



11º Congresso Brasileiro de Engenharia
e Ciência dos Materiais

cbecimat

anais

Águas de São Pedro, SP
11 a 14 de dezembro de 1994

SYSNO	8-9062
PROD	000018
ACERVO EESC	

ARGAMASSAS E MICROCONCRETOS PARA ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE PEQUENA ESPESSURA

Prof. Dr. MARCOS VINÍCIO COSTA AGNESINI
Escola de Engenharia de São Carlos - USP

RESUMO

Neste trabalho são apresentadas algumas considerações sobre o controle de qualidade de argamassas e microconcretos de alto desempenho, destinados à execução de pré-fabricados de pequena espessura. Utilizando-se os resultados obtidos por pesquisadores do Laboratório de Construção Civil da EESC-USP e aspectos normativos, são abordados os seguintes tópicos: Especificações para os Materiais Componentes; Propriedades, Dosagem e Produção das Argamassas e Microconcretos.

1 - INTRODUÇÃO

As considerações apresentadas no presente trabalho sobre Tecnologia de Pré-fabricados, referem-se ao controle de qualidade de argamassas e microconcretos de elevado desempenho, utilizados na produção de componentes estruturais de pequena espessura que, neste estudo, serão denominados, genericamente, como "peças de argamassa armada". Estes pré-fabricados, com espessura não ultrapassando o valor convencional de 40mm, apresentam armadura de telas de aço de malhas de abertura limitada, distribuída em toda a seção transversal. Quanto à composição, são produzidos com cimento Portland, agregado miúdo ou mistura adequada de agregado miúdo e graúdo de dimensão máxima característica 9,5mm, e água. Eventualmente as "argamassas" poderão conter aditivos e adições que melhorem as suas propriedades.

Na indústria de pré-fabricados em "argamassa armada" é fundamental que a produção seja realizada com controle rigoroso de qualidade, considerando-se as características projetuais e a esbeltez destes componentes. Em sua grande maioria, os problemas verificados em obras de "argamassa armada" estão associados a um controle deficiente de produção. As principais falhas observadas são decorrentes da inadequação de projeto, especificações incorretas de materiais e equipamentos, bem como, a erros de execução. Como resultado destas inúmeras incorreções tecnológicas, muitas vezes verificadas conjuntamente, os componentes pré-fabricados de "argamassa armada" podem apresentar sérios problemas de qualidade, principalmente quanto à garantia de uma vida útil compatível. Assim, a seguir apresentam-se uma série de recomendações referentes à especificações de materiais constituintes, propriedades, dosagem e produção das "argamassas" estruturais, objetivando-se subsidiar a indústria na execução de pré-fabricados de "argamassa armada" com qualidade satisfatória, considerando-se não só a resistência mecânica mas também a durabilidade dos componentes.

2 - ESPECIFICAÇÕES DAS "ARGAMASSAS"

2.1 - Materiais Componentes

2.1.1 - Cimento Portland

Os tipos de cimento utilizáveis em "argamassa armada", respectivamente relacionados às suas especificações da ABNT, são: cimento Portland comum (CPI e CPI-S - NBR 5732), cimento Portland composto (CPII-E, CPII-Z e CPII-F - NBR 11.578), cimento Portland de Alto Forno (CPIII - NBR 5735), cimento Portland Pozolânico (CPIV - NBR 5736) e cimento Portland de Alta Resistência Inicial CPV - NBR 5733). O CPV-ARI é geralmente empregado na indústria de pré-fabricados de "argamassa armada" devido às suas características físicas e químicas que possibilitam a redução do tempo de desforma dos componentes. Entretanto este cimento, apesar das vantagens da alta resistência inicial e final, tem sido utilizado, em alguns casos, em regiões incompatíveis com o tipo do aglomerante. Este fato, agravado pelo emprego de formas produtivas inadequadas, tem resultado em sérios problemas de durabilidade dos componentes de "argamassa armada".

Em obras localizadas em ambientes ou micro regiões agressivas à "argamassa", é fundamental a utilização de cimentos que, além da resistência mecânica adequada, apresentem resistência química compatível. Com este objetivo recomenda-se o uso de cimentos Portland do tipo Resistentes a Sulfatos - RS (NBR 5737). Assim no caso do CPV-ARI (NBR 5733), admite-se a adição de escória granulada de alto forno ou de materiais pozolânicos ao clínquer Portland contendo baixos teores de C3A (<7%) e material carbonático (<5%), de modo que as exigências dos cimentos tipo RS, estabelecidas pela NBR 5737, fiquem satisfeitas. O estudo sobre a utilização do CPV-ARI-RS para execução de pré-fabricados de "argamassa armada", desenvolvido por AGNESINI e LIBÓRIO [1], demonstrou as vantagens da especificação

deste cimento para meio ambiente agressivo ou regiões viciadas, onde se faz necessário uma maior resistência química, sem prejuízo das resistências mecânicas iniciais e finais.

O emprego de cimento Portland com pozolanas ou escórias de alto forno não inviabiliza a produção de pré-fabricados de "argamassa armada". Neste caso o principal problema, o maior tempo de desforma, conseqüente da diminuição da resistência inicial, poderá ser compensado através da utilização de aditivos adequados ou cura térmica [1].

2.1.2 - Agregados

Na produção de pré-fabricados de "argamassa armada" admite-se o emprego de areia natural, a resultante do britamento de rochas estáveis, ou a mistura de ambas. Os agregados devem satisfazer as condições específicas fixadas pela NBR 7211. Todavia é de fundamental importância que os agregados sejam também submetidos a uma Apreciação Petrográfica (NBR 7389) e a avaliações quanto a possíveis reações álcali-agregados (NBR 9773 e NBR 9774).

Considerando-se os agregados com teores aceitáveis de substâncias nocivas e impurezas orgânicas, AGNESINI, SILVA e LIBÓRIO [2], realizaram pesquisas com o intuito de analisar as influências da composição granulométrica e da forma geométrica dos grãos. Quanto à granulometria, recomenda-se o emprego de areia média (zona 3 da NBR 7211) com teor de finos (peneiras 0,15 e 0,30mm) da ordem de 50%. Estas partículas finas contribuem significativamente para a obtenção de "argamassas" de alta impermeabilidade, facilitam o acabamento superficial e diminuem o efeito-parede (concentração de pasta entre a dupla forma metálica e os fios da armadura difusa) nos pré-fabricados. Admite-se como 2ª opção a utilização de areia de granulometria fina (zona 2). Quando do emprego de areias artificiais deve-se considerar também a influência da forma e da textura superficial das partículas nas propriedades das "argamassas". Para tanto recomenda-se que o agregado seja submetido aos ensaios prescritos na norma inglesa BS-812. Como os grãos com forma mais arredondada e textura lisa facilitam a obtenção da consistência desejada mas dificultam a aderência com a pasta, e as partículas angulosas e ásperas, apesar de prejudicarem a consistência, possibilitam uma melhor ligação entre pasta e agregado tal que suas "argamassas" apresentem maior resistência à tração, recomendam-se os seguintes índices quando da avaliação destas características: índice de arredondamento=0,5; número de angulosidade médio=6.

Quanto à dimensão máxima característica pode-se eventualmente utilizar um agregado graúdo, com $D_{\max} = 9,5$ mm (microconcreto), desde que seu teor máximo, em massa, relativamente ao agregado total seja de 40%.

2.1.3 - Aditivos

Na produção de pré-fabricados de "argamassa armada" os aditivos mais comumente empregados são os aditivos plastificantes e modificadores da pega do cimento (redutores de água), bem como, os aditivos superplastificantes. Estes aditivos deverão ser submetidos aos ensaios para verificação do desempenho (NBR 12317) e atender as condições específicas prescritas pela NBR 11768. Os ensaios para avaliação do desempenho possibilitam a perfeita qualificação do aditivo. Assim pode-se concluir adequadamente sobre os seguintes tipos de produtos comerciais: aditivo plastificante retardador - tipo PR; plastificante acelerador - tipo PA; superplastificante - tipo SP; superplastificante retardador - tipo SPR e aditivo superplastificante acelerador - tipo SPA. Para desformas rápidas dos componentes deve-se, portanto, tomar cuidados especiais na correta identificação do aditivo a ser eventualmente utilizado.

Quando for inevitável o emprego de aditivos aceleradores de pega, é aconselhável levar-se em conta o teor de cloreto de cálcio ou qualquer outra substância que possa favorecer o início de corrosão da armadura. A NBR 11173 (projeto e execução de "argamassa armada") considera proibitiva a utilização de aditivos que contenham cloreto de cálcio.

Deve-se evitar que os aditivos sejam excessivamente tensoativos, pois o excesso de ar introduzido pode prejudicar sobremaneira as propriedades da "argamassa". Recomenda-se também avaliar convenientemente a interferência do tipo de aditivo sobre a pega do cimento, sua correta dosagem e as interações aditivo-cimento e aditivo-aditivo. O efeito da temperatura sobre os efeitos do aditivo é de extrema importância considerando-se principalmente as diversas condições climáticas do nosso país. Temperaturas elevadas que ocorrem normalmente em climas quentes podem alterar o comportamento do aditivo. Assim é de fundamental importância que, com a devida antecedência, seja traçada em laboratório a curva de dosagem do aditivo em função da temperatura.

Atualmente os aditivos superplastificantes tem grande aplicação na indústria de pré-fabricados de "argamassa armada". O trabalho desenvolvido por AGNESINI e LIBÓRIO [1], relatam os resultados verificados quando da aplicação destes materiais em "argamassas" estruturais, com os seguintes objetivos: obtenção de elevadas resistências mecânicas, diminuição nos consumos de cimento e melhoria na consistência das misturas.

2.1.4 - Adições

Para a produção de pré-fabricados de "argamassa armada", podem ser utilizadas escória

granulada de alto forno e pozolanas naturais e artificiais, que deverão obedecer respectivamente à NBR 5735 e NBR 5736. Estas adições, convenientemente realizadas, melhoram consideravelmente a resistência química das "argamassas" estruturais.

Em obras localizadas em meios agressivos apreciáveis, ou que exijam componentes de elevada resistência mecânica, recomenda-se a adição de microsilica, a qual deverá ser empregada conjuntamente com aditivos redutores de água (superplastificantes). Com este objetivo SILVA [3], desenvolveu um estudo de dosagem de argamassas com adições de microsilica para emprego em "argamassa armada". Deve-se ressaltar ainda que a utilização de microsilica é de grande interesse nas seguintes aplicações: adição em "argamassas" de elevado desempenho com o intuito de facilitar a cura úmida e garantir a obtenção de altas resistências mecânicas iniciais e finais; substituição de parte do clínquer Portland ocasionando sensível diminuição no teor de C3A na composição do cimento, garantindo-se assim uma maior durabilidade dos componentes.

A adição de alguns tipos de polímeros também pode ser realizada para dosagens de "argamassas" estruturais. FERREIRA e LIBÓRIO [4], apresentaram nesta área um estudo sobre a utilização de argamassas modificadas com Latex de Estireno - Butadieno, como alternativa na produção de componentes de "argamassa armada" a serem aplicados em meio ambiente ou micro-regiões que requeiram proteção adicional da armadura de reforço de aço composto por telas, fios e barras.

A adição de fibras (contínuas ou descontínuas) aos componentes de "argamassa armada" tem ensejado recentes estudos por parte de pesquisadores, engenheiros civis e tecnólogos, com o objetivo de obterem-se características as mais próximas possíveis de um material homogêneo e isotrópico, moldável estruturalmente, ou que propicie um comportamento tal que se tenha uma redução de fissuras ou pelo menos apenas a formação de microfissuras.

Para a produção de componentes de "argamassa armada", verifica-se que a utilização das fibras de aço descontínuas é uma alternativa a ser considerada na composição da armadura, conforme descreve o trabalho desenvolvido por SILVA e TEZUKA [5].

2.2 - Propriedades das "Argamassas"

As recomendações relacionadas a seguir são fundamentadas em pesquisas e ensaios laboratoriais cujos resultados constam do trabalho elaborado por AGNESINI, SILVA e LIBÓRIO [2].

A trabalhabilidade das argamassas estruturais poderá ser avaliada através de ensaios de consistência.

Para tanto recomenda-se a determinação do respectivo índice através da NBR 7215, utilizando-se a mesa de consistência (FLOW TABLE). Normalmente na produção de componentes de "argamassa armada" empregam-se valores entre 160 e 250 mm. Para execução de peças com dupla fôrma metálica sugere-se um índice mínimo de 200 mm. Empregando-se fôrmas simples o índice médio é da ordem de 180 mm. Em casos de consistências fluidas (índices acima de 250 mm) a "argamassa" poderá exigir um aditivo plastificante ou superplastificante.

A resistência característica à compressão da "argamassa" (f_{ck}) não deve ser inferior a 35MPa. Para resistências elevadas as "argamassas" deverão apresentar dosagens adequadas (consumo e tipo de cimento, adição de microsilica, emprego de superplastificantes e composição granulométrica dos agregados) e utilização de processos industriais na produção dos componentes, que combinem vibração e pressão.

A massa específica e absorção de água das "argamassas" são determinadas através da NBR 9778. Recomenda-se o emprego de "argamassas" de baixa porosidade, de tal modo a se obter massa específica mínima de 2000 kg/m³ e absorção máxima de 6%.

O coeficiente de permeabilidade à água, determinado de acordo com a NBR 10786, não deverá ultrapassar 1×10^{-14} m/s.

3 - PRODUÇÃO DAS "ARGAMASSAS"

3.1 - Dosagem Experimental

A dosagem experimental tem como objetivo estabelecer o traço em massa da "argamassa" para que esta tenha resistência, durabilidade e trabalhabilidade previstas, expressa esta última pela consistência. A resistência de dosagem f_{cd} será determinada em função do f_{ck} especificado no projeto e do desvio padrão (S_d) de acordo com o controle rigoroso adotado na produção ($f_{cd} = f_{ck} + 1,65 S_d$). A relação água/cimento será determinada em função da resistência de dosagem e das peculiaridades da obra relativas à sua durabilidade. O valor máximo admissível para a relação a/c é 0,45 l/kg. A determinação da quantidade de agregado dar-se-á em função do índice de consistência desejado, determinado de acordo com a NBR 7215 - mesa de fluidez. Seguindo-se estas indicações, os valores obtidos na prática variam segundo as seguintes faixas: agregado/cimento: 1,8 a 3,5 em massa; relação água/cimento: 0,35 a 0,45; consumo de cimento: de 470 a 700 kg/m³. Em quaisquer das situações, a quantidade de água deve ser limitada em 250 kg/m³.

3.2 - Preparo

Os materiais componentes da "argamassa" devem ser medidos sempre em massa, devendo-se

corrigir as quantidades de agregado e de água em função do teor de umidade, determinado por método preciso (NBR 9775). Cuidados especiais devem ser verificados na medida da água e de aditivos, devendo-se empregar para tanto dispositivos dosadores adequados. O amassamento deverá ser mecanizado com tempo necessário à perfeita homogeneização dos materiais. As betoneiras com tambor giratório de eixo horizontal podem ser empregadas, porém recomenda-se equipamentos de mistura de eixo vertical (turbo misturadora e contra-corrente), por proporcionarem perfeita mistura.

3.3 - Transporte, Lançamento e Adensamento

O tempo decorrido entre a mistura e o lançamento da "argamassa" não deverá exceder a 20 minutos. Este valor poderá ser prolongado, quando da utilização de um aditivo redutor-retardador de pega. Em hipótese alguma, o lançamento deverá ser feito após o início de pega. Para diminuir-se a penetração de ar durante o lançamento da "argamassa" deve-se estudar a possibilidade da introdução de funis ou tremônhas nas formas para o escoamento da massa, bem como, da colocação da mistura fresca em camadas verticais, repetindo-se este processo, no sentido longitudinal do componente, até completar-se a moldagem.

Para o adensamento são utilizadas mesas, placas ou régua vibratórias e vibradores de forma, com alta frequência, tal que a vibração resultante nestes equipamentos seja de no mínimo 10.000 vpm. É fundamental o projeto de dispositivos para perfeita fixação das peças nas mesas ou dos vibradores nas formas. Cuidados especiais devem ser tomados quanto a estanqueidade das formas para que não haja perda de pasta durante a vibração. É contra indicado a execução do lançamento e da vibração dos componentes na posição vertical devido a possibilidade de maior segregação da "argamassa". O lançamento realizado na vertical pode também contribuir para a introdução de um maior teor de ar na "argamassa".

3.4 - Cura e Desforma

Nos aspectos gerais, aplicam-se as disposições da NBR 9062 para cura normal e acelerada. A cura poderá ser por imersão das peças ou térmica (vapor), e deverá se estender por período mínimo até que se atinja $f_{cj} = 70\%$ f_{ck} , podendo a seguir, ser o elemento curado ao ar, porém ainda protegido até que se atinja $f_{cj} = f_{ck} + 1,65 \times 4$ (MPa).

Desejando-se uma cura mais prolongada, podem ser utilizadas membranas de cura que assegurem a impermeabilidade pelo tempo desejado. As deformas poderão ser feitas quando a resistência da "argamassa" atingir no mínimo 10 MPa. Deve-se, no entanto, avaliar esse valor para cada elemento, com relação às solicitações

e ações que estará submetida a peça em estudo, levando-se em conta a armadura existente.

Quando da aplicação do processo de cura a vapor é indispensável a realização em laboratório de um estudo experimental visando estabelecer o tempo total do ciclo de cura térmica (pré-cura, elevação, manutenção e resfriamento da temperatura) em função do tipo de cimento utilizado, características das "argamassas", emprego de aditivos, fator de maturidade desejado e características dos componentes. Posteriormente o ciclo determinado deve ser convenientemente avaliado na indústria.

4 - REFERÊNCIAS

- [1] AGNESINI, M.V.C.; LIBÓRIO, J.B.L. Estudo sobre a utilização do CPV-ARI-RS para execução de pré-moldados de "argamassa armada". In: Congresso Brasileiro de Cimento, 3, São Paulo, 1993. ANAIS, ABCP, São Paulo, 1993. v. 2, p.639-655.
- [2] AGNESINI, M.V.C; SILVA, L.F. e; LIBÓRIO, J.B.L. Controle de Qualidade em Obras de "Argamassa Armada". In: REUNIÃO ANUAL DO IBRACON, 35, Brasília, 1993. ANAIS, IBRACON, São Paulo, 1993. V.1 p. 359-371.
- [3] SILVA, L.F. e. Argamassas com microsilica: estudo de consistência e resistência. In: REUNIÃO ANUAL DO IBRACON, 30, Rio de Janeiro, 1988. ANAIS. Rio de Janeiro, IBRACON, 1988. p. 165-176.
- [4] FERREIRA, O.P.; LIBÓRIO, J.B.L. A produção de elementos estruturais de "argamassa armada" utilizando argamassa modificada com Latex de Estireno-Butadieno. In: REUNIÃO ANUAL DO IBRACON, 35, Brasília, 1993. ANAIS. IBRACON, São Paulo, 1993. V.2. p. 679-688
- [5] SILVA, L.F. e TESUKA, Y. Comportamento à flexão de placas de "argamassa armada" com fibras de aço onduladas. São Paulo, EPUSP, 1992. (B.T./PCC/72). 19 p.

SUMMARY

In this work some considerations on the quality control of mortars and high performance microconcretes assigned to the execution of small thickness prefabricates are presented by using the results obtained by researches of Lab. de Const. Civil of EESC-USP and standard aspects the following topics are approached: specifications for component materials, properties, mix design and production of mortars and microconcretes.