; Giovinco, G.; Mascolo, M.C.; Vitale, A. *Effects of hydrophobic on termophysical properties of lightweight mortars*. Experimental Thermal and Fluid Science (2005) **29**, 733-741.
- [3] Husem, M. *The effects of bond strengths between lightweight and ordinary aggregate-mortar, aggregate-cement paste on the mechanical properties of concrete*. Materials Science & Engineering A, **363** (2003) 152-158.
- [4] Mladenovic, A., Suput, J.S., Ducman, V., Skapin, A.S. *Alkali-silica reactivity of some frequently used lightweight aggregates*. Cement and Concrete Research **34** (2004) 1809-1816.

- [5] Nóvoa, P. J., Ribeiro, M.C., Ferreira, A.J., Marques, A.T. *Mechanical characterization of lightweight polymer mortar modified with cork granulates*. Composites Science and Technology **64** (2004) 2197-2205.
- [6] Coutinho, A.S., *Fabrico e propriedades do betão*, Volume I, 2ª edição, LNEC, 1988.
- [7] Rixom, R and Mailvagan, N. *Chemical Admixtures for Concrete*, 3rd edition 1999 E&FN Spon, London.
- [8] *Certification CSTB des Enduits Monocouches d'impermeabilisation, Modalités d'essais*, Cahiers du CSTB 2669-4, 1993.
- [9] Thomasson, F. *Les enduits monocouches a base de liants hydrauliques*. Paris, Unitecna France, Septembre 1982.
- [10] Martys, N.S., Ferrais, C.F. *Capillary transport in mortars and concrete*. Cement and Concrete Research **27** (1997) 747-760.