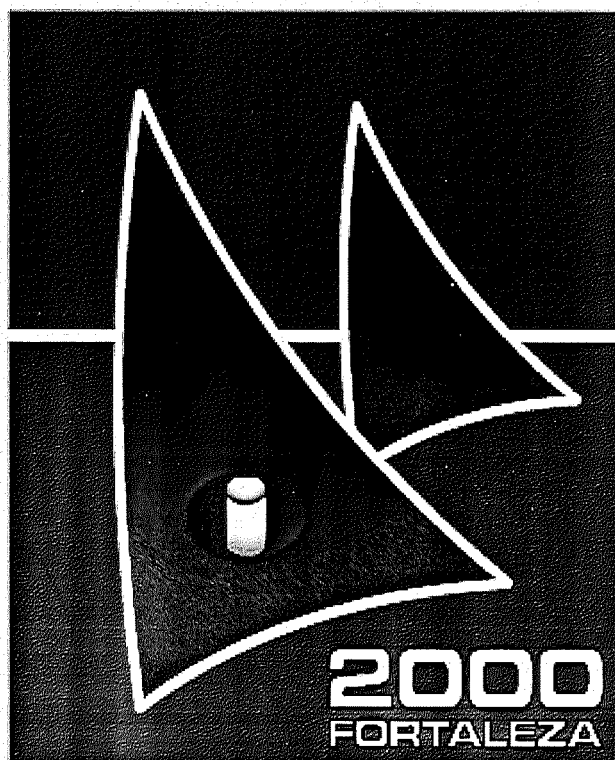


42º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO



13 A 18 DE AGOSTO
Centro de Convenções
do Ceará

Realização:



IBRACON

INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO

Av. Prof. Almelda Prado, 532 - casa 44

cep: 05508-901 - São Paulo - SP

Telefax: (11) 3714-2149

(11) 3765-0099

Site: <http://www.ibracon.org.br>

e-mail: office@ibracon.org.br

Produzido por Arte Interativa
www.artinterativa.com.br

42º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO

Comportamento, análise e
normalização do projeto de estruturas

Métodos de análise estrutural
e dimensionamento de estruturas

Desenvolvimento de materiais de concreto



13 A 18 DE AGOSTO
Centro de Convenções
do Ceará



IBRACON

INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO

SÃO PAULO

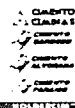
42º Congresso Brasileiro do Concreto

Acompanha CD-ROM com os trabalhos na íntegra

Patrocinadores:



OTTO BAUMGART
INSTRUTORES DE CURSO
PROFESSOR EM CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO



**VOTORANTIM
CIMENTOS**



GERDAU



**ASSOCIAÇÃO
BRASILEIRA DE
CIMENTO PORTLAND**



PRÉ-FABRICADOS DE PEQUENA ESPESSURA: MATERIAIS E DOSAGEM DE MICROCONCRETOS LEVES DE ALTO DESEMPENHO – ESTUDO DE CASO

Marcos Vinício Costa Agnesini ^a, João Adriano Rossignolo ^b, &
Jerusa Alessandra de Moraes ^c

^{a,c} Dep. de Arquitetura e Urbanismo EESC-USP. (agnesini@sc.usp.br)

^b Ciências e Engenharia de Materiais. LCC.EESC - USP. (jarossig@hotmail.com)

Av. Dr. Carlos Botelho, 1465 - Dep. Arquitetura e Urbanismo - São Carlos S.P. CEP 13560-970.

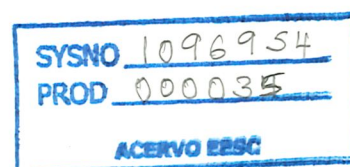
RESUMO

A Escola de Engenharia de São Carlos - USP, desde a década de 60, é um centro de desenvolvimento da tecnologia dos pré-fabricados de pequena espessura. Inicialmente, utilizou-se a argamassa armada na execução de elementos estruturais e de vedação. Posteriormente, com o intuito de melhorar o desempenho dos pré-fabricados, utilizou-se a tecnologia dos microconcretos ($D_{máx} = 9,5\text{mm}$) e microconcretos de alto desempenho com massa específica normal. Este trabalho apresenta um recente estudo sobre os materiais componentes e dosagem de microconcretos leves (massa específica máxima de 1.600kg/m^3) de alto desempenho para pré-fabricados de pequena espessura. Os materiais utilizados na produção dos microconcretos foram CPV-ARI, areia natural quartzosa, argila expandida (2 tipos de granulometria), sílica ativa e superplastificante acelerador.

INTRODUÇÃO

O concreto de alto desempenho (CAD) tem sido pesquisado e utilizado nos últimos anos em diversos países. O CAD apresenta, além da resistência mecânica, superioridade em outras características, tais como, baixa permeabilidade, excelente durabilidade, ótima aderência a concretos velhos e ao aço, baixa segregação, entre outras. Nos últimos anos algumas pesquisas foram realizadas com o intuito de unir as características otimizadas do CAD com a baixa massa específica dos concretos leves (CL), obtendo-se assim, o concreto leve de alto desempenho (CLAD).

O CLAD não é definido apenas em função de sua resistência mecânica, como normalmente é conceituado o concreto de alto desempenho, nem somente em função de sua



massa específica, como o concreto leve, e sim a partir de um parâmetro que relaciona essas duas propriedades. Esse parâmetro é denominado por SPITZNER (1991) de **Fator de Eficiência** e por HOLM & BREMNER (1994) de **Eficiência Estrutural** e é representado pela seguinte relação:

$$\text{Fator de eficiência} = f_c / \gamma \text{ (MPa.dm}^3\text{/kg)}$$

Onde: f_c = resistência à compressão (MPa) e γ = massa específica seca do material (kg/dm³)

De acordo com SPITZNER (1991) é considerado como concreto leve de alto desempenho um concreto que apresente fator de eficiência no mínimo igual a 25 MPa.dm³/kg.

Os pré-fabricados de pequena espessura tem sido objetivo de pesquisa na Escola de Engenharia de São Carlos desde a década de 1.960. Inicialmente, utilizou-se a argamassa armada na execução dos elementos. Posteriormente, modificou-se o material empregado de tal forma a melhorar o desempenho dos pré-fabricados. Com esse intuito, vários estudos foram desenvolvidos por pesquisadores de EESC- USP, particularmente pelos pertencentes ao Laboratório de Construção Civil. Gradativamente, utilizou-se a tecnologia de microconcretos (com agregado graúdo constituído por brita 0) e microconcretos de alto desempenho (CAD) com massa específica normal na produção dos pré-fabricados esbeltos. Atualmente, com o desenvolvimento de um estudo sobre o emprego de microconcretos leves de alto desempenho (CLAD), pretende-se desenvolver esta tecnologia e oferecer uma proposta alternativa para a pré-fabricação de elementos delgados pela indústria da construção civil no Brasil.

Os pré-fabricados produzidos com esse tipo de material (CLAD) são caracterizados, segundo AGNESINI & GOMES NETO (1998), para os traços mais ricos, pela elevada resistência à compressão ($f_{ck} \geq 50$ MPa), altas resistências mecânicas à baixa idade ($f_{cj} \geq 30$ MPa para um dia) permitindo desformas rápidas, baixa permeabilidade, alta resistência à corrosão das armaduras devido à carbonatação ou ao ataque de cloretos, e alta resistência à deterioração por lixiviação ou formação de compostos expansivos.

Existe um grande potencial de aplicação do CLAD na produção de pré-fabricados de pequena espessura, como na execução de coberturas industriais, galerias, pontilhões rodoviários, painéis portantes, lajes e vigas de edifícios.

O presente trabalho tem como objetivos a caracterização dos componentes e estudo de dosagem de microconcretos ($D_{max}=9,5$ mm) produzidos com os materiais disponíveis no mercado da construção civil, e é direcionado à indústria de pré-fabricados de pequena espessura .

CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Cimento Portland

Na produção dos microconcretos empregou-se o cimento Portland de alta resistência inicial (CPV-ARI) considerando-se a execução de pré-fabricados (desformas rápidas).As características físicas e mecânicas deste cimento, prescritas pelas NBR-5733 e NBR-5737, são apresentadas na tabela 1.

Tabela 1: Características e propriedades do cimento Portland

Características e Propriedades		Unidade	CPV-ARI
Massa Específica (NBR-6474) *		kg/dm³	3,12
Massa Unitária no Estado Solto (NBR-7251) *		kg/dm³	1,02
Finura	Resíduo # 200 (NBR-11579)	%	0,2
	Sup. Esp. Blaine (NBR-7224)	cm²/g	4687
Tempo de Pega *	Início (NBR-11581)	min	130
	Fim (NBR-11581)	min	210
Expansibilidade a quente (NBR-11582)		mm	0,4
Resistência à compressão (NBR-7215)	1 dia	MPa	27,7
	3 dias	MPa	42,0
	7 dias	MPa	46,7
	28 dias	MPa	56,1

Fonte: CIMINAS S.A. (1999) *Valores experimentais obtidos no LCC

Agregados

Argila expandida

Como agregado leve, utilizou-se argila expandida com duas graduações: “Cinasita 0500” (equivalente à areia grossa) e “Cinasita 1506” (equivalente à brita 0). As composições granulométricas (NBR-7217) destas argilas são apresentas na figura 1 e os índices físicos estão indicados na tabela 2.

A argila expandida utilizada não apresentou, segundo a EB-230, teores excessivos de impurezas orgânicas, torrões de argila, perda ao fogo e manchamento. A absorção de água das argilas foi determinada utilizando método proposto por TEZUKA (1973). O ensaio de absorção de água foi realizado para o agregado 0500 ,1506 e para mistura de 50% de cada argila expandida, em duas condições: seco e na condição de recebimento (figura 2).

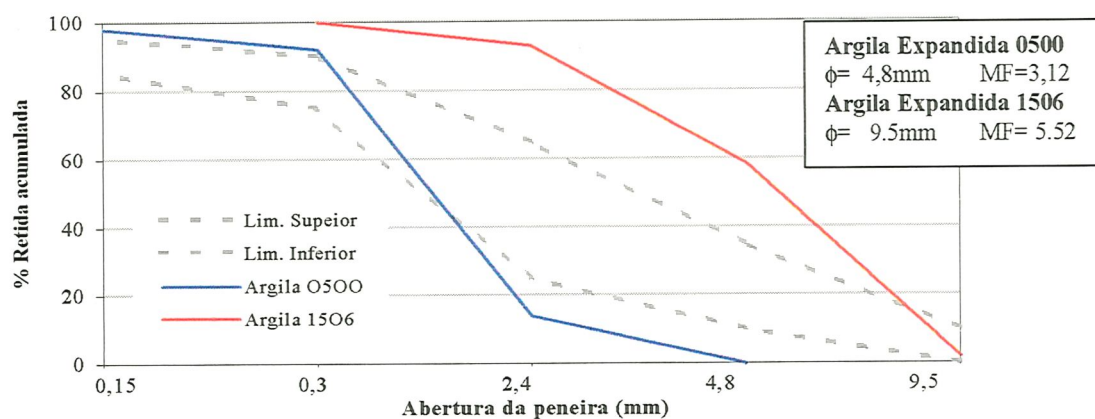


Figura 1: Curvas granulométricas dos agregados leves
 Obs: Limites fornecidos pela ASTM - C330 (EB-230) - graduação de 9,5mm - 0 mm

Tabela 2: Índices físicos da argila expandida

Propriedades	Argila Expandida 0500	Argila Expandida 1506
Massa Específica(kg/ dm ³)	1,51 (NBR-9776)	1,11 (NBR-9937)
Massa Unitária(kg/dm ³)	0,858 (NBR-7251)	0,588 (NBR-7251)

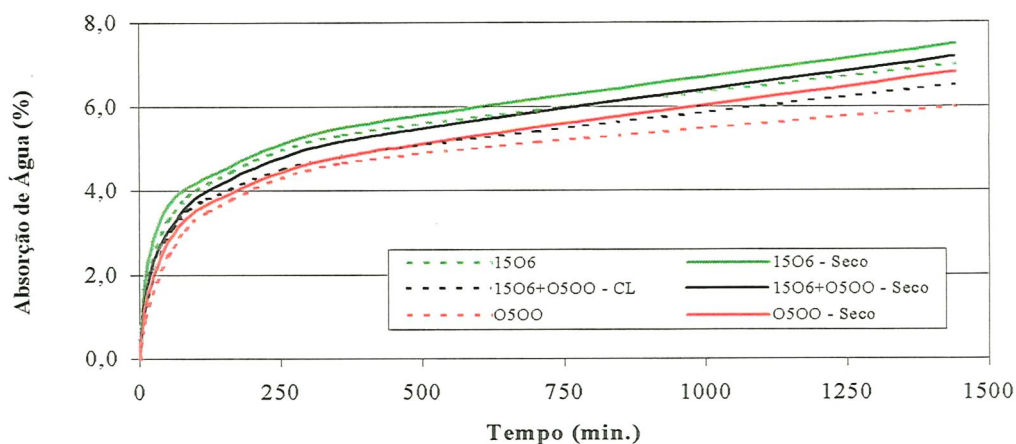


Figura 2: Absorção de água do agregado leve

Areia natural quartzosa

Na dosagem dos microconcretos utilizou-se areia natural quartzosa, proveniente do Rio Mogi-Guaçu - Município de São Carlos - SP. A composição granulométrica da areia (NBR-7217) está indicada na figura 3. O valor da massa específica (NBR-9776) da areia é 2,63 kg/dm³, e da

massa unitária no estado solto - areia seca (NBR- 7251) é 1,49 kg/dm³. A areia utilizada atendeu todos os requisitos da NBR-7211, quanto à presença de substâncias nocivas .

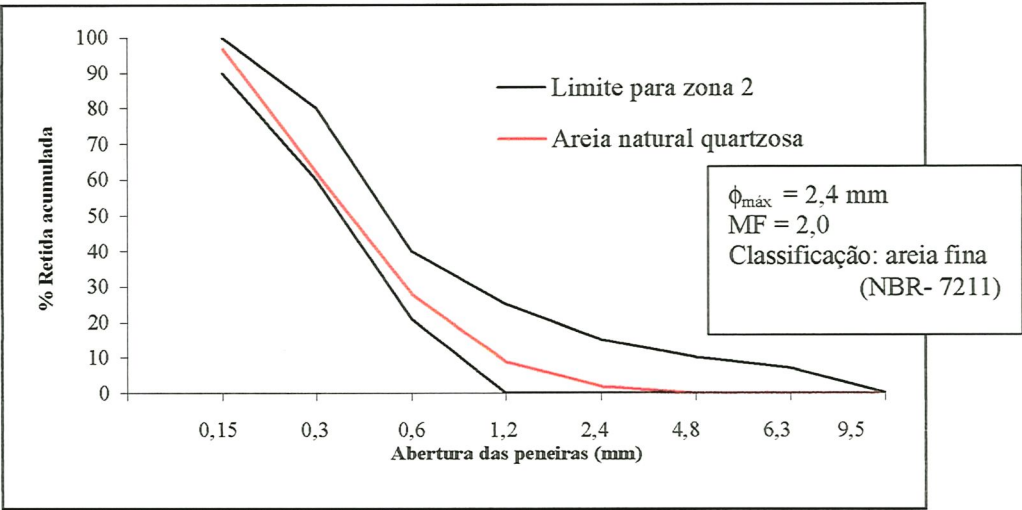


Figura 3: Curva granulométrica da areia natural quartzosa

Aditivo Superplastificante

O aditivo utilizado foi o superplastificante acelerador com elevado efeito redutor de água, tipo SPA segundo a classificação da ABNT(NBR-11768), fabricado pela MBT Brasil Indústria e Comércio. De acordo com o fabricante o aditivo apresenta massa específica 1,11 g/cm³ e teor de sólidos de 16,49%.

Sílica Ativa

A adição utilizada foi a sílica ativa, designada neste trabalho pela sigla SA, fornecida pela empresa Microssílica Tecnologia Indústria e Comércio Ltda. Este material apresentou massa específica (NBR-6474) de 2,21 kg/dm³, massa unitária (adaptação da NBR-12127) de 0,20 kg/dm³ e superfície específica (NBR-7224) de 18000 m²/kg. De acordo com o fabricante a porcentagem de SiO₂ na composição química da sílica ativa é de 94,3%.

VERIFICAÇÃO DA COMPATIBILIDADE ENTRE ADITIVO, ADIÇÃO E CIMENTO

A associação de superplastificante e sílica ativa, tem como princípio básico melhorar o desempenho das propriedades relacionadas à resistência mecânica e à durabilidade dos concretos.

Entretanto, esta associação deve ser previamente estudada para detectar uma possível incompatibilidade entre estes materiais.

Foi utilizado o método do “mini-slump” proposto por KANTRO (1980), com a finalidade de avaliar-se o poder redutor de água do superplastificante, e de detectar-se uma possível incompatibilidade físico-química do uso conjunto de CPV-ARI, sílica ativa e superplastificante acelerador.

Foi utilizado o teor de 10% de sílica ativa, em relação à massa de cimento, tendo como referência os estudos realizados por AGNESINI & SILVA (1997) e AGNESINI & GOMES NETO (1998). Os teores de superplastificante variaram de 0,5 a 2%, em relação à massa de cimento, segundo as recomendações do fabricante.

A figura 4 apresenta os valores da redução de água para duas pastas : uma com CPV-ARI e SPA e a outra com CPV-ARI, SA e SPA. Os resultados da redução de água foram satisfatórios e crescentes de acordo com o aumento dos teores de SPA, eliminando assim a possibilidade de uma eventual incompatibilidade no estado fresco para as dosagens e materiais estudados. Verifica-se, também, que a dosagem de 1,5% de SPA resultou em valores semelhantes para a redução de água, comparativamente ao teor máximo de 2%.

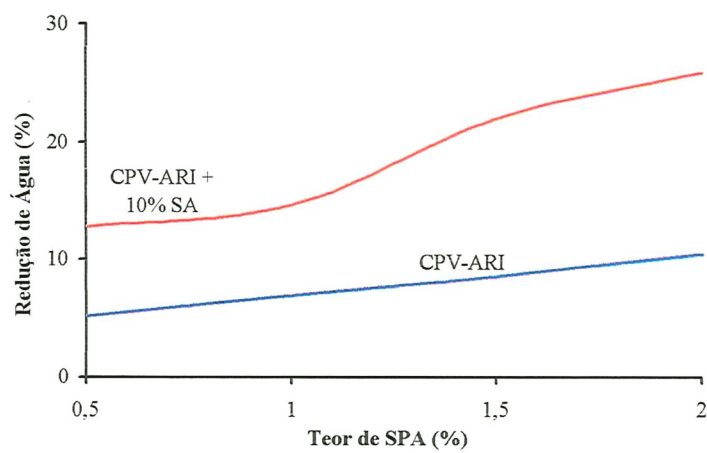


Figura 4 : Redução de água em função do teor de SPA (KANTRO 1980)

DOSAGEM DOS MICROCONCRETOS

A dosagem dos microconcretos leves de alto desempenho (CLAD) para pré-fabricados de pequena espessura é uma tarefa um pouco mais complexa do que aquela utilizada para o concreto tradicional. Embora os microconcretos leves de alto desempenho utilizem alguns materiais

componentes do concreto tradicional, em sua formulação entram outros materiais, como adições minerais ultrafinas, aditivos superplastificantes e agregados leves ($\phi_{\text{máx}} = 9,5\text{mm}$).

Assim, nesta pesquisa procurou-se desenvolver um processo de dosagem experimental para a obtenção de traços em massa de microconcretos com as seguintes características:

- Consumo de cimento entre 400 e 750 kg/m³ (valores usuais do CLAD segundo GJØRV-1991);
- Fator de eficiência mínimo aos 7 dias de idade de 25 MPa.dm³/kg (segundo SPITZNER -1991);
- Índice de consistência de 200 ± 10 mm (NBR-7215)- mesa de espalhamento (de acordo com o estudo da trabalhabilidade necessária)..

A idade de 7 dias foi fixada para caracterização das propriedades no estado endurecido do CLAD, considerando-se a utilização do material em pré-fabricados .As resistências à compressão aos 7 dias, também foram sempre superiores à 35 MPa, caracterizando o material como sendo de alta resistência conforme classificação proposta por AMARAL (1992) .

A metodologia para dosagem dos microconcretos foi inteiramente experimental, baseada em três etapas principais:

Etapa 1- Estudo da variação das propriedades fundamentais dos microconcretos no estado endurecido- durabilidade e resistência à compressão - em função da relação água/cimento.

HELENE (1995) desenvolveu estudos relacionados a resistência do concreto frente a determinados tipos agressivos e fixou a máxima relação água/cimento em função da classe de concreto (durável, resistente, normal e efêmero) considerando-se a corrosão das armaduras - fator fundamental em pré-fabricados esbeltos. Os parâmetros resultantes deste estudo estão indicados na tabela 3.

Através de metodologia totalmente experimental e variando-se a relação água/cimento de 0,40 à 0,60 kg/kg, foram determinados 5 traços em massa para os microconcretos. O teor de água/materiais secos utilizado para obter-se a consistência desejada (etapa 2) foi aproximadamente 20%. As porcentagens de agregados, em massa, obtidas através da granulometria ótima (etapa 3) foram : 30%, 35% e 35% ,respectivamente, para areia natural , argila expandida 0500 e 1506. Para todas as dosagens foram utilizados 10% de sílica ativa e 1,5% de aditivo superplastificante, teores estes relativos à massa de cimento.

Tabela 3 : Classificação dos concretos frente ao risco de corrosão das armaduras

Classe de Concreto (NBR-8953)	Classe de Resistência	Máximo a/c
Durável	≥C50	≤ 0,38
Resistente	C35 C40 C45	≤ 0,50
Normal	C25 C30	≤ 0,62
Efêmero	C10 C15 C20	Qualquer

Fonte HELENE(1995)

A tabela 4 indica os traços em massa, obtidos pela dosagem experimental dos microconcretos, e suas principais características no estado fresco.

Tabela 4: Traços em massa e propriedades dos microconcretos no estado fresco

Dosagem	a / c (kg/kg)	a / (c+s) (kg/kg)	Proporções (em massa) C:S:A:AL1:AL2 *	Índice de consistência (NBR-7215) (mm)	Massa específica no estado fresco (NBR-9833) (kg/m ³)	Consumo de efetivo de cimento (kg/m ³)
1	0,41	0,37	1:0,1:0,27:0,315:0,315	198	1717	710
2	0,45	0,41	1:0,1:0,35:0,403:0,403	203	1658	613
3	0,50	0,45	1:0,1:0,42:0,490:0,490	199	1633	544
4	0,54	0,49	1:0,1:0,50:0,578:0,578	198	1592	484
5	0,59	0,54	1:0,1:0,57:0,665:0,665	198	1583	440

*Cimento: sílica ativa: areia: agregado leve 1 (0500): agregado leve 2 (1506).

Com estes 5 traços foram moldados 125 corpos-de-prova cilíndricos de 100x200 mm para determinação da resistência à compressão (NBR-5739), sendo 5 para cada idade(1,3,7,28 e 63 dias).Com os resultados foram obtidas as funções específicas-resistência à compressão x relação água/cimento-representadas na figura 5.

Através de análise estatística foram determinados: desvio padrão igual a 1,8 e coeficiente de variação de 4%. Portanto, na fixação da resistência de dosagem (f_{cj} , j= 7 dias) será adotado, conforme prescrição da NBR-12655, desvio padrão de 2 MPa.

Observando-se a figura 5 pode-se verificar que as resistências permaneceram praticamente constantes após 7 dias. Portanto, a fixação a relação a/c, considerando-se a resistência de dosagem (f_{cj}), será feita para a idade de 7 dias.

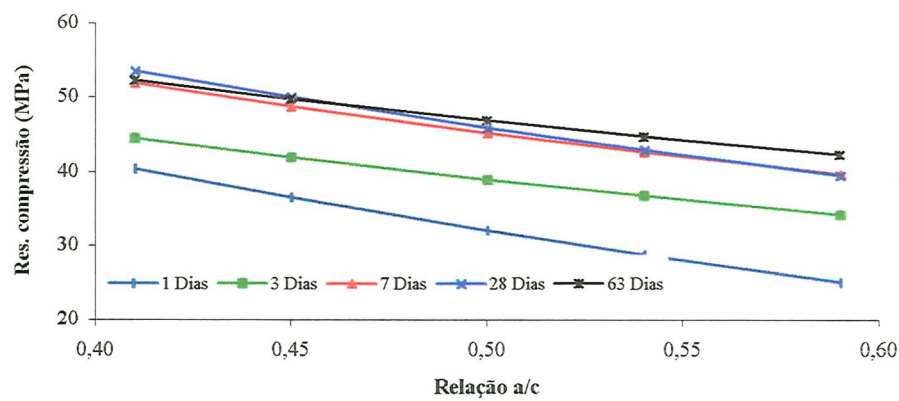


Figura 5: Resistência à compressão x relação a/c dos microconcretos

Nesta primeira etapa determina-se a relação água/cimento, que será sempre o menor valor considerando-se o critério de durabilidade (tabela 3) e resistência à compressão aos 7 dias(fig.5).

No trabalho “Propriedades Mecânicas dos Microconcretos leves de Alto Desempenho para Pré-Fabricados de Pequena Espessura”, destes mesmos autores e também apresentado no presente evento, foram determinados os valores da resistência à compressão aos 7 dias em função do consumo de cimento e da massa específica seca (NBR-9778) em função da resistência à compressão para microconcretos com 7 dias, conforme indicado, respectivamente, nas fig. 6 e 7.

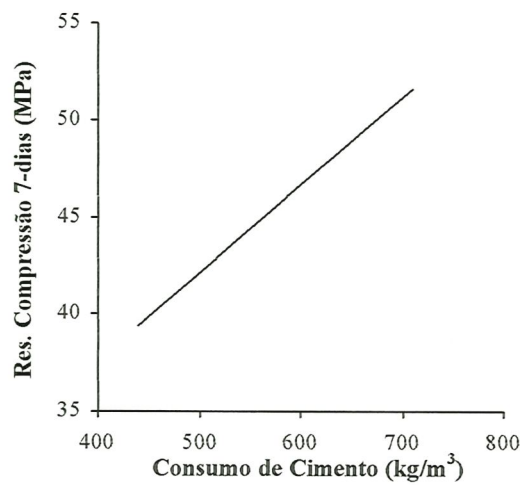


Figura 6: Resistência à compressão dos microconcretos aos 7 dias x consumo de cimento

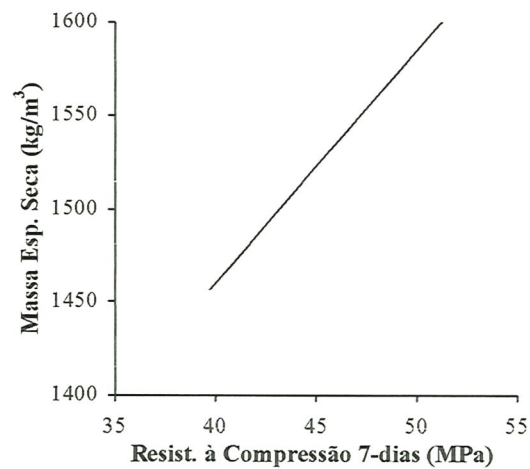


Figura 7 :Massa específica seca x resistência à compressão dos microconcretos aos 7 dias

Analisando-se estas funções pode-se observar que, para todas as dosagens, a resistência foi superior ao valor mínimo imposto de 35 MPa. Verifica-se, também, que a massa específica seca variou de 1.450 kg/m³ a 1.600 kg/m³, resultando num fator de eficiência mínimo da ordem de 28 MPa.dm³/kg, superior ao valor limite de 25 MPa.dm³/kg, característico para o CLAD.

Etapas 2- Determinação da quantidade de água total em função da trabalhabilidade dos microconcretos- determinação do teor de água/materiais secos.

O teor de água obtido para a trabalhabilidade necessária dos microconcretos, destinados à produção dos pré-fabricados esbeltos, foi aproximadamente 20%. Este valor foi encontrado baseando-se nos estudos desenvolvido por AGNESINI & GOMES NETO (1998).

O índice de consistência, fixado pelo espalhamento do tronco de cone (NBR-7215), de 200 ± 10 mm é adequado, considerando-se o processo de produção dos microconcretos.

Empregou-se um misturador planetário, com os materiais sendo colocados na cuba na seguinte sequência: 1º) o cimento e areia com parte da água; 2º) a lama formada pela sílica ativa, o restante da água e o superplastificante; 3º) argila expandida composta pelas frações 500 e 1506.

A argila expandida foi adicionada por último, adotando o método sugerido por ARMELIN et.al. (1994), com objetivo de amenizar a perda de trabalhabilidade, devido a absorção de água pela argila expandida. O tempo necessário para obtenção de uma mistura homogênea foi de aproximadamente 10 minutos. Com este método todas as misturas mantiveram-se trabalháveis após duas horas, apresentando uma perda média de 13% no índice de consistência.

Para avaliação da absorção de água pela argila e conseqüente perda de trabalhabilidade estudou-se, também, um processo semelhante ao adotado por ZANG, & GJØRV (1991). Assim, misturou-se inicialmente a argila expandida com metade da água por 10 minutos. Em seguida, foram adicionados o cimento, a sílica ativa, o aditivo superplastificante e o restante da água, efetuando a mistura por mais 5 minutos. Este processo resultou em uma perda de trabalhabilidade semelhante ao obtido no processo anterior. Portanto, para agilizar a produção dos microconcretos adotou-se o método inicialmente estudado.

O teor de água /materiais secos obtido foi adequado para um processo de compactação dos microconcretos em mesa vibratória. Em nenhuma das dosagem observou-se existência de segregação da argila expandida e de exsudação.

Etapa 3 - Estudo da granulometria ótima dos microconcretos - desdobramento do traço em massa.

O desdobramento do traço final, para a determinação dos teores adequados de areia, argila 0500 e argila 1506, foi realizado pesquisando-se procurando-se a granulometria ótima do agregado composto com a intenção de obterem-se microconcretos com as seguintes características: trabalhabilidade necessária, menor massa específica, menor consumo de cimento e maior fator de eficiência. Para tanto foram desenvolvidos os seguintes estudos:

1º) Obtenção da granulometria adequada para o agregado leve através da mistura das argilas expandidas comerciais usadas - determinação do teor ótimo de cada agregado leve.

Para a verificação do teor ótimo de proporcionamento entre as argilas expandidas 0500 e 1506 foram realizados estudos de distribuição granulométrica e massa unitária compactada com agregado seco. Limitou-se em 50% (em massa) o teor máximo de argila expandida 0500 na composição final do agregado leve, com a intenção de evitar o aumento excessivo da massa específica dos microconcretos.

Quanto à composição granulométrica procurou-se ajustar a granulometria da argila 0500, denominada agregado matriz, com o intuito de obter-se uma melhor distribuição considerando-se os limites fixados pela ASTM-C330 (EB-230).

Para os microconcretos leves, destinados à produção de pré-fabricado esbeltos, fixou-se a dimensão máxima característica de 9,5mm. Comercialmente a argila expandida 1506 é o material que atende esta especificação, mas sua distribuição granulométrica não se enquadra nos requisitos da ASTM-C330 (EB-230), como pode-se verificar na figura 1. Assim, com a intenção de ajustar-se a granulometria deste agregado, adicionou-se de 10 a 50% de argila expandida 0500, com dimensão máxima característica igual a 4,8 mm, em relação à massa total de agregado leve. As composições granulométricas destas misturas são apresentadas na tabela 6 e figura 8.

Analisando-se a granulometria das argilas 0500 e 1506 (figura 1), verifica-se que os dois tipos de argila expandida não atendem aos limites recomendados pela ASTM C330. Todavia, verificando-se a granulometria da figura 6, pode-se observar que as misturas 4 e 5 são as que mais se aproximam destes limites.

Tabela 6: Composição do agregado leve

Agregado leve	Mistura (% em massa)				
	M1	M2	M3	M4	M5
Argila 0500	10	20	30	40	50
Argila 1506	90	80	70	60	50

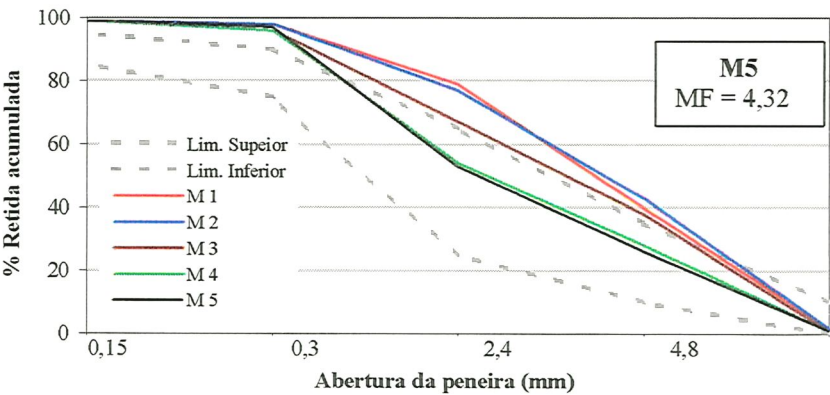


Figura 8: Distribuição granulométrica das misturas realizadas com as argilas 0500 e 1506, conforme tabela 6.
Obs: Limites fornecidos pela ASTM - C330 (EB-230)- graduação de 9,5-0mm

Por outro lado , considerando-se os valores determinados para a massa unitária compactada a seco do agregado leve composto (NBR-7810) e indicados na tabela 7, pode-se verificar que a mistura 5 apresentou o maior valor, e consequentemente o menor índice de vazios.

Tabela 7: Valores das massas unitárias para as cinco misturas de argila expandida.(NBR-7810)

Tipo de Mistura	Massa Unitária (kg/dm³)
1	0,75
2	0,77
3	0,81
4	0,82
5	0,85

Assim, com os resultados já obtidos, constata-se que o melhor teor de proporcionamento entre as argilas expandidas, de acordo com os limitantes pré-estabelecidos, foi obtido para a

mistura 5, ou seja, 50% de argila expandida 0500 e 50% de argila expandida 1506, em massa, na composição do agregado leve.

2º) Determinação do teor ideal de agregado natural- areia fina- para obtenção da granulometria ótima do agregado final.

A substituição parcial do agregado leve por areia natural quartzosa teve como objetivo otimizar a composição granulométrica do agregado total. Com isso, procurou-se melhorar as características e propriedades dos microconcretos, tais como, trabalhabilidade, consumo de cimento e resistência mecânica, sem aumentar demasiadamente a massa específica do material.

Para a utilização da areia natural, substituindo parcialmente o agregado leve, foram realizados ensaios iniciais variando as proporções desses agregados. A mistura inicial foi de 40% de areia natural e 60 % de agregado leve. Esses valores iniciais foram adotados tendo como referências as pesquisas realizadas por ZHANG & GJØRV (1991) e AGNESINI & GOMES NETO (1998).

Partindo desta quantidade inicial de areia foram analisadas as granulometrias dos agregados totais, obtidas fixando-se o teor de agregado natural em 10%, 20%, 30% e 40% em massa do agregado total.

Foram analisadas as seguintes propriedades dos microconcretos para as quatro misturas : índice de consistência (NBR-7215), massa específica no estado fresco (NBR-9833), consumo de cimento , resistência à compressão com 1 dia e 7 dias, massa específica seca (NBR-9778) e fator de eficiência aos 7 dias .

As misturas dosadas com 30% e 40% de areia apresentaram praticamente o mesmo índice de consistência. Já as preparadas com 10 % e 20% tiveram este índice reduzido , em média , da ordem de 10% e revelaram substancial perda de coesão .A mistura com 40% de areia apresentou valores para a massa específica no estado fresco e consumo efetivo de cimento, em média, 3% superiores, relativamente aos obtidos para a mistura preparada com 30% deste agregado.

Quanto às propriedades no estado endurecido, verificou-se que: as misturas com 30% e 40% de areia apresentaram, em média, praticamente a mesma resistência à compressão para microconcretos com 1 dia; aos 7 dias as resistências da mistura com 40% de areia foram 8% superiores às obtidas com 30%, mas o fator de eficiência aumentou apenas 3%.

Portanto, considerando-se todos estes resultados, a granulometria do agregado total foi composta, em massa, por 30% areia, 35% de argila expandida 0500 e 35% de argila expandida 1506. A curva granulométrica deste agregado composto está representada na figura 9.

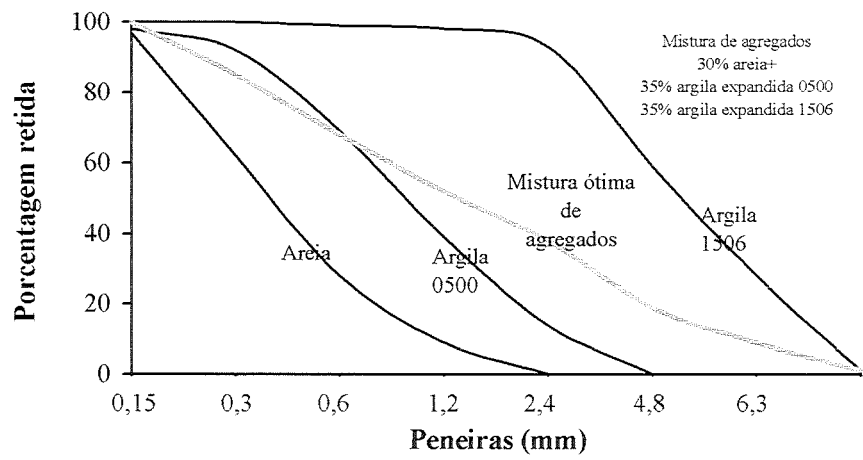


Figura 7 : Curva granulométrica do agregado composto por 30% areia, 35% de argila expandida 0500 e 35% de argila expandida 1506

A composição granulométrica do agregado composto resultou num módulo de finura de 3,61. Considerando-se que a areia natural e a mistura de 50% de cada tipo de argila apresentaram, respectivamente, para este índice, os valores 2 (figura 3) e 4,32 (figura 8), o teor ótimo de areia pode ser determinado de acordo com a seguinte formulação baseada nos estudos de ABRAMS:

$$a \% = \frac{MF_t - MF_{arg}}{MF_a - MF_{arg}} \cdot 100$$

Aonde: MF_t = módulo de finura do agregado total

MF_a = módulo de finura da areia

MF_{arg} = módulo de finura da mistura de argilas

Portanto, considerando-se os valores acima, o teor ótimo de areia é de 30% em relação ao agregado total.

EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DE DOSAGEM DO CLAD

Com base nos resultados encontrados nesta pesquisa, apresenta-se a seguir alguns casos práticos e ilustrativos de dosagem do CLAD.

1º)Microconcreto com $f_{ck} = 50 MPa$

- 1- Fixação da relação água/cimento (A/C)
- Classe de concreto = durável ; relação A/C máxima = 0,38 (tabela 3)

Resistência de dosagem- $fc_7 = 50 + 1,65 \times 2 = 53,3 MPa$; relação A/C= 0,50 (figura 5)

Relação A/C adotada = 0,38

2- Cálculo da quantidade de agregado total

Teor de água/ materiais secos = 20 %

$$m = \frac{100 \times 0,38}{20} - 1,1 = 0,8 \Rightarrow 1 : 0,8 : A/C = 0,38$$

Traço total $\Rightarrow 1 : 0,8 : A/C = 0,38$

3-Descobrimento do traço total

Granulometria ótima do agregado=30% areia ,35% de argila expandida 0500 e
35% de argila expandida 1506

O traço em massa obtido para o microconcreto será :

1: 0,24 : 0,28 : 0,28 : A/C = 0,38: S.A = 0,1: SPA: 0,015

(cimento: areia: argila0500: argila 1506: água: sílica ativa: superplastificante)

As características estimadas para este concreto serão:

- Resistências à compressão: 1dia = 41 MPa ; 3 dias = 44,5 MPa; 7dias = 52,4 MPa
e 28 dias = 54,7 MPa (figura 5)
- Consumo de cimento: 708 kg/m³ (figura 6)
- Massa específica seca: 1618 kg/m³ (figura 7)
- Fator de eficiência aos 7 dias = 32,4 MPa.dm³/kg

2º)Microconcreto com $f_{ck} = 35 \text{ MPa}$

3- Fixação da relação água/cimento (A/C)

Classe de concreto = resistente ; relação A/C máxima = 0,50 (tabela 3)

Resistência de dosagem- $f_{c7} = 35 + 1,65 \times 2 = 38,5 \text{ MPa}$; relação A/C > 0,60 (figura 5)

Relação A/C adotada = 0,50

4- Cálculo da quantidade de agregado total

Teor de água/ materiais secos =20 %

$$m = \frac{100 \times 0,50}{20} - 1,1 = 1,4 \Rightarrow 1 : 1,4 : A/C = 0,50$$

Traço total $\Rightarrow 1 : 1,4 : A/C = 0,50$

3-Descobrimento do traço total

Granulometria ótima do agregado=30% areia ,35% de argila expandida 0500 e
35% de argila expandida 1506

O traço em massa obtido para o microconcreto será :

1: 0,42 : 0,49 : 0,49 : A/C = 0,50: S.A= 0,1: SPA: 0,015

(cimento: areia: argila 0500: argila 1506: água: sílica ativa: superplastificante)

As características estimadas para este concreto serão:

- Resistência à compressão : 1 dia = 32,5 MPa; 3 dias = 39,2 MPa; 7dias = 45,8 MPa
e 28 dias = 46,3 MPa (figura 5)
- Consumo de cimento : 568 kg/m³(figura 6)

- Massa específica seca : 1524 kg/m^3 (figura 7)
- Fator de eficiência aos 7 dias: $30,0 \text{ MPa.dm}^3/\text{kg}$

BIBLIOGRAFIA

- AGNESINI, M.C.;& SILVA, L.F e (1997). Concretos de Alto Desempenho - estudo de dosagem de microconcretos para pré-fabricados de pequena espessura. In: JORNADA SUL-AMERICANA DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 28, São Carlos, 1997. *Anais*. São Carlos, EESC/USP, 1997, v.5, p.1985-1993.
- AGNESINI, M.C.& GOMES NETO, D.(1998). Microconcretos leves com argila expandida: influência da adição de sílica ativa no fator de eficiência em dosagens para pré-fabricados de pequena espessura – Estudo de caso IN: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 40, Rio de Janeiro, 1998. *Anais* Rio de Janeiro, IBRACON, 1998, CD-ROM, trabalho 22.
- AMARAL FILHO, E.M.(1992). Concreto de Alta Resistência - 1ª parte. *Revista Ibracon*. Ano II, n.4, p.40-49, abr/ mai/ jun.
- ARMELIN, H.;LIMA, M.G.;SELMO,S.M.S.(1994) .Alta Resistência com argila expandida: propriedades de concretos leves de alta resistência com argila nacional. *Revista Ibracon*. Ano Iv,n.9,p.42-47,agos/set.
- HELENE, P.R.L. (1995). Vida Útil das Estruturas. *Revista Técnica*. Ano __n.17, p.28-31, jul/ago.
- HOLM, T.A. ;BREMNER, T.W.(1995).High strength lightweight aggregate concrete. In: SHAH, S.P.; AHMAD, S.H. ed. High performance concrete: properties and applications. New York, McGraw-Hill. Cap. 10, p.341-374.
- KANTRO, D.L. (1980). Influence of Water-Reducing Admixtures on Properties of Cement Paste–A Miniature Slump Test. *Cement, Concrete and Aggregate*, vol. 2, nº 2, 1980, p.95-102.
- TEZUKA, YASUKO (1973). Concreto leve à base de argila expandida. Dissertação (mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- SPITZNER, J. (1991) High- Strength LWA Concrete. In: HIGH – STRENGTH CONCRETE – RILEM – Cap II Aggregates.
- ZANG, M.H.; GJØRV, O.E. (1991). Mechanical properties of high-strength lightweight concrete. *ACI Materials Journal*, v. 88, n. 3, p. 240-247.

AGRADECIMENTOS

A FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo financiamento desta pesquisa, e as empresas CIMINAS S.A., Microsílica Tecnologia, Ind. e Com. Ltda, CINASITA S.A. e MBT Brasil Ind. e Com. Ltda., pelo fornecimento dos materiais utilizados neste trabalho.