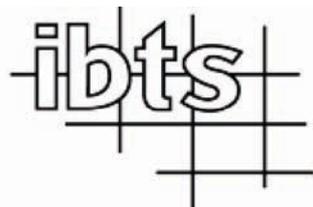


# ARGAMASSA ARMADA

VOLUME 1

PRODUÇÃO INDUSTRIALIZADA:  
APLICAÇÕES E PROCESSO  
DE FABRICAÇÃO  
COM TELAS SOLDADAS





**IBTS - Instituto Brasileiro de Telas Soldadas**

Rua Cardoso de Almeida, 313 conj. 123

CEP 05013-000 - São Paulo - SP

Tel: 11 3826-5954 - 3826-9804

[www.ibts.org.br](http://www.ibts.org.br)

# ARGAMASSA ARMADA

PRODUÇÃO INDUSTRIALIZADA:  
APLICAÇÕES E PROCESSO DE FABRICAÇÃO  
COM TELAS SOLDADAS

Arq. Paulo Eduardo Fonseca de Campos\*

---

\* Consultor técnico do IBTS, Docente da Escola de Engenharia de Lins, foi Chefe do Departamento de Tecnologia do CEDEC/EMURB-Centro de Desenvolvimento de Equipamentos Urbanos e Comunitários da Empresa Municipal de Urbanização de São Paulo (1989-1992); Arquiteto pela FAU/PUCCampinas, 1981; Mestre em Engenharia Civil pela EPUSP, 1989.

# Índice

<b>1. Introdução</b> .....	4
<b>2. A estrutura interna do material</b> .....	5
2.1 Definição .....	5
2.2 O papel das armaduras .....	6
2.3 As telas soldadas .....	6
<b>3. A evolução da tecnologia e sua consolidação no Brasil</b> .....	8
3.1 Breve histórico .....	8
3.2 A consolidação da tecnologia no cenário nacional .....	10
3.3 A proposta do CEDEC/EMURB (São Paulo, 1990-1992) .....	14
<b>4. Tecnologia de fabricação</b> .....	16
4.1 Etapas de produção .....	16
4.1.1 Armaduras .....	16
4.1.2 As características da argamassa .....	19
4.1.3 A importância da cura .....	21
4.2 Tipologia de fôrmas .....	21
4.2.1 Níveis de implicação com a produção .....	22
4.2.2 Classificação .....	23
4.3 A qualidade das fôrmas para argamassa armada .....	25
4.3.1 Materiais .....	25
4.3.2 Dimensionamento e detalhamento .....	27
4.3.3 Racionalização de custos das fôrmas .....	29
<b>5. Conclusão</b> .....	30
<b>6. Referências bibliográficas</b> .....	31

## **Editorial**

A designação argamassa armada pode conduzir a uma idéia de material recém descoberto. Essa tecnologia, no entanto, tem suas origens em meados do século passado, podendo ser considerada a precursora do próprio concreto armado. Atualmente, passadas três décadas desde a sua introdução no Brasil, através do chamado Grupo de São Carlos, a argamassa armada vem demonstrando cada vez mais o seu potencial para utilização nos chamados sistemas construtivos leves, ou seja, a base de componentes com um baixo peso unitário.

Com a publicação deste trabalho, o IBTS busca difundir informações técnicas básicas a respeito das realizações mais recentes empregando a argamassa armada, apresentando diversos aspectos ligados à tecnologia, desde a estrutura interna do material até as técnicas para execução de componentes em escala industrial, passando pelo papel das telas soldadas na sua configuração atual.

O tema projeto e detalhamento de argamassa armada, incluindo exemplos práticos de dimensionamento, é tratado em uma outra publicação específica do IBTS, a qual complementa este trabalho.

**IBTS - Instituto Brasileiro de Telas Soldadas**  
São Paulo, outubro de 1994

## 1. Introdução

As amplas possibilidades demonstradas pela argamassa armada na pré-fabricação de componentes para a construção civil, com frequência, têm levado muitos daqueles que de alguma maneira estão envolvidos com a produção do ambiente construído no Brasil, a estudar o material como uma alternativa tecnológica.

Por outro lado, a magnitude e a urgência das necessidades sociais atuais de habitação no País, envolvendo não apenas a moradia mas também infra-estrutura urbana e equipamentos sociais, sugere um programa de obras que dificilmente poderá ser cumprido através dos processos de produção tradicionalmente utilizados na construção civil.

Talvez seja em função desta realidade particular, que projetos como os das Fábricas de Escolas—Rio de Janeiro, Salvador e São Paulo, entre outras—alcançaram notoriedade no Brasil e no exterior<sup>(1)</sup>, tornando-se importantes referências na discussão de formas massivas de produção do edifício. Aplicando os princípios da Industrialização da Construção na produção de componentes pré-fabricados de argamassa armada para a execução de escolas e outros equipamentos sociais, estas fábricas são uma demonstração inequívoca da capacidade técnica existente no País, para a resolução dos graves problemas existentes na área habitacional, no seu entendimento mais amplo.

A argamassa armada, como material "stricto sensu", apresenta em suas propriedades potenciais um campo de aplicação associado às

"estruturas de elementos, não só relativamente, como absolutamente delgados, onde a tecnologia do concreto armado é estendida quase que aos limites das estruturas metálicas ou de madeira"<sup>(1)</sup>.

Por outro lado, a tecnologia disponível para a execução de componentes pré-fabricados de argamassa armada, atualmente, é potencialmente tão desenvolvida quanto a da própria pré-fabricação do concreto armado, em função das características comuns existentes entre os dois materiais. Este não deixa de ser mais um qualificativo do material com vistas à sua adequação tecnológica.

Uma opção apriorística pela argamassa armada ou qualquer outro material com o qual se pretende desenvolver um componente ou sistema construtivo, no entanto, é um procedimento equivocado na opinião deste autor.

O "apriorismo", na acepção da palavra, consiste numa escolha feita a partir da aceitação, na ordem do conhecimento, de fatores independentes da experiência<sup>(2)</sup>, o que não corresponde em absoluto aos rumos preconizados por este trabalho, o qual se baseia no estudo das experiências recentes realizadas com a argamassa armada, indicando caminhos potenciais para o material.

É neste contexto que se opta por estudar a argamassa armada como uma alternativa para a execução de componentes e elementos pré-fabricados para sistemas construtivos industrializados.

## 2. A estrutura interna do material

### 2.1 Definição

*Argamassa armada, membro da família dos concretos estruturais.*

A argamassa armada pode ser definida como um micro-concreto armado, resultante da associação de argamassa (cimento/areia/água), com uma armadura de aço constituída por fios de pequeno diâmetro e pouco espaçados entre si (tela soldada). A conceituação do material, no entanto, está intrinsecamente ligada à questão da sua adequação tecnológica, ou seja, a argamassa armada define-se muito mais nas suas possibilidades práticas de aplicação, do que como material diferenciado da família dos concretos.

A pequena espessura (20mm em média) é a característica mais evidente de um componente pré-fabricado de argamassa armada, a qual lhe confere um baixo peso unitário. Por causa disso, o material adequa-se sobremaneira aos sistemas construtivos leves.

A tendência de vislumbrar o material associado à sua tecnologia, fica patente na norma brasileira de "Projeto e Execução de Argamassa Armada"<sup>(3)</sup>, onde se define unicamente o que vem a ser peça de argamassa armada:

*"Aquele de pequena espessura, composta de argamassa e armadura de telas de aço de malhas com abertura limitada, distribuída em toda a seção transversal."*

Partindo-se do mesmo princípio, pode-se acrescentar que "a pequena espessura é característica associada às peças de argamassa armada, e não ao material"<sup>(1)</sup>; por isso é preferível definir não apenas a sua composição física, mas também a sua forma corrente de aplicação.

Uma peça com finalidade estrutural é de argamassa armada quando é de pequena espessura, admitindo-se 40mm como valor superior convencional, apenas como ordem de grandeza.

A partir de análises do seu desempenho mecânico, a argamassa armada é classificada hoje como um material resultante de uma associação de dois outros (argamassa e aço) à semelhança do concreto armado<sup>(1)</sup>. No entanto, embora sujeitas por analogia às mesmas leis gerais de comportamento físico e mecânico do concreto armado, as propriedades de desempenho do material são diferenciadas em alguns aspectos, os quais são abordados a seguir.

Analisando-se a micro-estrutura do concreto armado ou argamassa armada, pode-se identificar os mecanismos através dos quais se dá a *microfissuração*, enquanto fenômeno que consiste na propagação de fissuras a partir de vazios pré-formados na matriz de produtos à base cimento portland em geral (figura 2.1).

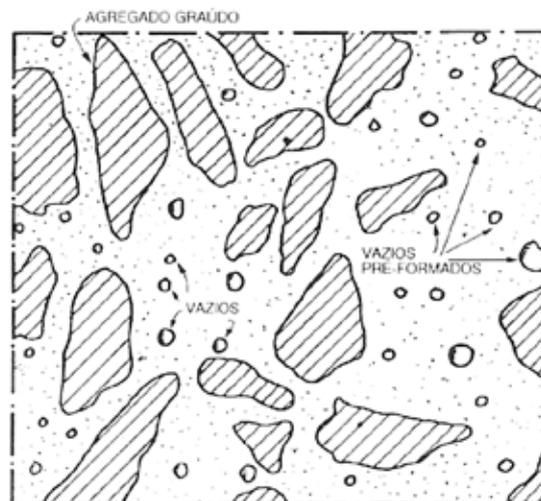


Figura 2.1 - Interpretação dos mecanismos de fissuração do concreto e argamassa armada

Estas falhas microscópicas, característica intrínseca do concreto e da argamassa, são provocadas por: ar incorporado e "água livre" na mistura, impurezas e deficiências de aderência na interface pasta de cimento / agregado.

Percorrendo o caminho de menor demanda energética, as microfissuras evoluem no interior

da matriz a partir de um determinado nível de solicitação, provocando uma progressiva fratura do material sólido<sup>(1)</sup>. Em geral, a fissuração manifesta-se num primeiro momento na interface entre pasta de cimento endurecida e agregado, prosseguindo através da pasta de cimento, raramente propagando-se no interior dos agregados, pela sua dureza e resistência.

A partir da compreensão deste fenômeno é possível precisar a função das armaduras na argamassa armada, como elementos obstaculizadores da evolução da fissuração, segundo as características tecnológicas específicas do material.

## 2.2 O papel das armaduras

A partir da figura 2.2 é possível analisar a função das armaduras presentes em uma peça de concreto armado ou argamassa armada, diante do fenômeno da fissuração.

Na medida em que a fissuração não evolui na matriz em função do aparecimento de barreiras em seu caminho, constituídas por fios de aço, pode-se concluir que as armaduras, além do seu papel primário de absorver os esforços de tração, podem exercer a função de limitar a abertura das microfissuras.

Portanto, poder-se-ia atribuir à argamassa armada, resultado da associação entre uma argamassa estrutural (cimento/areia/água) e uma armadura de aço constituída por fios de *pequeno diâmetro e pouco espaçados* entre si (tela soldada), propriedades de "grande alongabilidade e infissurabilidade", como afirmou o engenheiro italiano Pier Luigi Nervi no passado.

Na realidade, dentro dos limites da prática e da viabilidade econômica do material, o que ocorre é uma proximidade considerável entre os fios da tela soldada (elementos de reforço), tal que as microfissuras pré-formadas na matriz têm o seu aparecimento eliminado ou sua abertura limitada, conduzindo ao conceito de *fissuração controlada*, hoje difundido no Brasil. As propriedades de estanqueidade e a durabilidade do material são explicadas, em parte, pelas características aqui explicitadas.

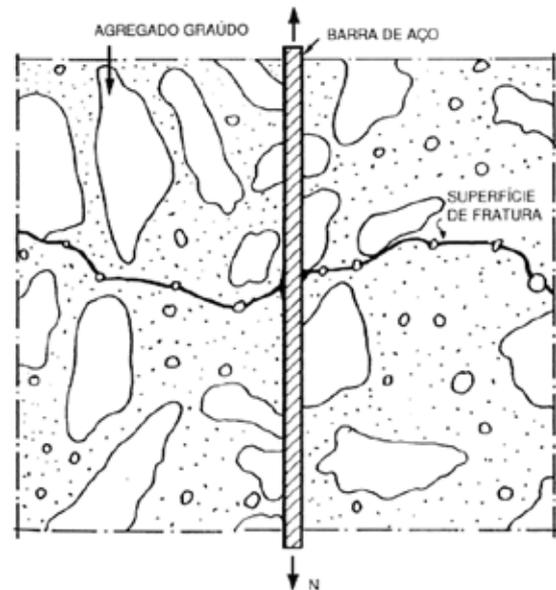


Figura 2.2 - Representação esquemática da função das armaduras

## 2.3 As telas soldadas

Pode-se atribuir à armadura difusa as funções principais de resistir aos esforços de tração, limitar a abertura de fissuras (ou de microfissuras, no caso de armaduras mais densas, subdivididas e distribuídas) e favorecer o surgimento de fissuras pouco espaçadas<sup>(1)</sup>.

A facilidade de manuseio na montagem de elementos planos, a quase não necessidade de armaduras complementares, a resistência e a garantia de qualidade, são algumas das vantagens que tornaram a tela soldada a armadura mais utilizada na produção seriada de peças pré-fabricadas de argamassa armada no País.

As telas de malhas soldadas foram utilizadas na execução de peças de argamassa armada, pela primeira vez, em 1966, pelo chamado Grupo de São Carlos, quando o Laboratório de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos-EESC/USP estudava a execução de estruturas em casca piramidal para coberturas<sup>(1)</sup>.

A partir de 1984, com a fundação do IBTS-Instituto Brasileiro de Telas Soldadas, telas especialmente fabricadas para argamassa armada passaram a ser fornecidas pelas indústrias nacionais. Desde lá, o IBTS tem se

constituído em um dos pólos de difusão e desenvolvimento tecnológico da argamassa armada, apoiando ininterruptamente todas as iniciativas realizadas até o momento.

Em linhas gerais, a tela soldada pode ser definida como uma armadura pré-fabricada, formada por fios de aço longitudinais e transversais sobrepostos e soldados entre si em todos os pontos de cruzamento (nós), por corrente elétrica (caldeamento), formando malhas quadradas e retangulares.

A matéria-prima para a fabricação dos fios é o "fio máquina", produzido por laminação à quente, o qual contém um baixo teor de carbono, de modo a se obter uma boa soldabilidade. O fio é

submetido a um processo de trefila, caracterizado pela sua passagem forçada através de uma seqüência de feiras. Esta passagem leva ao encruamento do material, tornando-o mais resistente e mais duro.

No controle da fissuração, as telas soldadas têm um desempenho superior a outras telas mais deformáveis, em função do seu elevado módulo de deformação. A orientação em direções ortogonais de seus fios, permite o seu máximo aproveitamento na concepção de estruturas bi-dimensionais<sup>(7)</sup>.

Os tipos de telas soldadas mais adequados à tecnologia da argamassa armada e disponíveis atualmente no mercado nacional, são os seguintes:

**Tabela de Telas Soldadas para Argamassa Armada  
Aço CA 60**

ORDEM	DESIGNAÇÃO	ESPAÇAMENTO ENTRE FIOS		DIÂMETRO DOS FIOS		SEÇÃO DOS FIOS		PESO kgf/m <sup>2</sup>
		LONG. cm	TRANSV. cm	LONG. cm	TRANSV. cm	LONG. cm	TRANSV. cm	
01	EQ98	5,0	5,0	2,5	2,5	0,98	0,98	1,54
02	EQ120	5,0	5,0	2,76	2,76	1,20	1,20	1,89
03	EL126	2,5	5,0	2,0	2,0	1,26	0,63	1,48

## 3 - A evolução da tecnologia e sua consolidação no Brasil

### 3.1 Breve histórico

Embora a designação “argamassa armada” possa levar a uma idéia de material recém descoberto, trata-se de uma tecnologia que teve origem em meados do século passado, sendo considerada a precursora do próprio concreto armado. Seu criador, o francês Joseph Louis Lambot, quando requereu a patente do material em 1856, buscava substituir a madeira na fabricação de embarcações e pequenas construções.

Mas foi somente em 1944, diante do quadro de reconstrução da Europa destruída pela II Guerra, que Pier Luigi Nervi, engenheiro e projetista italiano, redescobriu a tecnologia da argamassa armada e retomou o seu desenvolvimento no sentido da pré-fabricação. Denominando o “ferciment” de Lambot de “ferro-cimento”, Nervi foi o grande responsável pela divulgação do material nesta nova fase, obtida através de diversas aplicações arrojadas que projetou, tais como o Palácio de Exposições de Turim (1948), cuja cobertura cilíndrica com vão de 91,4m foi executada com elementos pré-fabricados de “ferrocimento”, solidarizados por arcos de concreto moldados no local (figura 3.1). Destacam-se ainda no trabalho de Nervi o Palacete de Esportes de Roma (1957), cúpula esférica com 60m de diâmetro (figura 3.2), e o Palácio de Esportes de Roma (1960), cúpula esférica com 100m de diâmetro (figura 3.3), ambas as obras empregando elementos pré-fabricados de “ferrocimento”.

Tais trabalhos projetaram o “ferrocimento” a nível mundial, embora uma aceitação mais ampla do material tenha ocorrido de forma gradual nos demais países. A demonstração maior da versatilidade da tecnologia, é a forma diferenciada como os países se apropriaram dela a partir do final da década de 50.

Nos países subdesenvolvidos “predominariam as aplicações em pequenos barcos, silos e

reservatórios de água de pequena capacidade e artefatos de uso doméstico, produzidos com nenhum ou apenas alguns equipamentos rudimentares de execução, e sempre com uso intensivo de mão-de-obra”<sup>(1)</sup>.

Nos países desenvolvidos “a leveza e as amplas possibilidades de pré-moldagem das peças de argamassa armada, à maneira de Nervi, constituíram fortes atrativos para a sua produção em larga escala —principalmente na construção de edificações ou parte delas”<sup>(1)</sup>. Sobretudo na antiga União Soviética, houve significativos avanços no desenvolvimento e na apropriação de técnicas de produção em série de componentes e a sua disseminação no meio técnico especializado, em promoção de iniciativa estatal.

A argamassa armada foi usada pela primeira vez na extinta União Soviética em 1958, na cobertura de um centro comercial em Leningrado. Foi o passo inicial de uma ampla difusão do material naquele país, que em 1980, já contava com mais de dez milhões de metros quadrados de área coberta com elementos pré-fabricados de diversos tipos<sup>(1)</sup>. Seu documento normalizador mais completo e atualizado data de 1977, a SN-366/77-*Instruções para Projeto de Estruturas de Armocimento* (transliteração do idioma russo, para argamassa armada).

Já em 1976, foi criado o IFIC - International Ferrocement Information Center, com sede na Tailândia, órgão que tem funcionado como centralizador de trabalhos e atividades técnicas, divulgando a tecnologia do material a nível mundial. Foram realizados até o momento quatro simpósios internacionais sobre o material, na Itália (Bérgamo, 1981), na Tailândia (Bangkok, 1985), na Índia (Nova Delhi, 1988) e em Cuba (Havana, 1991). Durante o IV Simpósio Internacional sobre Ferrocimento, celebrado em Cuba em outubro de 1991, foi criado oficialmente o CREDEF-Centro Regional para el Desarrollo del Ferrocimento en América Latina y el Caribe.

Nos E.U.A., o ACI-American Concrete Institute criou o Comitê nº 549 com o objetivo de estudar as propriedades mecânicas, práticas construtivas e aplicações da argamassa armada.

Algumas das principais características que explicam a aceitação da argamassa armada a nível internacional no momento são<sup>(4)</sup>:

- seus materiais constituintes são disponíveis de imediato na maioria dos países;
- pode ser fabricada dentro de qualquer forma desejada e adaptada ao costume local e tradicional do país;
- as propriedades da construção de argamassa armada podem ser alcançadas facilmente;
- a indústria pesada e a maquinaria não estão envolvidas;
- pode ser facilmente recuperada e não exige manutenção regular;
- é apropriada para a produção em massa e auto-construção.

No Brasil a primeira aplicação da argamassa armada foi feita em 1960, na EESC/USP-Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, numa cobertura plana de 1.000m<sup>2</sup>.

A partir dos resultados de Nervi, e com a possibilidade de aplicação surgida de uma necessidade concreta, os professores Dante Martinelli, Frederico Schiel e, mais tarde, Lafaél Petroni, foram os precursores no estudo da argamassa armada no País, dando origem ao chamado "Grupo de São Carlos".

Buscando adaptar o material às condições locais, foram realizados os primeiros ensaios com perfis pré-moldados. Empregando taxas de armadura compreendidas entre 250kg/m<sup>3</sup> e 300kg/m<sup>3</sup> e um consumo de cimento de aproximadamente 700kg/m<sup>3</sup>, ao invés dos 500kg/m<sup>3</sup> e 1000kg/m<sup>3</sup> de Nervi, respectivamente, o Grupo de São Carlos empreendeu passos decisivos para a otimização da tecnologia e sua conseqüente consolidação.

A partir de 1980 efetivaram-se as aplicações correntes do material no Brasil, representadas por alguns exemplos como:

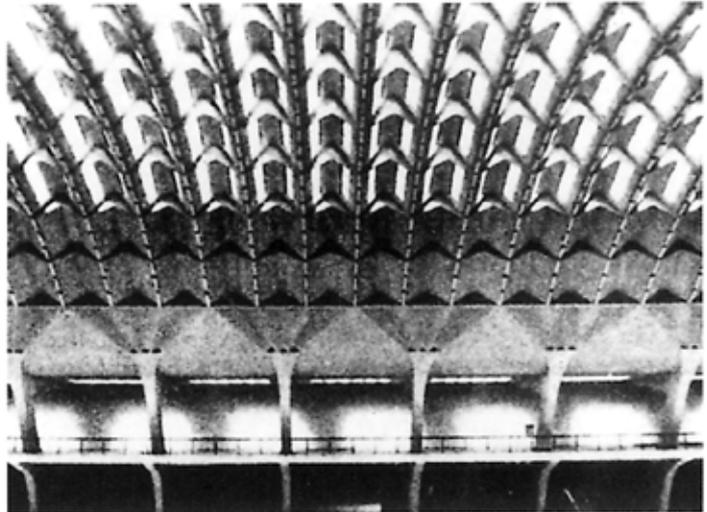


Figura 3.1 - Pavilhão de Exposições de Turim (1948)

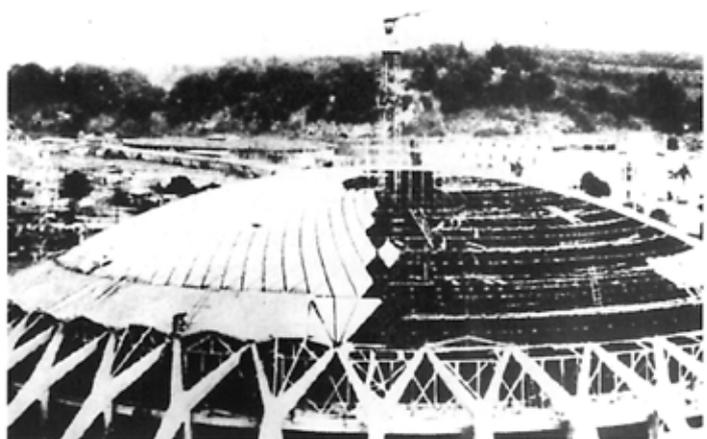


Figura 3.2 - Palacete de Esportes de Roma (1957)

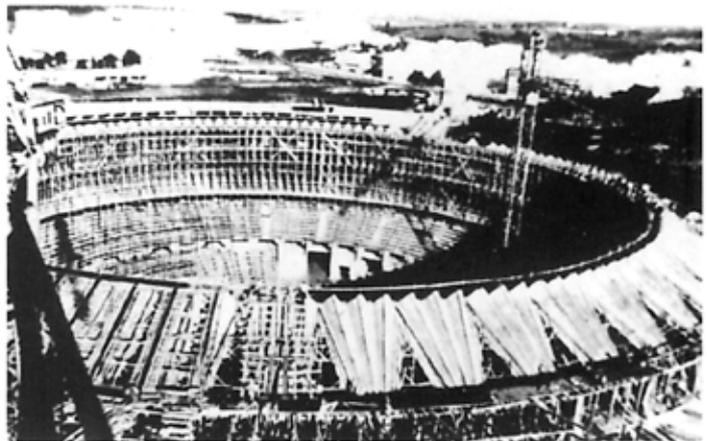


Figura 3.3 - Palácio de Esportes de Roma (1960)

- Terminal Rodoviário de Florianópolis/SC (1980);
- Urbanização do Vale do Camurujipe em Salvador/BA (1979);
- Fábrica de Escolas do Rio de Janeiro/RJ (1984).

Destacam-se no cenário nacional como pólos de difusão da tecnologia: o Grupo de São Carlos (EESC/USP); o Projeto Ferrocimento da Universidade Federal do Ceará (1982-1988); o Centro de Desenvolvimento de Equipamentos Urbanos e Comunitários-CEDEC/EMURB (1989-1992), em São Paulo/SP e o IBTS - Instituto Brasileiro de Telas Soldadas.

O Brasil dispõe desde 1989 da sua norma técnica para projeto e execução de argamassa armada, a NB-1259, registrada no INMETRO como NBR-11173. O documento normativo, resultado do trabalho de técnicos que atuam no desenvolvimento e aplicação do material, corresponde ao grau de maturidade em que se encontra a argamassa armada hoje e ressalta a importância e o destaque que o material conquistou no meio técnico nacional.

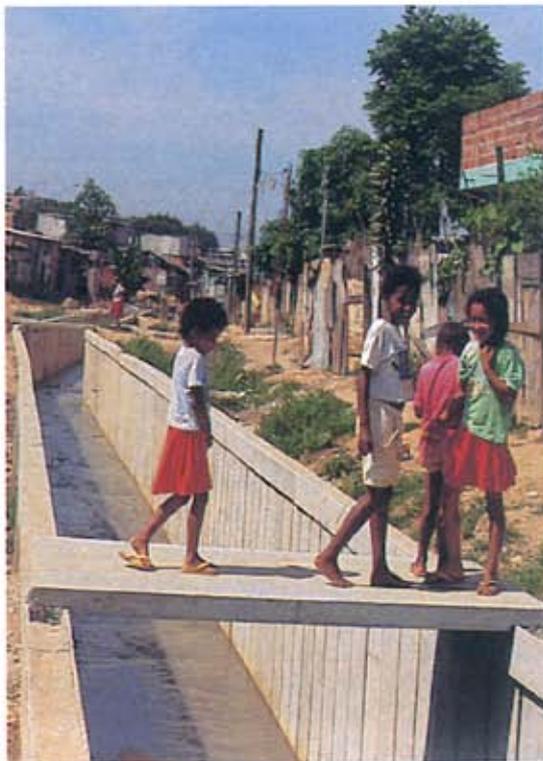


Figura 3.4 - Revestimento de canais

### 3.2 A consolidação da tecnologia no cenário nacional

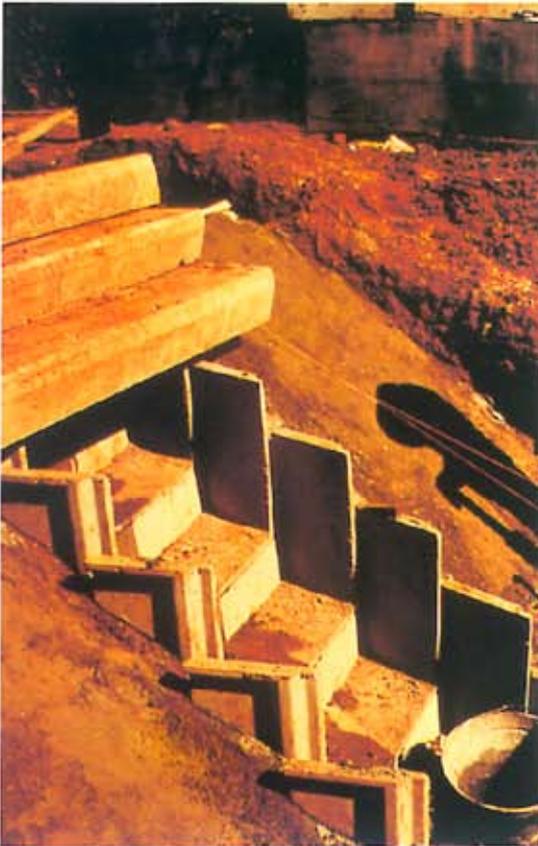
A argamassa armada no Brasil, atualmente, já não é considerada por conceito o mesmo material que Nervi desenvolveu na década de 50. Enquanto o “ferro-cimento” era considerado um material composto, sinérgico, adotou-se classificar a argamassa armada hoje, como um tipo especial de concreto armado, material associado.

Hoje, afirma-se que a argamassa armada está passando por uma espécie de *2ª Geração*, com características distintas tanto do “ferrocimento” de Nervi, como da argamassa armada aperfeiçoada pelo grupo de São Carlos na década de 60. Esta argamassa armada *2ª Geração* possui características que redefiniram o perfil tecnológico do material, como um concreto armado ou protendido a ser utilizado em peças de pequena espessura, exigindo portanto o conhecimento de características peculiares sobre propriedades dos materiais constituintes, procedimentos de projeto, técnicas de execução e acima de tudo, sobre as reais possibilidades de adequação tecnológica<sup>(1)</sup>.

Por outro lado, falar-se especificamente a respeito do estágio atual de utilização da argamassa armada na pré-fabricação de componentes e elementos para sistemas construtivos industrializados, implica, necessariamente, num estudo da obra recente do Arquiteto João Filgueiras Lima.

Em busca de uma alternativa tecnológica para viabilizar projetos de urbanização de favelas em Salvador/BA, no ano de 1979, o Arq. João F. Lima, com a cooperação nos projetos estruturais de Frederico Schiel, professor da Escola de Engenharia de São Carlos, estabeleceu os primeiros parâmetros para industrialização da argamassa armada.

Este trabalho foi realizado no âmbito da RENURB-Companhia de Renovação Urbana de Salvador e consistiu em obras de urbanização e saneamento (figuras 3.4/3.5/3.6) em assentamentos precários implantados em localizações adversas e mal atendidas pelos serviços públicos<sup>(5)</sup>.



**Figuras 3.5** - Escadarias drenantes



A tecnologia a base de pré-moldados de argamassa armada foi a que melhor respondeu às necessidades de projeto, em função da leveza das peças, que se fazia necessária para tornar possível o transporte e montagem manuais, indispensáveis devido às más condições de acesso aos locais (figura 3.7).

Na usina da RENURB os elementos eram produzidos em série, em diversas linhas de produção. Embora tal usina contasse com grua de torre, guindastes e outros equipamentos, utilizaram-se preponderantemente dispositivos de acionamento manual, tendo-se em conta que a peça mais pesada tinha massa igual a 90kg.

Foi ainda na mesma usina, que se introduziu o processo de cura por imersão das peças de argamassa armada, de forma a prover a sua manutenção em ambiente saturado, evitando-se os efeitos indesejáveis provocados pela retração por secagem da argamassa de cimento que constitui as peças.



**Figura 3.6** - Muros de arrimo

## ARGAMASSA ARMADA

Industrialização, aplicação e processos de produção



Figura 3.7 - Transporte e montagem manuais dos componentes



Figura 3.8 - Sistema construtivo para edificação escolar

Posteriormente, no ano de 1984, convidado pelo Governo do Estado do Rio de Janeiro, o Arq. João Filgueiras Lima teve a chance de aplicar um sistema construtivo que projetou em 1983, para a construção de edificações escolares<sup>(6)</sup>.

Para a produção em larga escala do sistema, totalmente baseado em componentes pré-fabricados de argamassa armada, J. F. Lima planejou, montou e operou a Fábrica de Escolas do Rio de Janeiro.

Na fábrica, estavam dispostas de forma ortogonal as linhas de produção para os diversos tipos de elementos, cada uma delas composta por setores de moldagem, tanques de cura, controle de qualidade e reparo, além de estoque e expedição.

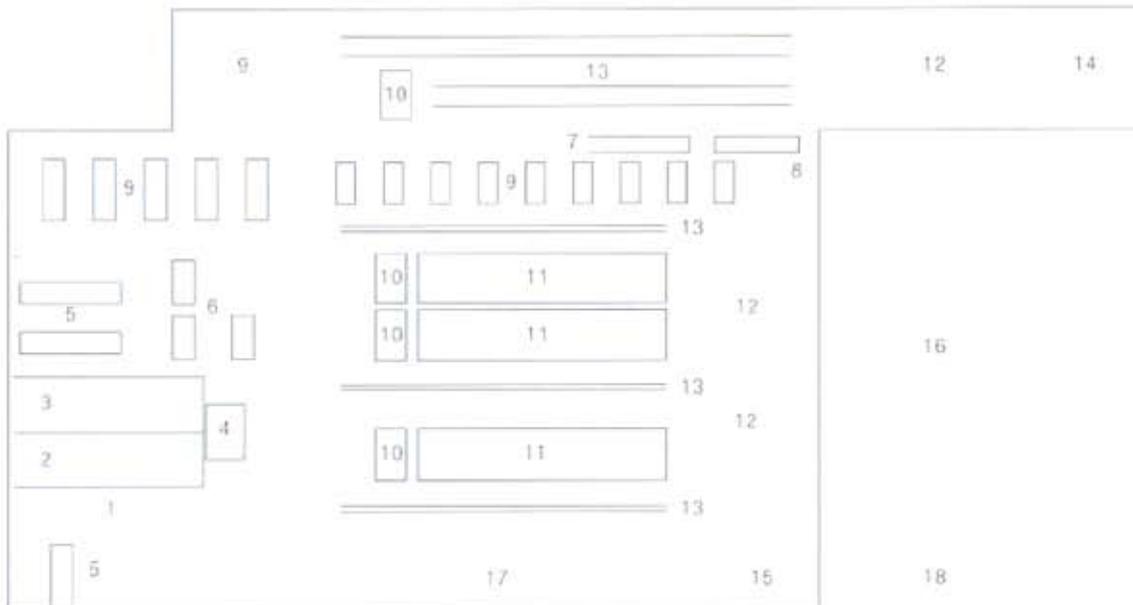
Da mesma forma que na RENURB, o modelo da Fábrica de Escolas apoia-se num uso intensivo de mão-de-obra, devido às finalidades sociais envolvidas no programa. No entanto, os princípios fundamentais da produção industrial estão visivelmente presentes na totalidade da concepção da planta industrial proposta.

O sistema construtivo projetado é um típico exemplo de construção industrializada leve (figura 3.8). Todos os elementos, como já dito, são de argamassa armada e podem ser montados sem o uso de guindastes.

O desempenho térmico insatisfatório da argamassa armada em climas quentes foi compensado com recursos de projeto, que tornaram a edificação extremamente adequada à sua utilização permanente no período diurno.

A experiência bem sucedida da Fábrica de Escolas do Rio de Janeiro teve um efeito singular na divulgação da tecnologia de pré-fabricação da argamassa armada.

Sob autorização do Arq. João F. Lima, foram instaladas fábricas similares em outras cidades. Os princípios gerais de funcionamento destas fábricas são —conforme o *lay-out* apresentado na figura 3.9— os mesmos que foram adotados no Rio de Janeiro, e demonstram como é possível a implantação de usinas com um baixo



- 1 - ESTOQUE DE CIMENTO
- 2 - AREIA BRUTA
- 3 - AREIA PENEIRADA
- 4 - CENTRAL DE ARGAMASSA
- 5 - CORTE DE TELAS
- 6 - DOBRA DE TELAS

- 7 - CORTE DE FIOS E BARRAS
- 8 - DOBRA DE FIOS E BARRAS
- 9 - MONTAGEM DAS ARMAÇÕES
- 10 - MESA VIBRATÓRIA
- 11 - TANQUES DE PRIMEIRA CURA
- 12 - ÁREA DE DESFORMA

- 13 - BANCADAS DE MOVIMENTAÇÃO DE FORMAS
- 14 - ACABAMENTO DE PEÇAS
- 15 - PRODUÇÃO DE PEÇAS DE GRANDE PORTE
- 16 - TANQUES DE SEGUNDA CURA (ÁGUA)
- 17 - SOLDAGEM DE INSERTOS METÁLICOS
- 18 - CALDEIRA DE VAPOR

**Figura 3.9** - Esquema de implantação para usina de pré-fabricados de argamassa armada (CODEC/EMURB)

investimento de capital, adequadas às realidades regionais.

Em 1986, J. F. Lima foi convidado pela administração municipal de Salvador/BA para montar uma fábrica similar àquela que dirigia no Rio.

A Fábrica de Equipamentos Comunitários de Salvador - FAEC foi a materialização deste novo programa. Embora guardando algumas semelhanças com a Fábrica de Escolas, a FAEC apresentou desenvolvimentos expressivos no que se refere às inovações tecnológicas aplicadas na pré-fabricação da argamassa armada.

A FAEC, a seu tempo, foi a maior usina para fabricação de componentes de argamassa armada existente no Brasil, onde estão estabelecidas atualmente várias unidades do mesmo porte —nas cidades de São Paulo-SP,



**Figura 3.10** - Sistema construtivo para escolas com 2 pavimentos

## ARGAMASSA ARMADA

Industrialização, aplicação e processos de produção



Figura 3.11 - Sistema construtivo para escolas com cobertura em abóbadas



Figura 3.12 - Passarelas para pedestres em estrutura de aço, com elementos de piso e cobertura de argamassa armada



Figura 3.13 - Módulo sanitário em argamassa armada

Guarulhos-SP, Bauru-SP, Curitiba-PR, Lajes-SC, Porto Alegre-RS, Belo Horizonte-MG, Mossoró-RN, Brasília-DF, Belém-PA e outras, sediam instalações, municipais ou privadas, para a produção de pré-fabricados de argamassa armada.

O sistema construtivo para escolas, originado em 1983, foi continuamente aperfeiçoado, tanto que, com os mesmos elementos básicos do projeto original, foram construídas escolas de dois andares (figura 3.10). Numa outra versão, o mesmo sistema recebe, ao invés de uma cobertura com elementos planos, abóbadas pré-fabricadas, também em argamassa armada (figura 3.11).

Outras aplicações para argamassa armada foram desenvolvidas na área de equipamentos urbanos. Destacam-se as passarelas para pedestres, cujo desenho marcou profundamente a paisagem da cidade de Salvador, e os módulos sanitários, exemplo típico de módulos tridimensionais pré-fabricados (figura 3.13).

A fábrica do Rio de Janeiro e a RENURB (Salvador, 1980), bem como a FAEC (Salvador, 1987), mais do que fábricas de componentes, foram, na verdade, laboratórios onde o espírito da adequação tecnológica marcou sempre a sua presença. A dimensão nacional e internacional alcançada pela argamassa armada nos dias de hoje deve-se em grande parte ao trabalho integrado destas “fábricas de tecnologia”.

### 3.3 A proposta do CEDEC/EMURB (São Paulo, 1990-1992)

O CEDEC-Centro de Desenvolvimento de Equipamentos Urbanos e Comunitários constituiu-se em um núcleo de pesquisa e produção de sistemas e componentes construtivos pré-fabricados da EMURB-Empresa Municipal de Urbanização de São Paulo.

Desde a sua implantação, em junho de 1990, o CEDEC buscou responder técnica e materialmente às demandas sociais do

município. A opção pela argamassa armada apoiou-se nas experiências já descritas, onde as vantagens na utilização da tecnologia fizeram-se perceber desde a produção até a montagem das obras. A pequena espessura, característica mais evidente de um elemento pré-fabricado de argamassa armada, apontava para uma utilização adequada do material nos chamados sistemas construtivos leves, ou seja, a base de elementos construtivos com um baixo peso unitário.

No CEDEC, à exemplo de outras fábricas de componentes de argamassa armada, não foram necessários equipamentos com grande capacidade de carga, permitindo desta maneira

uma sensível queda no volume de investimentos para a mecanização da unidade industrial. Na montagem das obras, pequenos equipamentos eram utilizados somente para içamento de peças maiores, já que, em sua maior parte, os componentes podem ser projetados para montagem manual. A "leveza" da argamassa armada também significou, sobretudo, uma substancial economia na execução das fundações dos edifícios produzidos.

Para que se possa fazer uma breve comparação entre os custos dos processos construtivos convencionais e aqueles executados com argamassa armada no CEDEC, apresenta-se a seguir um quadro demonstrativo.

<b>CARACTERÍSTICAS GERAIS DO EMPREENDIMENTO</b>	
- usina com capacidade instalada de produção mensal: 600m <sup>3</sup> ou 6000m <sup>2</sup> de área construída; - mão-de-obra produtiva: 380 operários (setor de produção).	
<b>1. CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO</b>	<b>em US\$/m<sup>2</sup></b>
Instalações: US\$ 5.000.000,00 - depreciação em 10 anos	7,00
Equipamentos: US \$ 1.100.000,00 - depreciação em 5 anos	3,00
Formas: US \$ 510.000,00 - depreciação em 3 anos	2,50
<b>Sub-Total</b>	<b>12,50</b>
<b>2. TERRENO</b>	
Valor: US\$ 1.160.000,00 - aluguel equivalente: US \$ 5.800,00/mês	
<b>Sub-Total</b>	<b>1,00</b>
<b>3. CUSTOS DIRETOS</b>	
Mão de obra: US \$ 234.000,00	39,00
Materiais: US \$ 385.700,00	64,00
Transporte e energia elétrica: US \$ 38.500,00	6,50
Manutenção de equipamentos e formas: US \$ 8.050,00	1,50
<b>Sub-Total</b>	<b>111,00</b>
<b>4. CUSTO FINAL POR M<sup>2</sup> DE CONSTRUÇÃO</b>	
Depreciação	12,50
Custos diretos	111,00
Terreno	1,00
<b>Sub-Total</b>	<b>124,50</b>
<b>5. BDI (25%)</b>	<b>31,00</b>
<b>Sub-Total</b>	<b>155,50</b>
<b>6. EXECUÇÃO DE SERVIÇOS CONVENCIONAIS</b>	<b>185,00</b>
<b>7. PROJETOS</b>	<b>39,50</b>
<b>CUSTO FINAL</b>	<b>380,00</b>

Compare-se este custo com a estimativa orçamentária da Prefeitura Municipal de São Paulo para outubro de 1989, baseada nos métodos convencionais de construção praticados pelas empreiteiras privadas:

*Escola padrão  
EMPG:.....(out/89) US\$ 709,00/m<sup>2</sup>*

Pressionado pela demanda, pela falta de respostas tecnicamente satisfatórias por parte das empresas prestadoras de serviço à prefeitura e pelos recursos financeiros insuficientes, o Poder Público optou, à época, pela produção direta de componentes a custos compatíveis com as respostas urgentes exigidas pela população de São Paulo e também como forma de fixar parâmetros de *qualidade, custo e prazo* para as demais obras executadas no município.

## 4 - Tecnologia de fabricação

A produção da argamassa armada pode ser encarada segundo formas onde predominem um caráter artesanal ou industrial. Este trabalho, por uma questão de coerência com o enfoque pretendido, se restringirá a uma abordagem da segunda alternativa.

Neste aspecto, como em outros, as referências mais fortes são as fábricas do Rio de Janeiro-RJ (RIOCOP) e de São Paulo-SP (CEDEC/EMURB). É a partir da estrutura produtiva instalada nestas duas usinas que serão analisadas as diversas etapas de produção dos componentes de argamassa armada.

A conformação final das peças pré-fabricadas é obtida, via de regra, através do uso de fôrmas. São equipamentos fundamentais que assumem um papel preponderante no processo de produção, para obtenção da precisão milimétrica indispensável à construção industrializada. É por esse motivo que o estudo do equipamento "fôrmas" ganha uma dimensão particular ao final deste capítulo.

### 4.1 Etapas de produção

#### 4.1.1 Armaduras

A primeira etapa constitui-se do preparo e

montagem das armaduras. Em uma usina de pré-fabricação, normalmente, estas operações são executadas em um setor localizado à parte.

De um modo geral, na argamassa armada industrializada existem dois tipos de armadura, atuando conjuntamente para resistir aos esforços solicitantes<sup>(7)</sup>:

**Armadura difusa** - constituída, em geral, por telas soldadas com fios de pequenos diâmetros (2,0mm a 2,5mm), cujas malhas possuem espaçamentos de 25mm x 50mm ou 50mm x 50mm. É a *armadura característica e principal* da argamassa armada

**Armadura discreta** - formada por fios e barras de aço de pequeno diâmetro (3,4mm e 4,2mm) colocados em regiões localizadas. Cumpre a função de complementar a área de aço necessária, muitas vezes assumindo o papel de reforço para cantos e arestas das peças

As técnicas utilizadas para a confecção das armaduras podem variar muito, em função dos diferentes tipos e arranjos de armaduras a serem executados. Na medida em que se equipa e racionaliza o trabalho dentro deste setor, consegue-se eliminar um dos conhecidos "gargalos" da produção (figura 4.2).

Como as telas soldadas são usualmente comercializadas em rolos, são necessárias algumas operações prévias de acerto na sua conformação antes de utilizá-las. Em função da sua maior rigidez, recomenda-se para o desbobinamento, o uso de equipamentos específicos, como calandras (figura 4.3).

Numa etapa seguinte cortam-se as telas em painéis, segundo as dimensões de projeto das peças, e dobram-se as mesmas, procurando-se obter as conformações desejadas. A operação de corte pode ser executada com o auxílio de uma guilhotina convencional, enquanto o dobramento pode ser feito numa mesa para tal fim (figuras 4.4), recomendável sempre que se trabalha com telas rígidas como as soldadas.

No que se refere à armadura discreta, os fios e barras também podem ser retificados mecanicamente, para em seguida serem cortados e dobrados através dos procedimentos tradicionalmente adotados na construção civil.

Posicionados e amarrados entre si com arame recozido (n° 18), os dois níveis de armadura (difusa e discreta) formam um conjunto único, esqueleto da peça a ser fabricada.

As pequenas espessuras que caracterizam os elementos de argamassa armada (15mm a 35mm), impõem um rigoroso controle do cobrimento das armaduras, visando a sua proteção contra a corrosão. Os cobrimentos deverão seguir as determinações da norma de projeto e execução de argamassa armada<sup>(3)</sup>, sendo utilizados para este fim os seguintes valores nominais:

**4mm**

no caso de peças em ambientes protegidos

**6mm**

no caso de peças em ambientes medianamente agressivos

Em caso de exposição a ambientes agressivos, devem ser tomadas medidas especiais para a proteção das peças de argamassa armada e



Figura 4.1 - Arranjo típico de armaduras de uma peça de argamassa armada



Figura 4.2 - Racionalização da atividade do armador - gabaritos



Figura 4.3 - Retificação das telas soldadas através do uso de calandras



**Figuras 4.4 - Guillotina e mesa dobradeira**



**Figura 4.5 - Espaçadores para garantia do cobrimento**



**Figura 4.6 - Limpeza e aplicação de desmoldante na formas**

suas respectivas armaduras. Em seu trabalho "Argamassa armada: fundamentos tecnológicos para projeto e execução", Hanai comenta alguns dos tratamentos especiais para se obter características excepcionais de durabilidade nas peças executadas com o material<sup>(1)</sup>. Logicamente, tais tratamentos, implicam num aumento considerável dos custos envolvidos, e só se justificam em casos específicos.

Usualmente, no entanto, a manutenção dos cobrimentos de armadura dentro dos limites de tolerância exigidos é uma das garantias fundamentais de durabilidade numa peça de argamassa armada. Para isso, são utilizados espaçadores feitos de diversos materiais (plásticos, borracha, argamassa, fibrocimento, etc.), que são posicionados no esqueleto já pronto (figura 4.5).

O número de espaçadores utilizados em cada metro quadrado de armadura contígua à superfície da fôrma, habitualmente, é da ordem de 20 unidades. Este número varia na prática, em função do grau de detalhamento da peça a ser executada.

Antes da instalação das armaduras pré-montadas nos moldes, deve-se proceder a uma cuidadosa limpeza. Esta limpeza, convencionalmente, é feita com o uso de espátulas, palhas de aço, estopa umedecida, etc. A seguir, é aplicado um desmoldante, com auxílio de esponjas e pincéis (ou similares). A aplicação é feita em camadas finas, evitando-se os inconvenientes de escorrimento do produto para as regiões inferiores do molde (figura 4.6).

Finalmente, pode-se posicionar a armadura nas fôrmas, ocasião em que se faz uma revisão das etapas anteriores, suprimindo possíveis falhas que sejam notadas.

Concluída esta verificação final, fecha-se a fôrma e inicia-se a argamassagem, ou seja, o preenchimento da fôrma com argamassa.

#### 4.1.2 As características da argamassa

O proporcionamento de referência dos materiais constituintes da argamassa, com base na experiência do Grupo de São Carlos<sup>(1)</sup>, varia

segundo consumos na faixa de 585kg a 679kg de cimento portland por metro cúbico da argamassa. A relação agregado miúdo/cimento situa-se entre 2,0 e 2,5, enquanto a relação água/cimento vai de 0,40 a 0,45.

A resistência característica à compressão simples resulta, neste caso, entre 30MPa e 45MPa, sendo que o mínimo exigido por norma é 25MPa<sup>(3)</sup>.

São ainda parâmetros característicos de argamassa para este "traço" de referência:

- um coeficiente de permeabilidade inferior a  $1 \times 10^{-11}$  cm/s; e
- uma absorção inferior a 6%.

Via de regra, procura-se chegar a um equilíbrio razoável entre uma argamassa trabalhável, com baixa relação água/cimento, de modo que a permeabilidade seja a mais baixa possível, para garantir condições adequadas de proteção da armadura e durabilidade. Por outro lado, deseja-se também uma menor retração hidráulica e fluência, além de uma resistência mecânica elevada, sobretudo na tração<sup>(1)</sup>.

A qualidade da argamassa pode ser bastante melhorada com relação à composição de referência. Estudos recentes indicam a possibilidade de redução do consumo de cimento (favorecendo a minimização da retração, etc.), por meio de dosagem de argamassa com agregados de granulometria descontínua e eventual uso de superplastificantes.

O mensuramento das quantidades de cada material constituinte da argamassa dentro de uma usina, nas proporções obtidas experimentalmente em laboratório, pode ser feito de diversas maneiras.

O laboratório, normalmente, determina o traço em massa, referido à unidade de massa de cimento, tomando uma expressão do tipo:

$$1 : a : x$$

onde 1 significa 1kg de cimento, para *a* kg de areia e *x* de água. Observe-se que *x* é a relação água/cimento.

**Figuras 4.7 - Argamassagem**

Desde que a fábrica possua uma balança, podem ser mantidas as quantidades em massa. Na falta deste equipamento, a areia e a água podem ser medidas volumetricamente, restringindo-se a pesagem somente para o cimento.

O fato de não se aconselhar a medição do cimento em volume, explica-se pela grande probabilidade de erro que envolve a operação na prática. Dependendo da forma como se preenche um determinado recipiente de medida, do tipo de cimento empregado e da sua respectiva finura, pode-se cometer desvios de até 40% em massa<sup>(8)</sup>. Portanto, o cimento é proporcionado em massa, utilizando-se uma balança ou sacos inteiros do produto (embalagem de 50kg).

No caso de medição volumétrica da areia, são utilizados recipientes rígidos de metal ou madeira, cujas dimensões são fixadas com base no próprio traço, na capacidade do misturador, nas dimensões da "boca" do misturador, etc. O volume de água presente na

areia é necessariamente descontado, já que provoca um inchamento ou um aparente aumento de volume no material. Por outro lado, a determinação do teor de umidade da areia, também obriga a uma correção do fator água/cimento, visto que a mesma também constituirá a denominada de amassamento<sup>(8)</sup>.

As misturas dentro de uma usina, via de regra, são feitas por meios mecânicos. A utilização de misturadores de eixo horizontal é uma ocorrência frequente nas maiores fábricas nacionais de componentes de argamassa armada. No entanto, em virtude do custo elevado deste tipo de equipamento, quando comparado com as betoneiras usuais de eixo inclinado, também pode-se optar por esta última alternativa.

Concluída a mistura, a qual deverá apresentar-se com aspecto homogêneo, passa-se à colocação da argamassa nos moldes. O lançamento e o adensamento da mistura são feitos de forma simultânea e gradativa, de modo a permitir que o ar não fique aprisionado pela

sucessão imediata de camadas de argamassa (figuras 4.7).

O adensamento através da energia de vibração obtida com o uso de motovibradores, acoplados às próprias fôrmas (carrapatos) ou a mesas e carros vibratórios, tem por objetivo a diminuição da porcentagem de vazios na mistura, tornando a argamassa mais resistente, menos permeável e mais durável<sup>(9)</sup>.

O uso de mesa vibratória, em particular, requer dispositivos especiais para fixação da fôrma à mesma, de modo a não se alterar demasiadamente a frequência nominal de vibração e preservar-se a integridade dos moldes.

#### 4.1.3 A importância da cura

Vários são os fatores que influenciam este fenômeno, intrinsecamente ligado aos produtos a base de cimento, de forma que é muito importante controlá-lo.

O período de cura deverá ser iniciado imediatamente após o término da argamassagem.

Numa produção industrial a operação pode ser executada, dentre outras formas, através de:

- *cura simples* por molhagem da superfície diretamente ou com mantas de material esponjoso, serragem, sacos de aniagem ou membranas de cura;
- *cura por imersão* em tanques de água, que oferece bons resultados. A imersão pode ser feita imediatamente, dependendo do tipo de fôrma e da consistência da argamassa usada (figura 4.8);
- *cura térmica com vapor*, utilizada com sucesso em algumas aplicações, principalmente de peças com grandes dimensões—resistência à compressão simples após 12h, aproximadamente, 15MPa.

A desforma das peças, no processo industrial usual, ocorre, geralmente, de 9 a 12h após encerrada a argamassagem—dependendo do tipo de cimento e da cura, entre outros fatores.



Figura 4.8 - Início de cura por imersão

Supondo-se que a cura seja feita por imersão em água na temperatura ambiente (15°C a 35°C), a desforma das peças pré-fabricadas será executada quando as suas resistências ainda são baixas (cerca de 5MPa caso se esteja utilizando cimento CP32). Neste caso, é fundamental que a operação esteja cercada de todos os cuidados, para que danos estruturais irreversíveis não venham a acontecer.

Após a desforma o ciclo é reiniciado. Enquanto as fôrmas são remetidas ao início da linha de produção, as peças recém-desformadas prosseguem no seu período de cura, já numa segunda etapa, quando irão completá-lo.

#### 4.2 Tipologia de fôrmas

O sistema de fôrmas determina, segundo a sua tipologia, as características definidoras de organização de todo o processo produtivo da argamassa armada, à semelhança da pré-fabricação do concreto armado<sup>(10)</sup>. Na verdade, as fôrmas são o “fio condutor” entre o projeto e a obra, onde se comprova a versatilidade de um sistema produtivo.

Portanto, no que se refere particularmente à pré-fabricação, otimizar a argamassa armada significa dar uma atenção especial para as fôrmas.

sucessão imediata de camadas de argamassa (figuras 4.7).

O adensamento através da energia de vibração obtida com o uso de motovibradores, acoplados às próprias fôrmas (carrapatos) ou a mesas e carros vibratórios, tem por objetivo a diminuição da porcentagem de vazios na mistura, tornando a argamassa mais resistente, menos permeável e mais durável<sup>(9)</sup>.

O uso de mesa vibratória, em particular, requer dispositivos especiais para fixação da fôrma à mesma, de modo a não se alterar demasiadamente a frequência nominal de vibração e preservar-se a integridade dos moldes.

#### 4.1.3 A importância da cura

Vários são os fatores que influenciam este fenômeno, intrinsecamente ligado aos produtos a base de cimento, de forma que é muito importante controlá-lo.

O período de cura deverá ser iniciado imediatamente após o término da argamassagem.

Numa produção industrial a operação pode ser executada, dentre outras formas, através de:

- *cura simples* por molhagem da superfície diretamente ou com mantas de material esponjoso, serragem, sacos de aniagem ou membranas de cura;
- *cura por imersão* em tanques de água, que oferece bons resultados. A imersão pode ser feita imediatamente, dependendo do tipo de fôrma e da consistência da argamassa usada (figura 4.8);
- *cura térmica com vapor*, utilizada com sucesso em algumas aplicações, principalmente de peças com grandes dimensões—resistência à compressão simples após 12h, aproximadamente, 15MPa.

A desforma das peças, no processo industrial usual, ocorre, geralmente, de 9 a 12h após encerrada a argamassagem—dependendo do tipo de cimento e da cura, entre outros fatores.



Figura 4.8 - Início de cura por imersão

Supondo-se que a cura seja feita por imersão em água na temperatura ambiente (15°C a 35°C), a desforma das peças pré-fabricadas será executada quando as suas resistências ainda são baixas (cerca de 5MPa caso se esteja utilizando cimento CP32). Neste caso, é fundamental que a operação esteja cercada de todos os cuidados, para que danos estruturais irreversíveis não venham a acontecer.

Após a desforma o ciclo é reiniciado. Enquanto as fôrmas são remetidas ao início da linha de produção, as peças recém-desformadas prosseguem no seu período de cura, já numa segunda etapa, quando irão completá-lo.

#### 4.2 Tipologia de fôrmas

O sistema de fôrmas determina, segundo a sua tipologia, as características definidoras de organização de todo o processo produtivo da argamassa armada, à semelhança da pré-fabricação do concreto armado<sup>(10)</sup>. Na verdade, as fôrmas são o “fio condutor” entre o projeto e a obra, onde se comprova a versatilidade de um sistema produtivo.

Portanto, no que se refere particularmente à pré-fabricação, otimizar a argamassa armada significa dar uma atenção especial para as fôrmas.



Figura 4.9 - Fôrma fixa para fabricação estática



Figura 4.10 - Fôrma fixa com carro extrusor

- recursos disponíveis - financeiros e físicos;
- viabilidade econômica, em função do número de reutilizações da fôrma;
- estrutura produtiva da indústria como um todo (modelo de produção implantado).

Somente após a análise de cada uma destas questões é possível optar-se por alguma das soluções correntes para fôrmas dentro da pré-fabricação da argamassa armada.

#### 4.2.2 Classificação

A partir da tipologia apresentada por Ordóñez<sup>(11)</sup> para fôrmas de pré-fabricados de concreto, pode-se, analogamente, classificar os tipos de fôrmas de argamassa armada:

a) Quanto à forma de produção

##### FÔRMAS FIXAS

- *fabricação estática* - exige uma sucessão de equipes revezando-se à sua volta (figura 4.9).

- *extrusão (pista)* - exige um carro vibratório, de custo ainda elevado. Na medida em que diminui a incidência da mão-de-obra empregada, é uma forma de produção com elevado grau de industrialização e alta produtividade, quando comparada a outras (figuras 4.10).

##### FÔRMAS MÓVEIS

- *linha de produção* - embora as fábricas nacionais de argamassa armada apresentem ainda um baixo índice de mecanização e automatização, como exigiria esta forma de produção, os seus princípios básicos estão implantados na maior parte das usinas existentes (figura 4.11).

b) Segundo a forma de moldagem

##### FÔRMAS SIMPLES (horizontais ou pouco inclinadas)

As fôrmas de face simples, exceto nos casos de uso de carro vibratório ou régua vibratória,

## ARGAMASSA ARMADA

Industrialização, aplicação e processos de produção



Figura 4.11 - Fôrmas móveis percorrendo uma linha de produção

incorporam uma quantidade considerável de mão-de-obra para acabamento da superfície que não se encontra em contato com o molde.

O posicionamento das armaduras, em função das deformações das telas eletrosoldadas e da vibração aplicada no adensamento da argamassa, é problemático e exige muitas vezes esticadores, para garantia dos cobrimentos. No entanto, há que se considerar a economia advinda do uso de uma única face (figura 4.12).

**FÔRMAS DUPLAS** (verticais ou muito inclinadas)

O nível de acabamento destas fôrmas é obviamente melhor. A injeção de argamassa na vertical, no entanto, impõe limites de altura às peças e acessórios auxiliares para preenchimento da fôrma através da espessura da peça. O posicionamento das armaduras é facilitado pelas duas faces



Figura 4.12 - Fôrma simples para fabricação de placas de piso

entre as quais, com o uso de espaçadores, são confinadas.

Este tipo de fôrma exige algumas precauções para o seu preenchimento e adensamento da argamassa, a ser feito em camadas, uma vez que o risco de aparecimento de "ninhos" é maior.

O projeto neste tipo de fôrma é fundamental para se evitar surpresas na desforma. Embora mais caras (duas faces), esta forma garante os cobrimentos mínimos desejados (figura 4.13).

c) Segundo a simultaneidade de moldagem ou não

**FÔRMAS ISOLADAS** (moldagem de uma peça por vez)

As fôrmas isoladas, no caso de pré-fabricação em série, só se justificam para pistas ou peças de grandes dimensões e massa, que deve ser compatível com os equipamentos disponíveis (figura 4.14).

**FÔRMAS TIPO "BATERIA" (moldagem simultânea de várias peças)**

Devido às pequenas espessuras e massas reduzidas das peças de argamassa armada, pode-se associar fôrmas isoladas de modo a otimizar as operações de preenchimento dos moldes (associados) e desforma. Além da redução dos tempos globais de produção, tem-se simultaneamente a economia de material de estruturação do molde (figura 4.15).

Existem outras formas de classificação que podem figurar num elenco de alternativas mais sofisticadas. Para a atual configuração produtiva das usinas de argamassa armada existentes no país, bastam as três citadas.

**4.3 A qualidade das fôrmas para argamassa armada**

A etapa de moldagem é o momento particular no qual, acredita-se, materializa-se a qualidade da peça de argamassa armada.

Naturalmente, há necessidade de cuidados específicos nos vários níveis de produção. No entanto, a falta de cuidados tecnológicos nas fôrmas, resulta em danos sensíveis ou irreversíveis para o produto final obtido, o que nem sempre ocorre em outras fases de modo tão decisivo.

**4.3.1 Materiais**

A madeira é o material tradicional para a confecção de fôrmas, sejam elas para concreto pré-moldado ou não. Nos últimos tempos, ela vem sendo substituída por materiais alternativos e mais adequados, especialmente na pré-fabricação. Tanto por fatores econômicos, como por questões de durabilidade, o aço, os plásticos, os materiais sintéticos de um modo geral e o próprio concreto armado/argamassa armada, são cada vez mais utilizados.

Como princípios gerais, a escolha do material e a construção do molde dependem:

- a) da qualidade desejada para a peça produzida;



Figura 4.13 - Fôrma dupla



Figura 4.14 - Fôrma isolada para cobertura de abrigo de ônibus



Figura 4.15 - Fôrma tipo "bateria"

## ARGAMASSA ARMADA

Industrialização, aplicação e processos de produção

- b) das dimensões e forma da mesma;
- c) do tipo de adensamento e cura;
- d) do número de reutilizações.

Embora alguns produtos de concreto possam ser fabricados ou produzidos por moldes de aço muito robustos, que admitem até 10000 reutilizações, as grandes peças são normalmente moldadas em fôrmas leves de aço, madeira ou concreto com um número de usos muito menor<sup>(11)</sup>.

Definem-se as seguintes possibilidades de uso dos distintos materiais:

em argamassa armada, sendo os moldes metálicos os mais empregados. Permitindo reutilizações entre 500 e 800 vezes, este tipo de molde atende aos princípios gerais comentados no início deste item. As peças de argamassa armada caracterizam-se pela esbeltez de suas formas e, em consequência disso, por pequenas espessuras de cobrimento, que somadas às imposições de conformidade com o projeto e rigor nas dimensões, levam a optar pelas fôrmas metálicas. Além disso, a cura por imersão — usual nas usinas de argamassa armada — praticamente impõe esta alternativa.

A resistência, a economia resultante do número

MATERIAL DA FORMA	REUTILIZAÇÕES
madeira sem tratamento	20 a 80 vezes
madeira tratada	30 a 120 vezes
madeira revestida com chapa de aço	30 a 150 vezes
concreto	100 a 300 vezes
materiais sintéticos reforçados com fibra de vidro	80 a 400 vezes
aço (fôrmas desmontáveis)	500 a 800 vezes
aço (fôrmas não desmontáveis)	800 a 1.200 vezes

Para a produção de peças de argamassa armada, da mesma maneira que o concreto armado pré-fabricado, pode-se selecionar o material adequado para o molde e estruturação a partir do número de peças iguais que se pretende produzir.

São vários os exemplos de utilizações de diferentes materiais na produção de elementos

excepcional de reutilizações possíveis, a disponibilidade no mercado, além da facilidade de manutenção, são argumentos a favor da fôrma metálica.

Apresenta-se no quadro a seguir um resumo das principais características das chapas utilizadas na confecção de moldes para argamassa armada:

CHAPAS MAIS UTILIZADAS NA EXECUÇÃO DE MOLDES METÁLICOS		
ESPESSURA		
nº (AWG)	mm	peso (kg/m <sup>2</sup> )
14	1.90	15.26
12	2.66	21.36
11	3.04	24.41
10	3.42	27.46

Normalmente adota-se para as chapas planas do molde a espessura de 2,66 ou 3,04mm, e para os reforços, executados com chapas dobradas em forma de L ou U, a espessura de 3,04mm.

Os perfis laminados disponíveis no mercado, tipo cantoneira, tipo U, tipo I etc., também podem ser usados.

Para a utilização da madeira, o elevado número de reutilizações, obriga ao uso de materiais de revestimento como, por exemplo, os vernizes, as chapas de PVC ou de "fórmica". Também deverá ser feita a selagem dos topos das chapas compensadas, garantindo maior estanqueidade após sucessivos procedimentos de cura (imersão ou umedecimento constante do conjunto fôrma/peça).

Nas situações onde se deseje produzir um pequeno número de peças, o uso da madeira (estruturação) e chapa compensada resinada ou plastificada (molde) são os materiais mais indicados, não necessitando o último de revestimentos especiais.

Outros tipos de materiais podem ser usados na função de molde para a argamassa armada. São bastante utilizados os sistemas em alvenaria, onde um capeamento em argamassa é feito sobre blocos ou tijolos, procurando garantir regularidade. Maiores índices de reaproveitamento podem ser obtidos aplicando-se camadas de resinas poliméricas (epóxicas) sobre a argamassa de regularização.

As fôrmas de fibra de vidro são mais recentes e seu uso pouco difundido.

Dentro da procura do binômio custo/qualidade, a própria argamassa armada ainda pode ser muito explorada na confecção de moldes, uma vez que apresenta características muito apropriadas para tal.

O sistema de fôrmas pode ser concebido, inclusive, pela integração de vários materiais diferentes, onde devem ser exploradas as peculiaridades de cada um. Por exemplo, moldes de chapa metálica estruturados com

concreto, moldes em laminados melamínicos estruturados com perfis de alumínio etc.

O alumínio não é muito utilizado, já que além do seu alto custo, é atacado pelos compostos do cimento portland.

Para realizar a moldagem de vazados e outros orifícios, podem ser utilizados materiais sintéticos de pouca massa como: papelão, infláveis (reaproveitáveis) etc.

### 4.3.2 Dimensionamento e detalhamento

O projeto de fôrmas deve considerar todas as ações que sobre elas irão atuar. Pode-se classificá-las em<sup>(1)</sup>:

- a) *estáticas* - são o peso próprio da fôrma e da peça a argamassar, incluindo todos os elementos (armaduras, instalações etc.), esforços gerados por desforma e, quando existam, pelo transporte da fôrma;
- b) *dinâmicas* - o lançamento e adensamento da argamassa, principalmente devido à vibração enérgica exigida, que cria algumas das principais ações que devem ser consideradas no cálculo das fôrmas de argamassa armada.

Tradicionalmente, como no concreto, considera-se o empuxo exercido pela argamassa fresca sobre as paredes, equivalente a um fluido de massa específica de 2500 kg/m<sup>3</sup>. Esta hipótese apresenta resultados satisfatórios, embora não tenha embasamento científico.

A pressão que atua sobre as paredes depende dos seguintes fatores:

- densidade de massa aparente do concreto fresco;
- espessura e largura do elemento a concretar;
- altura da camada de concreto a lançar;
- velocidade de preenchimento e estado de en-

durecimento das camadas anteriores;

- atrito do concreto sobre as paredes do molde;
- viscosidade da mistura sob o efeito de vibração.

A estes fatores deve-se adicionar: a temperatura da mistura e as características do método de adensamento, que incrementa os empuxos estáticos.

O efeito da aceleração das partículas pela vibração pode ser compensado através de uma majoração da densidade de massa.

Além disso, é necessário verificar se as deformações nas paredes do molde não são maiores que as tolerâncias permitidas no projeto das peças a produzir. Este ponto é de importância fundamental no caso da argamassa armada, devido às pequenas espessuras.

- c) *térmicas* - originadas por tratamento de cura acelerada, podem causar grandes deformações irreversíveis.
- d) *reológicas* - devido à retração do concreto, a peça pode gerar tensões de empenamento restringido, o que resultará em uma dificuldade de desforma.

De maneira geral, as fôrmas para argamassa armada devem apresentar como característica crítica, a resistência aos efeitos danosos das altas frequências de vibração utilizadas — da ordem de 3500 rpm a 5000 rpm, fator que muitas vezes acaba por provocar um aparente superdimensionamento do conjunto.

O detalhamento das fôrmas é um parâmetro, de grande importância, a ser considerado na fase de projeto.

Em função da sua preponderância na produção industrializada, deverá ser dada ênfase aos detalhes característicos das fôrmas metálicas.

Usualmente as peças de argamassa armada são adensadas sobre mesas vibratórias. Em peças especiais ou de grandes dimensões, no entanto, podem ser acoplados vibradores tipo "carrapatos" nas paredes do molde. Isso obriga a um estudo cuidadoso da inércia e geometria da fôrma, providenciando-se os devidos reforços localizados.

A ligação do molde com os perfis metálicos de estruturação é feita através de solda.

As uniões entre os vários painéis da fôrma (especialmente no caso de fechamento) por meio de parafusos, não são recomendáveis devido à vibração. Deve-se dar preferência às uniões por cunhas e pinos, que facilitam a operação e são mais duráveis.

Um dos problemas das fôrmas metálicas, ao nível de detalhamento, são as juntas das chapas que podem deixar sinais na peça moldada. Para evitar tal ocorrência deve-se posicionar as emendas, aonde estas não venham a prejudicar o aspecto das peças. Caso não seja possível, um tratamento com massa plástica ou similar (massa de funileiro) apresenta resultados satisfatórios.

Para facilidade da desforma, deve-se prever ângulos adequados para o saque das peças, evitando obliterações que venham a solicitá-las em baixas idades. As uniões entre as partes constituintes do molde devem ser evitadas, pois são pontos críticos para a estanqueidade do conjunto. Entretanto, se necessárias, tais uniões devem receber um tratamento de vedação a base de materiais compressíveis (neoprene, silicone, borrachas sintéticas em geral).

Finalmente devem ser previstos, quando necessários, dispositivos de fixação da forma à mesa vibratória, para que não sejam alteradas a frequência e amplitude de vibração previstas.

Como já foi dito, os moldes determinam a qualidade das peças e a rentabilidade do sistema. Assim sendo, as fôrmas deverão satisfazer as seguintes exigências:

- a) estabilidade dimensional, para que a peça moldada se mantenha dentro das tolerâncias permitidas;
- b) utilização reiterada sem custos consideráveis de manutenção;
- c) fácil manejo e simplicidade na colocação das armaduras e instalações, quando existam;
- d) pouca aderência à argamassa e fácil limpeza.

#### **4.3.3 Racionalização de custos das fôrmas**

A argamassa armada industrializada impõe o uso de fôrmas, cujos custos são significativos no preço final do produto.

A racionalização destes custos está intimamente ligada ao maior número possível de reutilizações que são necessárias para amortizá-los. Para que isto ocorra, existe uma fase anterior que se inicia com o projeto do sistema ou da obra que se pretende construir.

Inerente ao conceito de se industrializar, existe o conceito de economia de escala, que se manifesta na fase de projeto através do maior número possível de utilizações que uma peça possa ter.

Preenchido este requisito básico, parte-se para o estudo do projeto de fôrmas, etapa em que se

deve considerar a escolha dos materiais, os detalhamentos, o fluxograma de produção da usina, além dos aspectos relativos à tecnologia do material (armaduras, posicionamento, argamassagem, cura e desforma).

Atualmente as empresas que produzem elementos de argamassa armada, quando necessitam de fôrmas metálicas, recorrem a fabricantes especializados ou a serralheiros com experiência na confecção de moldes com as características exigidas. Normalmente uma central de serralheria é mantida na própria usina, porém somente para fins de manutenção dos conjuntos em uso.

Para as fôrmas de madeira, com utilização reduzida neste tipo de atividade, conta-se com a mão-de-obra tradicional de carpintaria, alocada na usina.

O custo estimativo de fôrmas metálicas, para fins de orçamento, é resultado da área útil do molde, multiplicada pelo índice de 50kg/m<sup>2</sup> de aço trabalhado, válido para a maior parte dos casos e aceito pelas empresas de pré-fabricação em geral. Este valor é dividido pelas reutilizações previstas (500 vezes, em geral) e multiplicado pelo custo por quilograma de aço trabalhado (fornecido por firmas especializadas).

## 5. Conclusão

A busca de um modelo tecnológico diferenciado para o desenvolvimento da construção civil, distinto dos processos tão somente importados e adequado à estrutura econômica, social e cultural de nosso País, com suas realidades regionais, parece ser uma prática fundamental, e até certo ponto lógica, para que haja uma superação das enormes necessidades existentes, particularmente na área habitacional.

Neste sentido, a proposta de uma industri-

alização a base de componentes leves de argamassa armada, aparece como um caminho consolidado e possível.

A experiência acumulada no Brasil mostra que é viável a implantação de fábricas de componentes pré-fabricados leves de argamassa armada e concreto armado, seja por iniciativa do poder público ou do empreendedor privado, a baixos custos de investimentos em capital fixo e com produtos de qualidade.



Espaço Vivencial de Trânsito - CET



Centro de Assistência Integrado à Criança - CAIC

## 6. Referências bibliográficas

- 1) HANAI, João B. **Argamassa armada; fundamentos tecnológicos para projeto e execução**. São Carlos, Escola de Engenharia, 1987. (Tese de Livre Docência).
- 2) FERREIRA, Aurélio B. de H. **Dicionário da língua portuguesa**. Rio de Janeiro, Editora Nova Fronteira, 1985.
- 3) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Projeto e execução de argamassa armada**. NBR-11.173. Rio de Janeiro, 1989.
- 4) AUSTRIACO, Lilia Robles. **Introduction to ferrocement; history, applications and constituent materials**. In: INTERNATIONAL FERROCEMENT INFORMATION CENTER (IFIC). Short course on design and construction of ferrocement structures; lecture notes. Bangkok, 1985.
- 5) BEZERRA, Robério R. **Argamassa armada; aplicação em urbanização de favelas e saneamento básico**. São Paulo, ABCP, 1984. (ET-64).
- 6) LIMA, João Filgueiras. **Depoimento**. Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, 3(11): 24, abr./mai. Editora Pini, 1987.
- 7) CHAMELETE, Antonio G. **Armaduras para argamassa armada**. São Paulo, ABCP, 1987.
- 8) FERREIRA JÚNIOR, Sílvio. **Produção de blocos de concreto para alvenaria; prática recomendada**. São Paulo, ABCP, 1985. (BT-107).
- 9) GIAMMUSSO, Salvador E. **Preparo do concreto**. São Paulo, ABCP, 1983. (ET-42).
- 10) CAMPOS, Paulo Eduardo F. de. **Industrialização da construção e argamassa armada; perspectivas de desenvolvimento**. São Paulo, EPUSP, 1989. (Dissertação de Mestrado).
- 11) FERNANDEZORDÓÑEZ, José A. **Prefabricacion; teoría y práctica**. Barcelona, Editores Técnicos Asociados, 1973. v.1.