



SAP
26.05.95

I CONGRESSO DE ENGENHARIA CIVIL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA

(3)
I
CIVIL

vid

CONGRESSO DE
ENGENHARIA

SYSNO	880390
PROD	000038
ACERVO EESC	

st. 880390

JUIZ DE FORA—AGOSTO DE 1994

Iº Congresso de
Engenharia Civil
- U.F.J.F -

Juiz de Fora - agosto / 1994

Comissão Organizadora

Emil de Souza Sánchez Filho
Maria Teresa Gomes Barbosa

Comissão Técnica

Emil de Souza Sánchez Filho
Maria Teresa Gomes Barbosa
Afonso Celso de Castro Lemonge
Antônio Eduardo Polisseni

Diretor da Faculdade de Engenharia da U.F.J.F.

Júlio César da Silva Portela

TECNOLOGIA DE PRÉ-FABRICADOS - CONTROLE DA QUALIDADE DE
ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE PEQUENA ESPESSURA, PRODUZIDOS COM
ARGAMASSAS E MICROCONCRETOS DE ELEVADO DESEMPENHO

Autor: Prof. Dr. MARCOS VINICIO COSTA AGNESINI

129.844

Escola de Engenharia de São Carlos - USP

92721

RESUMO

O Laboratório de Construção Civil da EESC-USP vem sistematicamente realizando pesquisas sobre Tecnologia de Pré-Fabricados de Pequena Espessura, produzidos com argamassas e microconcretos de elevado desempenho.

Neste trabalho são apresentados os resultados obtidos por pesquisadores deste laboratório na área da tecnologia da "argamassa armada". Considerando-se as experiências acumuladas e aspectos normativos, são abordados os seguintes tópicos: Especificações para os Materiais Componentes; Propriedades das Argamassas e Microconcretos; Tipologia das Armaduras; Especificações para o Sistema Produtivo e Controle de Qualidade e Inspeção.

1 - INTRODUÇÃO

As considerações apresentadas no presente trabalho sobre Tecnologia de Pré-Fabricados, restringem-se ao controle de qualidade de componentes de pequena espessura, produzidos com argamassas ou microconcretos de elevado desempenho, que serão denominados, genericamente, peças de "argamassa armada". Estes pré-fabricados, com espessura não ultrapassando o valor convencional de 40 mm, 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 grão de dimensão máxima característica 9,5 mm, e água. Eventualmente as "argamassas" poderão conter aditivos e adições que melhorem as suas propriedades. O elevado desempenho dos pré-fabricados de grande esbeltez é caracterizado por dosagens de "argamassas" de alta resistência à compressão e pelas medidas necessárias para assegurar a durabilidade dos componentes, isto é, para garantir uma vida útil fixada em função das condições ambientais e da importância da estrutura.

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. Avaliações feitas por LIBÓRIO, 1989, em obras consolidadas, indicaram serem poucos os defeitos decorrentes de concepção e cálculo estrutural. As principais falhas observadas nos componentes de "argamassa armada" deveram-se a 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" apresentaram 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

1514952 - 09.05.95

constituintes, propriedades e dosagem das "argamassas" estruturais e sistemas produtivos objetivando-se subsidiar a indústria na produção de pré-fabricados de "argamassa armada" com qualidade satisfatória, considerando-se não só a resistência mecânica mas também a durabilidade dos componentes.

2 - ESPECIFICAÇÕES DOS MATERIAIS

2.1 - MATERIAIS COMPONENTES DAS "ARGAMASSAS" ESTRUTURAIS

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, 1993, 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 cimentos 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. Comprovações neste sentido foram realizadas e encontram-se relatadas nos trabalhos de AGNESINI e LIBÓRIO, 1992 e 1993.

2.1.2 - AGREGADOS

Na produção de pré-fabricados de "argamassa armada" admite-se o emprego de areia natural ou 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 Avaliação 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 (torrões de argila, partículas leves e materiais pulverulentos) e impurezas orgânicas, AGNESINI e LIBÓRIO, 1992 e 1993, 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 (finuras 0,15 e 0,30 mm) 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 fôrma 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 máx. = 9,5 mm (microconcreto), desde que seu teor máximo, em massa, relativamente ao agregado total seja de 40%. Ressalta-se, porém, que em qualquer situação, a definição da dimensão máxima do agregado deve estar sujeita as seguintes considerações: dimensões das fôrmas, taxa de distribuição da armadura, processos produtivos, bem como, aberturas projetadas e seu distanciamento da fôrma.

2.1.3 - ÁGUA DE AMASSAMENTO

Deverão ser satisfeitas as exigências de potabilidade e seguidas as recomendações da NBR 6118, no que se refere à limitação de elementos agressivos. Outras normas deverão ser consultadas para avaliação do pH, seguindo-se a NBR 9251, e teor de ácido carbônico agressivo de acordo com a NBR 9254. No caso de emprego de águas não provenientes de abastecimento público, retiradas de rios, lagos e poços, é indispensável a mesma consideração quanto aos ensaios químicos, para a detecção de possíveis substâncias nocivas à "argamassa", além de comparação de resistências mecânicas - Ensaios de Qualidade (NBR-7215). Por outro lado, é importante também ser observado o teor de ions cloro (Cl-) livres no final da composição da "argamassa", visto que quantidades excessivas podem ser carreadas na água, nos agregados e no próprio cimento. O ensaio de qualificação das fontes de água deve atender as prescrições da NBR 12654 (sulfetos, cloretos, matéria orgânica, sólidos e pH).

2.1.4 - 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". Os trabalhos desenvolvidos por AGNESINI e LIBÓRIO, 1992 e 1993, 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 ou melhoria na consistência das misturas. Estudou-se também a interferência de aditivos superplastificantes sobre o processo de cura das "argamassas", inclusive quando do emprego de cura térmica (vapor).

2.1.5 - 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 microssilica, a qual deverá ser empregada conjuntamente com aditivos redutores de água (superplastificantes). Com este objetivo SILVA 1993, desenvolveu um estudo de dosagem de argamassas com adições de microssilica para emprego em "argamassa armada". Deve-se ressaltar ainda que a utilização de microssilica 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, 1993, 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.

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, LIBÓRIO e SILVA, 1993.

2.2.1 - TRABALHABILIDADE

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.

2.2.2 - RESISTÊNCIA MECÂNICA

A resistência característica à compressão da "argamassa" (f_{ck}) não deve ser inferior a 35 MPa. Por outro lado, as "argamassas" poderão apresentar classes de resistências características de até 80 MPa, segundo a NBR 8953. Para resistências elevadas as "argamassas" deverão apresentar dosagens adequadas (consumo e tipo adequado de cimento, adição de microssilica, emprego de superplastificantes e composição granulométrica adequada dos agregados) e utilização de processos industriais na produção dos componentes que combinem vibração e pressão.

2.2.3 - MASSA ESPECÍFICA E ABSORÇÃO DE ÁGUA

A massa específica e absorção de água das "argamassas" são determinadas através da NBR 9778. O valor mínimo admissível para a massa específica é de 1800 kg/m^3 ; o teor máximo de absorção de água é de 8%. Estes índices são fixados pela NBR 11173. Todavia, recomenda-se o emprego de "argamassas" de menor porosidade, de tal modo a se obter massa específica mínima de 2000 kg/m^3 e absorção máxima de 6%.

2.2.4 - PERMEABILIDADE

O coeficiente de permeabilidade à água, máximo, determinado de acordo com a NBR 10786 e verificado em argamassas com teores de cimento da ordem de 400 kg/m^3 , é de $2,5 \times 10^{-14} \text{ m/s}$, conforme relatório de pesquisa apresentado por AGNESINI, 1988. Todavia, empregando-se dosagens usuais de cimento, agregados com granulometria e forma adequadas, e relação água/cimento de no máximo 0,45, o valor para este coeficiente não deverá ultrapassar $1 \times 10^{-14} \text{ m/s}$.

2.3 - ARMADURAS

As armaduras normalmente empregadas em pré-fabricados de "argamassa armada" deverão satisfazer as seguintes Normas da ABNT: NBR 11173, NBR 6118, NBR 7480, NBR 7481 e NBR 5916. A armadura formada por fios e/ou barras e telas terá diâmetros limitados a 1/4 da espessura da peça ou a 8mm.

2.3.1 - ARMADURA DIFUSA

A armadura dos componentes deverá conter em sua composição telas de aço soldadas designadas pelos tipos Q e L, em aço CA-60, ou QA e LA, em aço CA-50B. Esta armadura poderá ser composta por várias camadas de telas, devendo, no entanto, apresentar espaçamentos entre fios, na direção principal, de no máximo 50mm. O diâmetro mínimo dos fios será de 2mm. As telas deverão ser adquiridas em rolos e/ou painéis, compatibilizados com as dimensões dos elementos estruturais projetados. Não deverão ser utilizados aços diferentes que induzam a mecanismos de corrosão por instalação de diferenças de potenciais elétricos apreciáveis. A armadura deverá ser suficientemente rígida para permitir o estabelecimento de cobrimentos práticos de no mínimo 5 mm.

2.3.2 - ARMADURA DISCRETA

A armadura discreta dos componentes deverá ser composta por barras e fios de aço em CA-60 ou CA-50, efetivamente incorporadas com finalidade estrutural ou apresentando somente características construtivas. As bitolas nominais desta armadura complementar estarão compreendidas entre 3 e 8mm.

2.3.3 - ARMADURA DIFUSA DESCONTÍNUA

A adição de armadura em forma 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.

Na construção civil brasileira as fibras mais empregadas em matrizes de pastas, argamassas e concretos de cimento Portland são as de amianto crisotila, de vidro (tipo E - resistente a álcalis), de aço de alta resistência, de polipropileno e as de coco, conforme descrito no trabalho de AGOPYAN, 1993. Todavia, 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.

O trabalho desenvolvido por SILVA e TEZUKA, 1990, relata pesquisa sobre o comportamento à flexão de placas de "argamassa armada" com fibras de aço onduladas. Estas placas de "argamassa armada" foram confeccionadas somente com fibras, com telas de aço soldadas e com armadura composta por telas e fibras de aço onduladas. As placas com telas e fibras apresentaram melhor comportamento em relação as de "argamassa armada" tradicional levando os pesquisadores a afirmar que o emprego de fibras de aço onduladas em placas de "argamassa armada", pode reduzir até pela metade a armadura convencional de telas soldadas.

com desempenho superior às placas similares sem fibras. Como a incidência de custo da armadura com telas de aço soldadas, em componentes de "argamassa armada", é relativamente elevada (atingindo cerca de 63% do custo de painéis, considerando-se argamassa, armadura e arma metálica), pode-se prever uma substancial economia, devido ao bom desempenho dos compósitos reforçados com fibras.

3. ESPECIFICAÇÕES PARA O SISTEMA PRODUTIVO

No geral, todas as prescrições contidas na NBR 11173, NBR 6118 e NBR 9062, devem ser verificadas, quando da produção de componentes pré-fabricados de "argamassa armada".

3.1 - FÔRMAS

As formas devem: ser suficientemente rígidas para permitir um adensamento adequado em todos os pontos; apresentar estanqueidade; permitir a introdução da "argamassa", e a saída de bolhas de ar formadas na argamassagem; proporcionar desformas suaves; estar perfeitamente limpas e protegidas das interpéries.

As especificações para o projeto e execução de fôrmas parciais (fixas e móveis) e duplas fôrmas metálicas, destinadas a produção de componentes de "argamassa armada", são devidamente comentadas no trabalho elaborado por LIBÓRIO, 1989.

3.2 - ARMADURAS

Devem ser apresentadas instruções para o desempenamento e a limpeza, planos de corte das telas, barras e fios de aço, orientações para o dobramento, amarração e utilização de gabaritos para montagem das armaduras, bem como a localização de espaçadores de modo a garantir o cobrimento desejado. O número de espaçadores será em média de 20 unidades por m², ou o quanto for necessário para manter a camada de cobrimento de argamassa em todas as direções.

LIBÓRIO, 1989, descreve uma série de comentários, a partir de observações feitas na prática, sobre projeto e execução da armadura em componentes de "argamassa armada", ressaltando principalmente a importância do dobramento da armadura e seu posicionamento.

3.3 - PRODUÇÃO DAS "ARGAMASSAS" (MICROCONCRETOS)

3.3.1 - 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 nesta última pela consistência. A resistência de dosagem f_{cj} 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 ($f_{cj} = f_{ck} + 1,65 S_d$). 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. Ressalte-se que este índice representa a trabalhabilidade da

"argamassa", a qual será estabelecida em função das dimensões das peças, distribuição das armaduras e dos processos de aplicação e adensamento a serem empregados na sua produção. 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. (AGNESINI e LIBÓRIO, 1992 e 1993).

3.3.2 - PREPARO DA "ARGAMASSA" (MICROCONCRETO)

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 a 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.

3.3.3 - TRANSPORTE, LANÇAMENTO E ADENSAMENTO DA "ARGAMASSA" (MICROCONCRETO)

O transporte da "argamassa" deve ser cuidadoso, não acarretando desagregação e perda dos componentes por vazamento ou evaporação. 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 tremonhas nas fôrmas para o escoamento da massa, bem como, da colocação da mistura fresca em camadas verticais, repetindo-se este processo, no sentido longitudinal da componente, até completar-se a moldagem.

Para o adensamento: são utilizadas mesas, placas ou régua vibratórias e vibradores de fôrma, 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 fôrmas. Cuidados especiais devem ser tomados quanto a estanqueidade das fôrmas para que não haja perda de pasta durante a vibração. É contraindicado 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 DEFORMA DOS COMPONENTES

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) com ciclos previamente estudados, e deverá se estender por período mínimo até que se atinja $f_{ck} = 70\% f_{ck}$, podendo, a seguir, ser o elemento curado ao ar, porém ainda protegido até que se atinja $f_{ck} = f_{ck} + 1,6 \times 4$ (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

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 e 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. No trabalho realizado por AGNESINI e LIBÓRIO, 1993, foram estudados alguns ciclos de cura a vapor para "argamassas" estruturais, dosadas com e sem aditivo superplastificante. Os resultados destas pesquisas indicaram que para o cimento Portland empregado (CPV-ARI-RS), foram obtidas resistências mecânicas nas 1as. horas que possibilitam a reutilização de fôrmas na produção seriada de pré-fabricados de "argamassa armada" em até 3 ciclos diários, sem maior prejuízo das resistências finais dos componentes.

3.5 - MANUSEIO, ARMAZENAMENTO, TRANSPORTE DAS PEÇAS PRÉ-FABRICADAS

As peças pré-fabricadas poderão ser manipuladas por equipamentos, ou manualmente, evitando-se solicitações ou condições diferentes das previstas no projeto. O armazenamento será em local protegido, devendo-se evitar situações que comprometam a qualidade das peças. O transporte de peças da fábrica à obra deverá ser feito cuidadosamente, em berços especialmente construídos, com a finalidade de se evitar concentrações de tensões incompatíveis com a peça e ações excessivas oriundas de vibrações.

3.6 - PROTEÇÕES, BARREIRAS E TERAPIAS

Em ambientes fortemente agressivos, as superfícies dos pré-fabricados de "argamassa armada" deverão receber proteção de pinturas como P.V.A. epóxi, borracha clorada, poliuretano, ou com vernizes acrílicos e silicones, ou ainda, com membranas impermeáveis. Tratamentos e terapias especiais deverão ser analisados caso a caso.

4 - CONTROLE DE QUALIDADE E INSPEÇÃO

4.1 - MATERIAIS COMPONENTES DAS "ARGAMASSAS" E MICROCONCRETOS

4.1.1 - CIMENTO

A amostragem deve ser feita segundo o disposto na NBR 5741 (MB-508). Para a aceitação dos diversos tipos de cimento, aplicam-se as prescrições das seguintes normas: NBR 5732 (EB-1) para o CP-comum; NBR 5733 (EB-2) para o CP V-ARI; NBR 5735 (EB-208) para o CP III (AF); NBR 5736 (EB-758) para o CP IV (POZ); NBR 11578 (EB-2138) para o CP II (composto) e NBR 5737 (EB-903) para os CP resistentes a sulfatos. Quanto à inspeção e armazenamento, aplicam-se as mesmas normas citadas anteriormente.

Para amostragem e inspeção deve-se obedecer a NBR 7216 (MB-6). Para aceitação aplica-se o prescrito na NBR 7211 (EB-4). Para o armazenamento deve-se seguir o disposto na NBR 11173 (NB-1259).

4.1.3 - ÁGUA

Para aceitação e armazenamento da água de amassamento utilizam-se as prescrições da NBR 11173 (NB-1259), para águas provenientes do abastecimento público e demais proveniências.

4.1.4 - ADITIVOS

A amostragem e os ensaios de qualificação serão executados de acordo com as seguintes normas: NBR 11768 (EB-1763), NBR 12317 (NB-1401) e NBR 9062 (NB-949). Para aceitação e o armazenamento deverão respeitar a NBR 11173 (NB-1259).

4.1.5 - TELAS, BARRAS E FIOS DE AÇO

Para barras e fios de aço, o controle e as condições de aceitação estão prescritos na NBR 7480 (EB-3); para as telas de aço soldadas emprega-se a NBR 7481 (EB-565). Para os demais tipos de telas de aço, a aceitação deverá ser feita de acordo com a NBR 11173 (NB-1259). Quanto ao armazenamento deve-se consultar também a NBR 11173 (NB-1259).

4.2 - PRODUÇÃO

Para o controle de qualidade e inspeção da produção dos componentes da "argamassa armada" deverão ser obedecidas as prescrições contidas na NBR 11173 (NB-1259).

4.2.1 - FÔRMAS

As fôrmas deverão passar por controles que garantem: estanqueidade, travamento, reprodução dos elementos projetados (dimensões e tolerâncias), rigidez, ortogonalidade, desmoldagem suave, resistência a ações de vibrações e solicitações na execução, e posição dos furos, insertos, alças de içamento, recortes e saliências.

4.2.2 - ARMADURAS

Os materiais que compõem a armadura deverão estar em locais protegidos, e permanecer inalterados, de conformidade com sua aceitação e recebimento. Serão adotados gabaritos para sua confecção. Na verificação das armaduras serão considerados: limpeza e oxidação, dimensão de corte e dobramento; tolerância de acordo com as especificações; tipo, quantidade, dimensões e locações das barras, conforme o projeto; deformações e torções; e armazenamento das armaduras prontas e na posição final nas fôrmas.

4.2.3 - DOSAGEM E PROPRIEDADES DAS "ARGAMASSAS"

A verificação da dosagem experimental tem por finalidade comprovar se os constituintes estão sendo utilizados nas quantidades especificadas no traço da argamassa.

(microconcreto). Deverá ser feita freqüentemente, pelo menos 1 vez ao dia, e sempre que houver alteração no traço ou modificações das características dos constituintes. No controle da trabalhabilidade e da resistência mecânica aplica-se a NBR 11173 (NB-1259).

4.3 - PRODUTO ACABADO

Para o controle e aceitação dos pré-fabricados de pequena espessura, produzidos com argamassas e microconcretos, deve-se remeter às seguintes normas: NBR 11173 (NB-1259) e NBR 9062 (NB-949). Durante a inspeção devem ser observados os seguintes aspectos: identificação dos elementos; condições de armazenamento; dimensões dos elementos, recortes ou saliências e respectivas tolerâncias; existência de falhas ou defeitos de lançamento ou adensamento da argamassa (microconcreto); presença de fissuras; aparência do produto quanto a rebarbas, cantos quebrados, homogeneidade da cor e textura da superfície; porosidade da "argamassa"; tolerâncias em relação a distorções, não linearidade, flechas e contra-flechas.

5 - REFERÊNCIAS

- AGNESINI, M.V.C. Argamassas Hidráulicas Simples de CP-32 e areia natural quatzosa destinadas a execução de peças pré-fabricadas de "argamassa armada". São Carlos - Escola de Engenharia de São Carlos - USP, 1985. 114 p.
- AGNESINI, M.V.C. & LIBÓRIO, J.B.L. A Importância de Análise Histórica na Evolução da Tecnologia da "Argamassa Armada". In: REUNIÃO ANUAL DO IBRACON, 34, Curitiba, 1992. ANAIS. São Paulo. IBRACON, 1992. v.1.p.39 - 49.
- AGNESINI, M.V.C. & LIBÓRIO, J.B.L. O Emprego do Cimento Portland de Alta Resistência Inicial, Composto com Escória Granulada de Alto Forno (CP+ARIE), para Execução de Pré-Moldados de "Argamassa Armada". In: REUNIÃO ANUAL DO IBRACON, 34, Curitiba, 1992. ANAIS. IBRACON, São Paulo, 1992. V1. p. 179-191.
- 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.
- 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.
- AGOPYAN, V. O emprego de materiais fibrosos na Construção Civil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE MATERIAIS REFORÇADOS COM FIBRAS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL - São Paulo 1993. ANAIS. São Paulo, EPUSP, 1993. p. 11-25.
- 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

- LIBORIO, J.B.T. Estudo patológico das Construções de "Argamassa Armada" existentes no Brasil. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, 1989 (tese de doutoramento, 329 p).
- SILVA, L.F. e. Argamassas com microsilica: estudo de consistência e resistência. REUNIÃO ANUAL DO IBRACON, 30, São de Janeiro, 1988. Vol. AIS, Rio de Janeiro, IBRACON, 1988, p. 165-176
- SILVA, L.F. e TESUKA, Y. Comportamento a flexão de placas de "argamassa armada" com fibras de aço ondulados. São Paulo, EPU SP, 1992. (B.T. PCC 72) 19 p.