

A MASSA UNITÁRIA DA AREIA COMO PARÂMETRO DE ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS DE ARGAMASSAS

THE BULK DENSITY OF THE SAND AS A PARAMETER FOR THE ANALYSIS OF MORTAR PROPERTIES

ARNALDO MANOEL PEREIRA CARNEIRO

MARIA ALBA CINCOTTO

VANDERLEY M. JOHN

O presente trabalho ressalta a importância da massa unitária da areia empregada na produção de argamassas para a avaliação das suas propriedades nos estados fresco e endurecido. Consta de uma análise dos dados de estudo realizado por TRISTÃO (1995) concluindo-se que, com o aumento no valor da massa unitária da areia, as resistências à tração por compressão diametral, à compressão axial e o módulo de deformação da argamassa tendem a crescer, bem como tendem a decrescer o consumo de aglomerante, o índice de vazios e a relação água/cimento.

Palavras chave: massa unitária, areia, argamassas, propriedades.

This study emphasizes the importance of the bulk density of the sand in the evaluation of its properties of fresh and hardened mortar. This paper analyzes the experimental data of the study performed by TRISTÃO (1995) and shows that increasing values of the sand bulk density lead to an increase in the elastic modulus and the compressive and tensile splitting strength, while producing a decrease in the binder consumption, voids volume, and the water-to-cement ratio.

Key words: bulk density, sand, mortars, properties.

1 INTRODUÇÃO

O Grupo de Pesquisa em Argamassa do Departamento de Engenharia de Construção Civil e Urbana - PCC da Escola Politécnica da USP - estuda a influência de diferentes variáveis no desempenho das argamassas, entre as quais a granulometria do agregado, que tem recebido pouca consideração por parte dos pesquisadores da área.

O mesmo não se pode dizer para o concreto. Já em 1907 destaca-se no âmbito internacional o trabalho de William Fuller que determinou, a partir de dosagens experimentais, o perfil ideal da curva da distribuição granulométrica, para obtenção da máxima compacidade do concreto e de argamassas, sendo incluídos na curva o aglomerante e o agregado. A esse trabalho seguiram-se os de ABRANS (1918), TALBO & RICHART (1923), FURNAS (1931), CAQUOT (1937) entre outros. No Brasil, destaca-se o trabalho de Lobo Carneiro que também estabeleceu uma curva de distribuição granulométrica para agregados, independente da sua dimensão máxima característica (HELENÉ & TERZIAN, 1992).

De modo geral, a areia é caracterizada pelo seu módulo de finura ou selecionada a partir de normas nacionais ou internacionais, as quais especificam a granulometria dentro de faixas determinadas. A proposta do grupo é adotar a massa unitária como parâmetro de caracterização, em lugar do módulo de finura empregado tradicionalmente.

Um estudo relevante foi feito por TRISTÃO (1995), apresentado à Universidade Federal de Santa Catarina em nível de Mestrado em Engenharia Civil, sobre a influência da composição granulométrica da areia, recomendada em diferentes especificações, nas propriedades de argamassas de revestimento, cujos resultados foram analisados em função do módulo de finura. Esses resultados foram retomados e analisados em função dos valores da massa unitária, procurando-se ressaltar que este é um parâmetro mais adequado de correlação distribuição granulométrica da areia versus propriedades de argamassas.

A parte inicial apresenta considerações gerais sobre a granulometria dos agregados. A segunda parte apresenta os dados originais de TRISTÃO (1995) e a última parte demonstra que a massa unitária da areia é um instrumento importante na seleção da granulometria das areias.

2 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

No estudo de argamassas, a caracterização dos agregados é feita tradicionalmente com base em especificações de faixas granulométricas, módulo de finura e, menos freqüentemente, coeficiente de uniformidade.

É óbvia a influência da distribuição granulométrica da areia na argamassa. Conjuntamente ao diâmetro máximo e à forma dos grãos ela influi no empacotamento, controlando desta forma o volume de vazios, que é preenchido pela pasta - cimento, cal, água e ar incorporado. STOVALL, DE LARRARD & BUIL (1986) apresentam um modelo genérico para avaliação do grau de empacotamento de grãos de diferentes diâmetros.

As faixas granulométricas recomendadas variam fortemente de acordo com a norma ou autor e parecem refletir muito mais a granulometria das areias naturais disponíveis do que qualquer estudo no tema; um exemplo está ilustrado na Figura 1.

O módulo de finura, definido como o somatório dos retidos acumulados na série normal de peneiras, dividido por 100, é também um parâmetro muito limitado. Curvas granulométricas distintas podem levar ao mesmo módulo de finura. Em seu trabalho, TRISTÃO (1995) não encontrou qualquer relação

significativa entre o módulo de finura de diferentes composições granulométricas originárias de uma mesma areia e o desempenho das argamassas.). Os intervalos adotados para classificação são os seguintes (SELMO, 1989):

MF > 3.0 – areia grossa
 3.0 > MF > 2.0 – areia média
 MF < 2.0 – areia fina

O coeficiente de uniformidade (C), na verdade, traduz uma continuidade na distribuição granulométrica da areia. É utilizado na mecânica dos solos e definido como a relação entre os diâmetros correspondentes à abertura de malha por que passam 60% e 10% em massa de areia, dado pela equação:

$$C = \frac{p_{60}}{p_{10}}$$

Ambos são condicionados pela escolha, sempre discutível, da série de peneiras que agrega uma família de partículas em torno de um valor médio. A mecânica dos solos considera que para $C < 5$ a areia é muito descontínua; para $5 < C < 15$, areia de descontinuidade média e $C > 15$ areia contínua (CAPUTO, 1983). Os coeficientes de uniformidade das areias cujas curvas de distribuição granulométrica estão indicadas na Figura 1 são: HUMMEL 9.5 – 18.92; DTU 1E – 12.2; ABNT 1R – 4.2 e BSI 2E – 2.9.

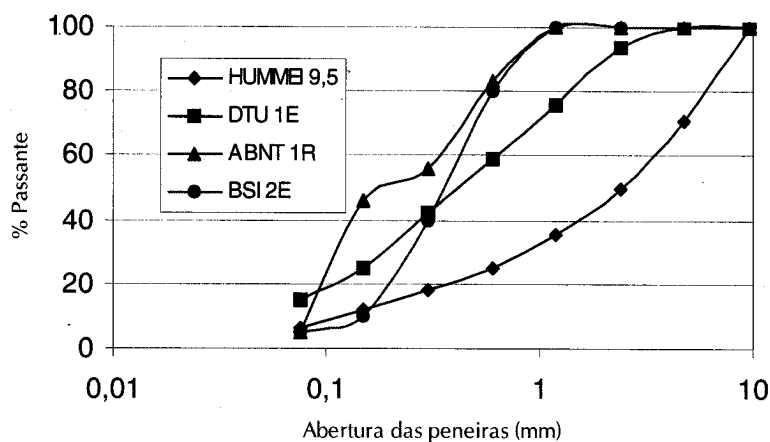


Figura 1 - Diferentes faixas granulométricas recomendadas

Sabe-se que uma areia de granulometria muito uniforme, independentemente do formato do grão, pode comprometer a trabalhabilidade da argamassa. Há um conseqüente enrijecimento, impedindo o deslizamento dos grãos da areia entre si, com demanda de um maior consumo de pasta. Portanto, deve ser estudada uma uniformidade ótima da composição granulométrica da areia (FURNAS, 1931).

Vale ressaltar que a distribuição granulométrica, o módulo de finura e o coeficiente de uniformidade desconsideram a forma do grão que, evidentemente, possui grande influência no empacotamento dos grãos.

A massa unitária é, por sua vez, definida como a quantidade de massa capaz de ser acomodada em um recipiente de volume unitário, em condições de adensamento padronizadas integra, a um só tempo, distribuição granulométrica, forma dos grãos e capacidade de empacotamento.

Conhecida a massa unitária aparente (γ_u) e a massa específica dos grãos (γ_e) de um agregado é possível estimar a densidade de empacotamento (ρ), definida por STOVALL, DE LARRARD & BUIL (1986), como a fração de volume ocupada pelo conjunto de grãos de diferentes dimensões:

$$\rho = \frac{\gamma_u}{\gamma_e}$$

3 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Neste trabalho são analisados dados originais do trabalho experimental de TRISTÃO (1995). Da vasta coleção de granulometrias disponíveis, o autor selecionou as sugeridas pela NBR 7200 (1982), ASTM C 869 (1983), BS 5262 (1976), DTU 26.1 publicado pelo CSTB (1978), recomendações

apresentadas na ES-5 do IPT (1981), além de duas areias compostas segundo HUMMEL (1966) e uma que denominou GRÁFICA. Para compor as curvas granulométricas, apresentadas na Tabela 1, foi utilizada areia oriunda do Rio Tijucas - SC, submetida ao peneiramento recomendado na NBR 7217. A Tabela 2 apresenta outras características destas areias.

TABELA 1

DIFERENTES COMPOSIÇÕES PERCENTUAIS (TRISTÃO, 1995)

FONTES	ABERTURA DAS PENEIRAS (MM)								
	9.5	4.8	2.4	1.2	0.6	0.3	0.15	0.075	< 0.075
HUMMEL 0.3	0	0	0	0	0	0	29	21	50
BSI 1R	0	0	0	0	0	50	40	5	5
BSI 2E	0	0	0	0	20	40	30	5	5
BSI 1E	0	0	10	20	30	35	5	0	0
GRÁFICA	0	0	99.4	0	0	0.4	0.15	0.05	0
ASTM 1E	0	0	10	30	25	25	10	0	0
ABNT 1R	0	0	0	0	17	27	10	41	5
IPT 2E	14	1	18	18	17	17	15	0	0
DTU 1E	0	0	6	18	17	17	17	10	15
HUMMEL 9.5	29	0	21	14.5	10.5	7	6	6	6

TABELA 2

CARACTERÍSTICAS DAS AREIAS (TRISTÃO, 1995)

Areias	Massa unitária (kg/dm ³)	Coefficiente de uniformidade	Volume de vazios (l.m ³)	Teor de finos totais (%)
HUMMEL 0.3	1.377	10.74	480	57.9
BSI 1R	1.401	2.3	471	21.2
BSI 2E	1.437	2.8	458	21.8
BSI 1E	1.44	2.9	457	16.8
GRÁFICA	1.462	1.4	448	16.6
ASTM 1E	1.489	4	438	16.3
ABNT 1R	1.565	4.2	409	19.8
IPT 2E	1.628	7.68	386	15.1
DTU 1E	1.654	12.2	376	27.5
HUMMEL 9.5	1.735	19.92	345	19.4

Utilizando estas diferentes composições granulométricas, esse autor produziu argamassas de revestimento com traços 1:1:6 e 1:2:9, em volume, variando o teor de água de maneira a manter a consistência de 265 ± 15 mm. Neste artigo, foram analisadas as argamassas de traço 1:1:6, das quais são apresentados um maior número de resultados.

Alguns comentários sobre os resultados experimentais: o diâmetro máximo não foi mantido constante e as argamassas produzidas a partir da areia com granulometria especificada pelo DTU, ABNT e a solução GRÁFICA apresentaram índices de consistência fora do limite estabelecido, 284, 294 e 241 mm, respectivamente.

4 INFLUÊNCIA DA MASSA UNITÁRIA NO TRAÇO DAS ARGAMASSAS

A dosagem da argamassa, tradicionalmente especificada em proporção de volume dos diversos componentes, é afetada pela massa unitária da areia. Para um dado traço em volume 1 : c : a (cimento : cal hidratada : agregado) mantendo-se os aglomerantes constantes, a relação em massa aglomerante: agregado (m) diminui com o aumento da massa unitária do agregado, conforme a equação

$$m = \frac{1 \gamma_{cim} + c \gamma_c}{\gamma_a a}$$

onde γ_{cim} é a massa unitária do cimento, γ_c a massa unitária da cal, e γ_a a massa unitária dos agregados. Como o numerador, e o valor de a do denominador são constantes a equação pode ser reescrita na forma

$$m = \frac{k}{\gamma_a}$$

Os dados apresentados por TRISTÃO (1995), quando analisados por regressão linear forneceram a equação ($R^2 = 1$):

$$m = \frac{0,3205}{\gamma_a}$$

Coerentemente, a quantidade de água necessária à trabalhabilidade também diminui (Figuras 2a e 2b).

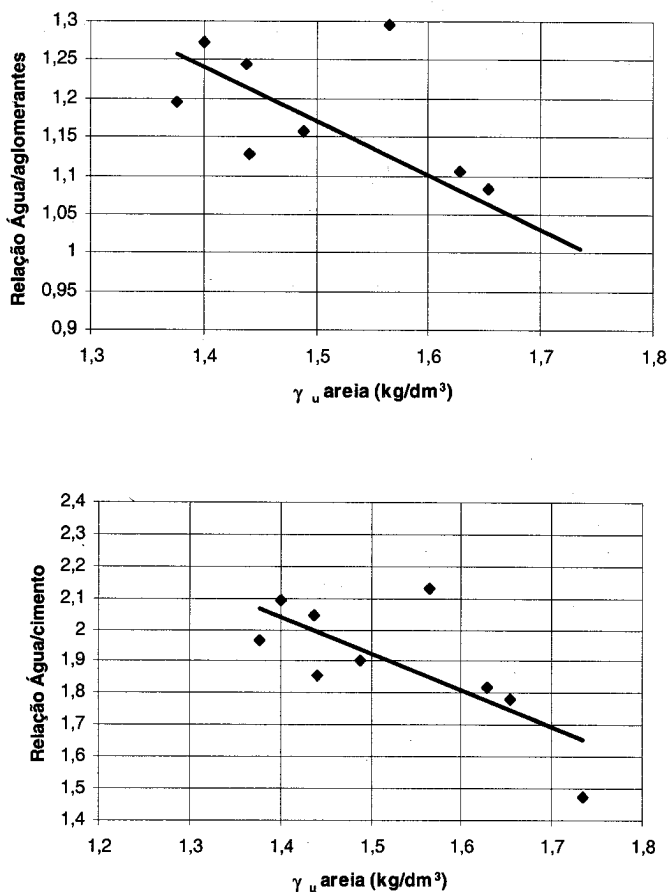


Figura 2 - Influência da massa unitária das areias nas relações água/aglomerantes (a) e água/cimento (b)

O consumo de aglomerantes por m³ de argamassa produzida cai, porém de maneira menos importante, uma vez que o decréscimo da relação aglomerante:agregado é parcialmente compensado pela redução no teor de água (Figuras 3a e 3b); conforme pode ser visto nessas figuras o consumo de aglomerantes estimado a partir dos dados apresentados por TRISTÃO (1995) produzem uma dispersão significativa. Esta dispersão provavelmente está associada à variabilidade do teor de água adicionado, em função da variação da continuidade das curvas granulométricas, pois as curvas com maior continuidade requerem menor consumo de água (Figura 3c).

Apesar da variabilidade, os dados permitem sugerir que, em média, pode-se esperar uma redução de aproximadamente 10 % no consumo de aglomerantes quando se aumenta a massa unitária de 1,25 para 1,65 kg/dm³.

5 MASSA UNITÁRIA E CARACTERÍSTICAS NO ESTADO FRESCO

TRISTÃO (1995) não realizou qualquer aplicação das argamassas como revestimento, de maneira que não se conhece se todas elas apresentam desempenho aceitável quanto à aplicação. No entanto, dado o consumo de aglomerantes e a consistência fixada, é possível supor que, independentemente da granulometria, todas poderiam ser aplicadas sem maiores problemas.

A capacidade de retenção de consistência das argamassas diminui com o aumento da massa unitária (Figura 4a). Este efeito pode ser justificado pelo menor conteúdo de finos aglomerantes nestas argamassas (Figura 4b).

Observou-se também um crescimento da massa unitária medida na argamassa fresca com o crescimento da massa unitária da areia. Na faixa estudada este crescimento foi de 10% e é discutível se ele é capaz de afetar significativamente a produtividade da aplicação manual da argamassa, bem como a sua tendência ao descolamento ainda no estado fresco, por insuficiência de adesão.

A massa unitária da areia, possivelmente afeta o teor de ar incorporado. Nos resultados analisados estes apresentam grande variação. O teor mais elevado foi de 12,7% - média de duas determinações - obtido em argamassas confeccionadas com areia com curva GRÁFICA, com baixa continuidade, e os valores mais baixos, de 0,8%, para as curvas IPT 2E e ASTM 1E, de maior continuidade. Assim, a massa unitária por si só não é suficiente para explicar esses resultados, mas sua influência é inquestionável.

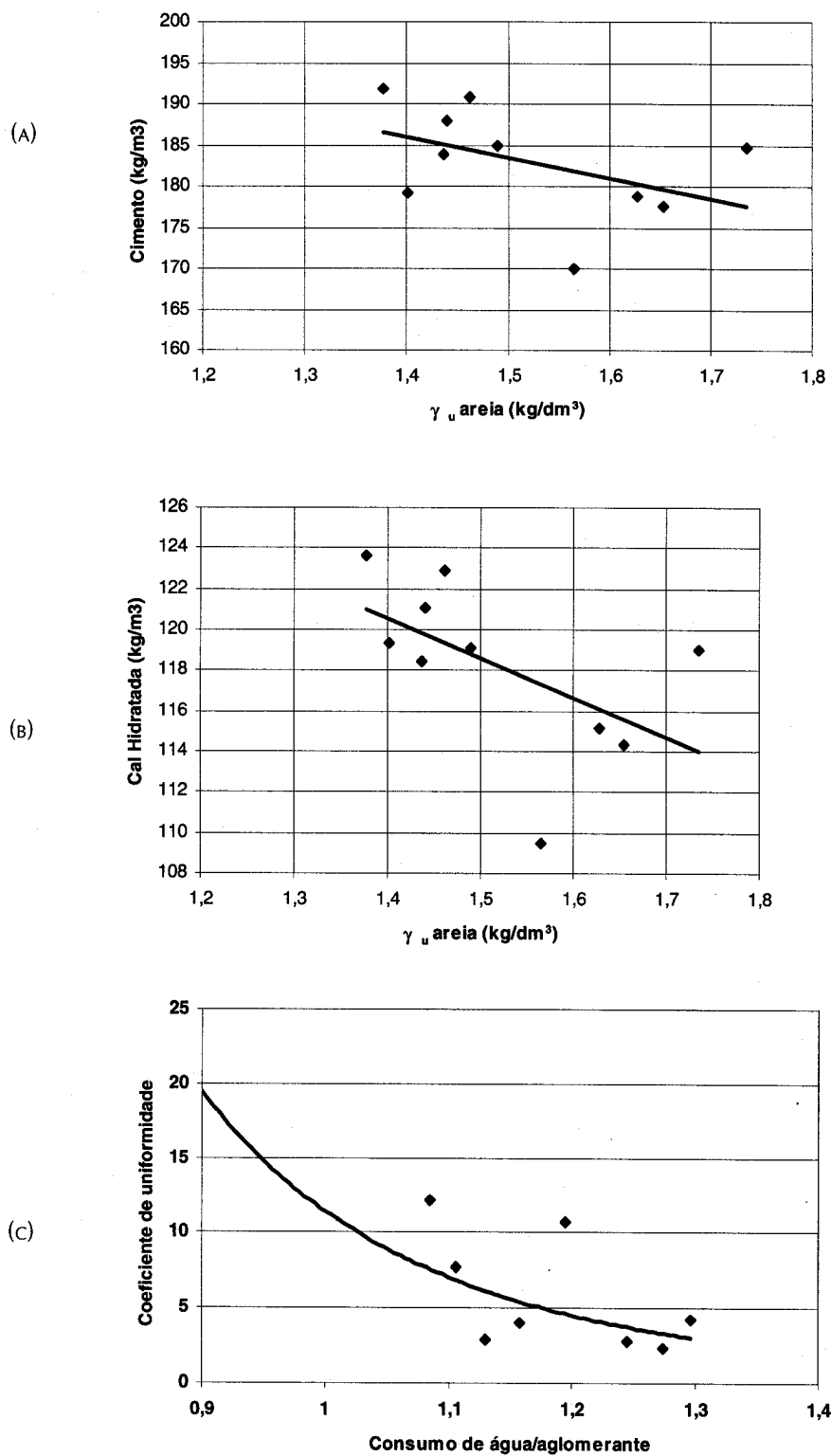


Figura 3 - Influência da massa unitária da areia no consumo de cimento (a), no consumo estimado de cal hidratada (b) e do coeficiente de uniformidade no consumo de aglomerante (c)

Como o ar encontra-se retido na pasta, quanto maior o volume de areia menor é o volume preenchido pela pasta, e menor o teor de ar incorporado possível. Os resultados apresentados, no entanto, permitem sugerir que o efeito da curva granulométrica é superior ao esperado devido à redução de volume de pasta.

6 MASSA UNITÁRIA E AS CARACTERÍSTICAS NO ESTADO ENDURECIDO

Considerando-se a redução da relação água/aglomerantes e, em particular, da relação água/cimento (Figura 5), é de se esperar que o aumento na massa unitária das areias provoque um crescimento acentuado na resistência mecânica, tanto à tração como à compressão; no entanto, os dados

experimentais de TRISTÃO (1995) não mostram este crescimento significativo (Figuras 6 e 7).

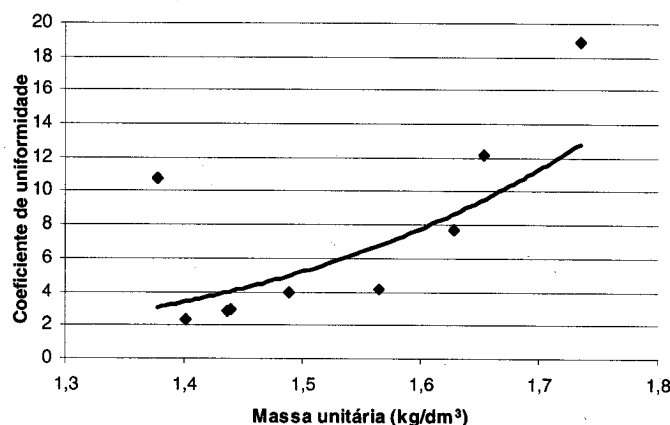


Figura 4 - Influência da massa unitária da areia no coeficiente de uniformidade

Esse autor adotou o ensaio de compressão diametral de cilindros como medida da resistência à tração das argamassas. Os resultados encontrados oscilam em torno de 0,5 MPa, apresentando um crescimento significativo para a massa unitária acima de 1,6 kg/dm³, obtida com a granulometria segundo HUMMEL (1966), fmax 9,5 mm (Figura 6). Comportamento similar é observado com a resistência à compressão (Figura 7). É notável a dependência linear entre a resistência à tração (st) e à compressão (sc). A regressão linear entre essas duas séries de dados resultou na equação:

$$st = 0,11 sc + 0,061$$

com coeficiente de correlação de 95,7%, indicando a confiabilidade dos resultados obtidos (Figura 8).

A redução da relação água/aglomerantes e do consumo de aglomerantes provavelmente reduz o risco de fissuração por retração hidráulica, fenômeno patológico freqüente em argamassas de revestimento. Este fator merece investigação posterior.

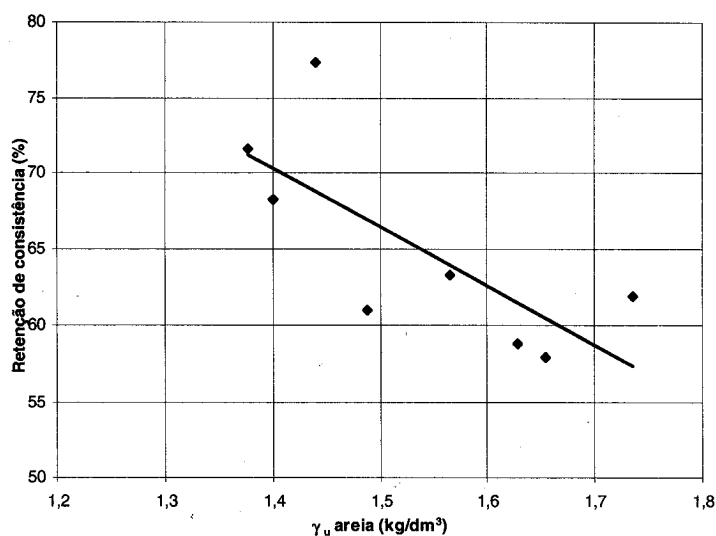


Figura 5.A - Influência da massa unitária na retenção de consistência

7 CONCLUSÕES

Da análise realizada neste trabalho, pode-se depreender que a massa unitária da areia é um parâmetro relevante no estudo de desempenho das argamassas. Como o que se ressaltou são tendências, deve-se aprofundar o estudo das curvas granulométricas da areia a fim de se estabelecer melhores correlações com as propriedades das argamassas. A Tabela 3 apresenta um resumo das tendências de cada uma das características com o aumento da massa unitária da areia.

O trabalho de TRISTÃO (1995) é uma contribuição relevante por abordar um tema fundamental no estudo das argamassas, não levado em conta no meio nacional. Permitiu também ressaltar a relação massa unitária com o consumo de aglomerantes e suas consequências nas propriedades das argamassas.

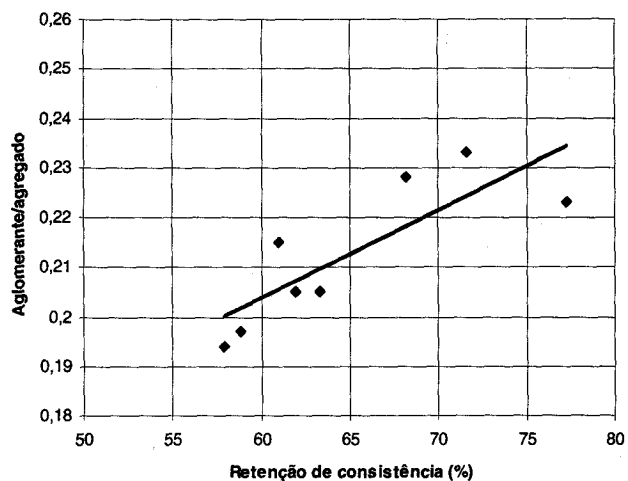


Figura 5.B - Influência da relação aglomerante/agregado na retenção de consistência

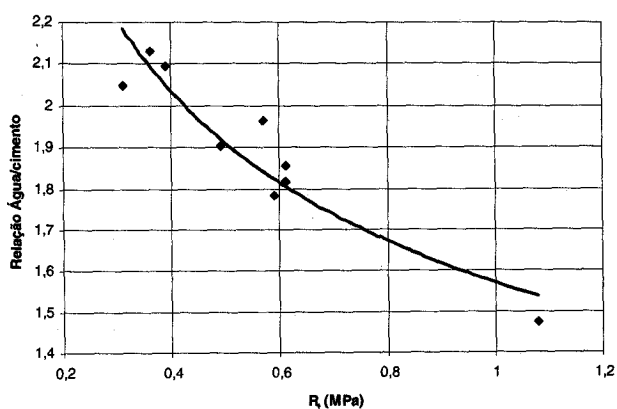


Figura 6 - Resistência à tração versus relação água/cimento

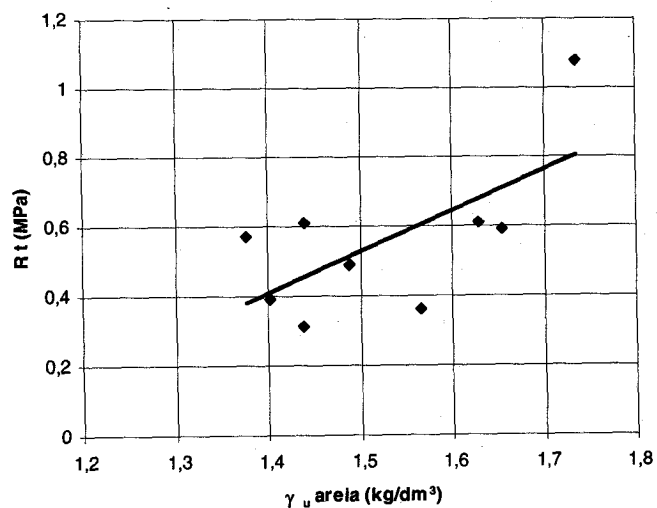


Figura 7 - Influência da massa unitária da areia na resistência à tração das argamassas

TABELA 3

TENDÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS DE ARGAMASSAS COM O AUMENTO DA MASSA UNITÁRIA DA AREIA

Efeito	Na Areia	Na Argamassa
crescimento	índice de vazios	relação aglomerante/agregado relação água/materiais secos relação água/aglomerante
decréscimo	coeficiente de uniformidade	relação água/cimento massa unitária resistência à tração resistência à compressão módulo de deformação

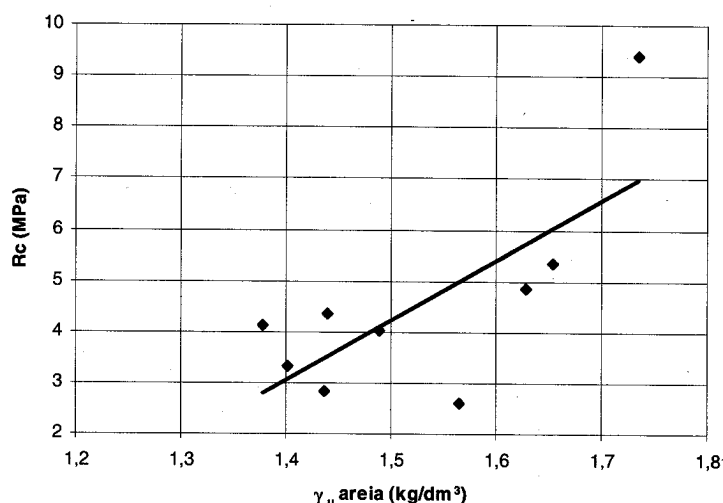


Figura 8 - Influência da massa unitária da areia na resistência à compressão das argamassas

Dadas as possibilidades econômicas desta abordagem, os autores sugerem que as publicações de resultados de estudos de argamassas incluam a massa unitária seca da areia empregada. Isto permitirá uma análise comparativa dos diferentes trabalhos, em âmbito nacional, com evolução no conhecimento das propriedades das argamassas e os parâmetros que as influem.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C 897/83. Specification for aggregate for job-mixed Portland cement based plaster. In: _____. *Annual book of ASTM standards*. Easton : ASTM, 1983.
- BRITISH STANDARDS INSTITUTION. BS 5262. *External rendered finishes*. London, BSI, 1976. 21p. (Code of Practice 221).
- CAPUTO, H. P. *Mecânica dos solos e suas aplicações: fundamentos*. 5.ed. Rio de Janeiro : Livros Técnicos e Científicos, 1983.
- CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT. *Travaux d'enduits aux mortiers de liante hydrauliques: cahier des charges*. Paris, CSTB, 1978, 28p. (CSTB. D.T.U. 26.1.)
- FÜLLER, W. D., THOMPSON, S. E. *Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, v. 33, p. 222, 1907. (Título do artigo não especificado)
- FURNAS, C.C. *Industrial and Engineering Chemistry*, v.23, p.1052, 1931. (Título do artigo não especificado)
- HUMMEL, Alfred. *Prontuário del hormigón: hormigones normales, hormigones ligeros*. 2.ed. Barcelona: Editores Técnicos Asociados, 1966. p. 51- 89.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Especificação ES-5/1981. *Agregado miúdo de argamassa para construção civil*. São Paulo : IPT, 1981.
- INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. NBR 7200. *Revestimento de paredes e tetos com argamassas - Materiais, preparo, aplicação e manutenção - Procedimento*. Rio de Janeiro : ABNT, 1982.
- STOVALL, T., DE LARRARD, F., BUIL, M. Linear packing density model of grain mixtures. *Powder Technology*, v.48, p.10-12, 1986.
- TRISTÃO, Fernando Avancini. *Influência da composição granulométrica da areia nas propriedades das argamassas de revestimento*. Florianópolis, 1995. Dissertação (Universidade Federal de Santa Catarina)

ARNALDO MANOEL PEREIRA CARNEIRO

Engenheiro Civil, Doutorando da EPUSP e Professor da UFPA.
End. Av. Prof. Almeida Prado, travessa 2, Departamento de Engenharia de Construção Civil e Urbana, PCC, EPUSP, Cidade Universitária, São Paulo - SP, CEP 05508-900.
E-mail: ampc@usp.br.

MARIA ALBA CINCOTTO

Química. Professora Doutora do Departamento de Engenharia de Construção Civil, PCC USP, Caixa Postal 7141, Cidade Universitária, São Paulo, CEP 05508-900.
E-mail: cincotto@usp.br.

VANDERLEY M. JOHN

Engenheiro Civil. Professor Doutor do Departamento de Engenharia de Construção Civil, PCC USP, Caixa Postal 7141, Cidade Universitária, São Paulo, CEP 05508-900.
E-mail: vmjohn@usp.br