

**INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO**

**LUIZ ANTONIO PECORIELLO**

**Dissertação de Mestrado apresentada  
ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas  
do Estado de São Paulo – IPT, como  
parte dos requisitos para a obtenção do  
Título de Mestre em Habitação:  
Planejamento e Tecnologia**

**Area de Concentração: Tecnologia e  
Construção de Edifícios**

**Orientador: Prof. Dr. Jose Maria de  
Camargo Barros**

**SÃO PAULO  
2003**

A minha esposa

Rosangela Sandri Pecoriello

e a minha filha

Maricarmen Sandri Pecoriello

eternas companheiras

## Agradecimentos

Ao magnífico professor  
Dr. José Maria de Camargo Barros  
pela orientação, dedicação, entusiasmo e ensinamentos recebidos;

Aos professores do Centro de Aperfeiçoamento Tecnológico do  
Instituto de Pesquisas Tecnológicas IPT:  
Dr. Mauricio Abramento e  
Dr. Celso Santos Carvalho;

Aos diretores da Habisolo Construções e Empreendimentos  
Francisco José Siqueira Bittencourt,  
Marcos Melchior De Biasi e  
Heber Americano Silva Junior;

Ao engenheiro da Andrade Gutierrez Empreendimentos Ltda  
Guilherme de Albuquerque Belém;

A Rosangela Sandri Pecoriello e  
Thais Barbosa Cintra de Souza  
pelas revisões no texto;

A Mara Regina Pecoriello,  
Priscila Fischetti Delgatto e  
Federico Aquino pelas ilustrações;

A Vera Lucia Marques Hamsi do  
Departamento de Matemática e Estatística  
da Universidade de São Paulo USP;

Aos membros da Ordem do Infinito Setor São Paulo e

a todas as pessoas que  
contribuíram de alguma forma para a realização desse trabalho

## SUMÁRIO

Lista de figuras	<i>vi</i>
Lista de tabelas	<i>vii</i>
Lista de abreviaturas, siglas e símbolos	<i>viii</i>
Resumo	<i>ix</i>
Abstract	<i>x</i>
Capítulo 1 - Introdução	1
1.1 Considerações iniciais	1
1.2 Objetivos	5
1.3 Estrutura da dissertação	5
Capítulo 2 - Histórico	6
Capítulo 3 - Fatores que afetam o comportamento das paredes de tijolos de solo-cimento	10
3.1 Interação solo - cimento	10
3.2 Solo	12
Perfil do solo	12
Solos residuais	13
Solos transportados	14
Solos orgânicos	14
Solos turfosos	15
Escolha do solo	15
Ensaio de laboratório para caracterização do solo para uso em solo-cimento	19

3.3 Cimento	20
3.4 Água	21
3.5 Produção de tijolos	21
Definição	21
Confecção de tijolos	21
3.6 Técnicas de execução de alvenarias	32
Definição geral de alvenaria	32
Recomendações para o projeto das alvenaria em solo-cimento	33
Construção de alvenaria com tijolos de solo-cimento	33
3.7 Retração do solo-cimento	39
3.8 Análise dos manuais existentes no mercado sobre solo-cimento para fabricação de tijolos e orientação para construções	40
Como fazer e usar tijolos prensados de solo estabilizado Fundação Pró-Habitar- Habitec.- Brasília: IBCT; Recife, 1995 Carvalho. A.R.R, Poroca J.S	40
Brick manual desenvolvido pela Sahara- Ind. e Com. de Máquinas e Equipamentos Ltda.	42
Capitulo - 4 Cadastramento das técnicas empregadas pelos fabricantes de tijolos de solo-cimento e pelos construtores	44
4.1 Perfil das empresas selecionadas	44
4.2 Procedimentos das empresas para a produção dos tijolos de solo-cimento com furos circulares	45
Escolha do solo	45
Escolha do cimento	45
Confecção dos tijolos com furos circulares	46
4.3 Técnicas para execução de alvenaria empregando tijolos com furos circulares	50

Recomendações para o projeto das alvenarias em solo-cimento	50
Construção de alvenaria com tijolos de solo-cimento	50
Capítulo - 5 Recomendações práticas para o pequeno construtor	56
5.1 Estudo sobre a viabilidade de implantação de unidade produtora de tijolos de solo-cimento	56
5.2 Produção de tijolos de solo-cimento com furos circulares	56
Escolha do solo	56
Escolha do cimento	57
Água	57
Confecção dos tijolos	57
5.3 Recomendações para o projeto das alvenarias empregando tijolos de solo-cimento com furos circulares	62
5.4 Construção de alvenaria utilizando tijolos de solo-cimento com furos circulares	64
6 Considerações finais	70
Referências bibliográficas	72

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Construção de paredes com o emprego de tijolos especiais	1
Figura 2 Planta baixa de casa modulada	2
Figura 3 Taipa de sopapo	7
Figura 4 Formas para Adobe	8
Figura 5 Determinação da Umidade Ótima	26
Figura 6 Prensa manual	29
Figura 7 Juntas secas verticais	43
Figura 8 Grampos	53
Figura 9 Amarração dos cantos	53
Figura 10 Pilaretes	54
Figura 11 Peneiramento do solo	58
Figura 12 Preenchimento dos furos com graute	67
Figura 13 Verga	68

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 Características das paredes empregadas no projeto	3
Tabela 2 Custo da construção das paredes	3
Tabela 3 Seleção de solos quanto à granulometria	16
Tabela 4 Dosagem para produção de graute	37
Tabela 5 Características das empresas pesquisadas	44

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CEPED / BA	Centro de Pesquisas e Desenvolvimento da Bahia
CINVA	Centro Interamericano de Vivienda y Planeamiento
CP I	Cimento Portland Comum
CP I - S	Cimento Portland Comum com Adição
CP III	Cimento Portland de Alto Forno
HABITEC	Fundação Pró – Habitar - Brasília
IBCT	Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia
ICPA	Instituto Del Cemento Portland Argentino
IP	Índice de Plasticidade
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
LL	Limite de Liquidez (%)
LP	Limite de Plasticidade (%)
PVA	Acetato de polivinila
∅	Diâmetro

## **RESUMO**

Com o objetivo de reunir e organizar informações sobre a produção e a utilização do tijolo de solo-cimento, este trabalho apresenta recomendações práticas para a confecção e uso desses tijolos em construções de um pavimento.

As recomendações foram baseadas em pesquisa bibliográfica e levantamento feito junto aos fabricantes e construtores que, respectivamente, produzem e utilizam o tijolo.

As informações orientam o usuário sobre a viabilidade da implantação de unidades produtoras de tijolos de solo-cimento, escolha do solo, produção de tijolo, recomendações para o projeto e construções das paredes com o tijolo de solo-cimento.

## **ABSTRACT**

The objective of this study is to put together and organize information about the production and use of soil cement bricks. It presents practical recommendations about the production and use of these bricks in one-story constructions.

Recommendations were based on bibliographical research and data obtained from manufacturers and builders who, respectively, produce and use this kind of brick.

The information orient users about the viability of new soil cement bricks manufacturers, soil choices, brick production, recommendations for the project and construction of soil cement brick walls.

## CAPITULO 1 - INTRODUÇÃO

### 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

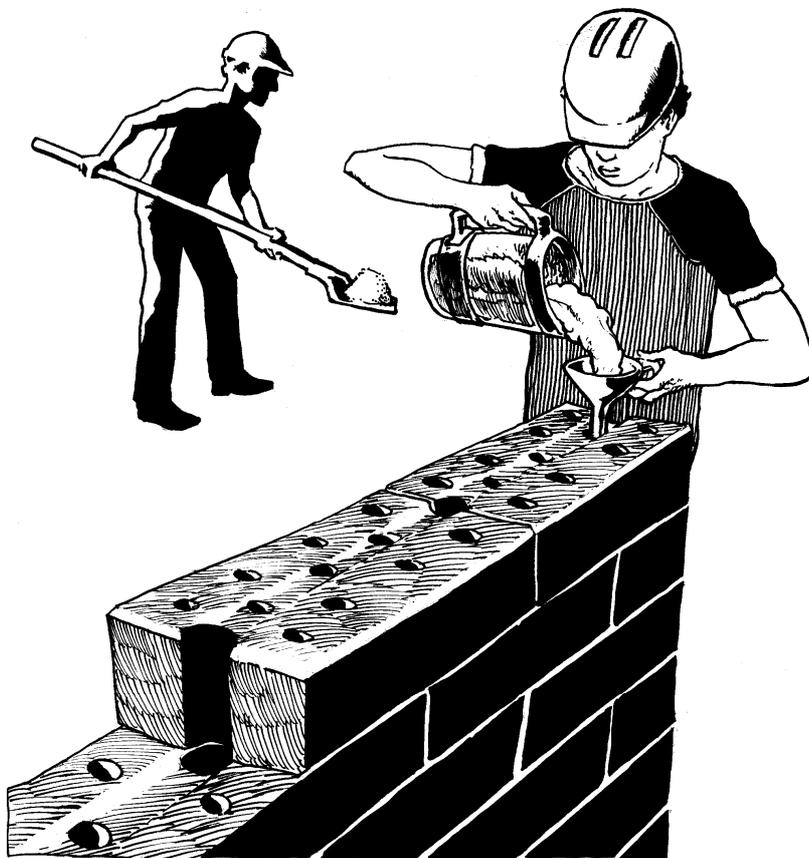
A questão da habitação popular brasileira exige tecnologias mais singelas a custos compatíveis com a conjuntura sócio-econômica atual.

Uma das soluções alternativas é a utilização do tijolo de solo-cimento nas construções, que reduz os custos da habitação e, no processo de fabricação do tijolo, proporciona um consumo menor de energia.

A economia conseguida com tijolos de solo-cimento, quando fabricados em larga escala, segundo NASCIMENTO (1992), pode ser de até 30% em relação aos tijolos cozidos de boa qualidade, sem a necessidade de grandes investimentos para montagem de unidades industriais.

CARVALHO E POROCA (1995) descrevem a construção de paredes utilizando tijolos especiais que possuem furos circulares, saliências e rebaixos tipo macho e fêmea. Segundo CARVALHO E POROCA, esses detalhes tornam o tijolo mais funcional (*Figura 1*).

Empregado em sistema não convencional que reduz o consumo de argamassa e simplifica o sistema construtivo, viabilizando a autoconstrução porque não necessita de mão de obra especializada.



### Figura 1 - Construção de paredes com o emprego de tijolos especiais

O sistema é baseado no intertravamento e encaixe dos tijolos. O intertravamento é feito com a colocação de argamassa nos furos, formando assim pequenas colunas de estabilização da alvenaria. Além disso, o conjunto de saliências e rebaixos no topo e base dos tijolos permite o encaixe entre as peças e o auto-alinhamento na elevação das paredes.

Já os furos que não foram preenchidos com argamassa servirão de passagem às tubulações de água e instalações elétricas.

Para CARVALHO E POROCA, a construção de alguns painéis e de um protótipo com este tipo de tijolo tem permitido observar *a priori*:

- a) uma redução em aproximadamente 50% da argamassa de rejunte por metro quadrado de alvenaria;
- b) simplificação na elevação da alvenaria, podendo viabilizar a construção com cerca de metade da mão-de-obra especializada normalmente requerida.

Para ilustrar a redução nos custos do m<sup>2</sup> de paredes construídas de solo-cimento em relação às paredes erguidas com tijolos maciços de cerâmica, apresenta-se na Figura 2, um projeto de Casa Modulada para Solo-Cimento. As Tabelas 1 e 2 apresentam comparações entre as características e o custo dos dois tipos de construção.

### PLANTA BAIXA DE CASA MODULADA PARA SOLO-CIMENTO

Autor do projeto: Arq. Heber Americano

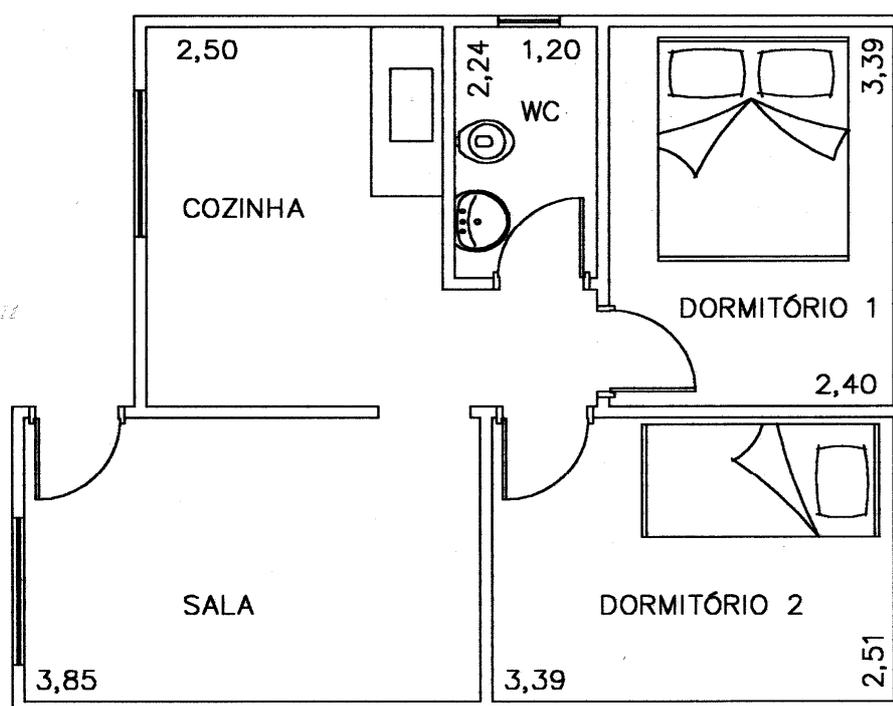


Figura 2 - Planta baixa de casa modulada

As tabelas 1 e 2 foram desenvolvidas baseadas no projeto apresentado acima e têm o objetivo de comparar os custos das paredes construídas com tijolos maciços comuns e tijolos furados de solo-cimento.

	ALVENARIA DE TIJOLO COMUM	ALVENARIA DE TIJOLO DE SOLO-CIMENTO
PREÇO DO MILHEIRO	R\$ 80,00	R\$ 250,00
CONSUMO DE TIJOLOS POR m <sup>2</sup>	84	64
NUMERO DE TIJOLOS	10.004	7920
TEMPO DE CONSTRUÇÃO	15 DIAS	7 DIAS
ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO	Traço 1:2:8 cimento / cal / areia	Traço 1:12 cimento / solo
TEMPO TOTAL PARA RASGAR PAREDES	16 horas	
CORREÇÃO DE PRUMO DAS PAREDES	Acréscimo de 1cm na espessura da argamassa aplicada na parede	
REVESTIMENTO DAS PAREDES	Espessura 2,5cm	Espessura 2,5cm
INFRA-ESTRUTURA	13 Pilares e cinta de amarração no respaldo das paredes	52 Pilaretes e cinta de amarração no respaldo das paredes

Tabela 1 Características das paredes empregadas no projeto

	ALVENARIA DE TIJOLO COMUM	ALVENARIA DE TIJOLO DE SOLO-CIMENTO
VALOR DA MÃO DE OBRA	R\$ 1.810,00	R\$ 845,00
CUSTO DO MATERIAL (Tijolo, Cimento, Cal ou Solo e Areia)	R\$ 2.094,00	R\$ 2.266,00
RASGOS NAS PAREDES P/COLOCAÇÃO DAS INSTALAÇÕES	R\$ 180,00	
CORREÇÃO DE PRUMO DAS PAREDES	R\$ 1.440,00	
REVESTIMENTO DAS PAREDES	R\$ 3660,00	R\$ 3660,00
INFRA-ESTRUTURA PILARES OU PILARETES E CINTA	R\$ 1.220,00	R\$ 677,00
TOTAL	R\$ 10.404,00	R\$ 7.448,00

CUSTO DA ALVENARIA POR m <sup>2</sup>	R\$ 87,40/ m <sup>2</sup>	R\$ 62,58/ m <sup>2</sup>
---------------------------------------	---------------------------	---------------------------

Tabela 2 Custo da construção das paredes

Os dados das tabelas foram baseados na TCPO 2000 (Tabela de Composição de Preços para Orçamentos) da Editora Pini e Planilhas Orçamentárias da Empresa Habisolo.

O que se observa é uma redução de 28,3% no custo do m<sup>2</sup> da parede construída com tijolos de solo-cimento.

Além disso, NASCIMENTO afirma que do processo de fabricação resultam tijolos de boa resistência, com dimensões praticamente constantes. As paredes de tijolos de solo-cimento apresentam bom aprumo e linearidade, bem como desempenho térmico e acústico.

Para CARVALHO E POROCA, as construções que utilizam tijolos de solo-cimento apresentam os seguintes aspectos:

- a) conforto térmico: as paredes apresentam desempenho térmico equivalente às construídas com tijolos de barro cozido;
- b) manutenção e durabilidade: as construções com paredes de tijolos de solo estabilizado devem ter manutenção semelhante às de alvenaria convencional, e admite-se que ambas tenham durabilidade compatível.

A partir dos anos 90, a utilização de máquinas manuais de fabricação de tijolos de baixa produtividade aumentou. No entanto, ainda prevalece o caráter empírico sobre o tecnológico na produção de tijolos e seu uso na construção. Mesmo assim, é possível observar redução nos custos, demonstrando a viabilidade do emprego do solo-cimento.

Porém, sua utilização em paredes demanda cuidados a serem tomados no sentido de evitar as patologias mais comuns:

- fissuras por efeito de retração;
- desgaste superficial;
- percolação de umidade através de paredes.

Os manuais que ensinam como fazer e usar tijolos prensados de solo estabilizado fornecidos pelos fabricantes de equipamentos, trazem poucas informações. Além disso, as determinações das Normas Brasileiras (NBR) para sua fabricação não podem ser esquecidas:

NBR 10832, fabricação de tijolo maciço de solo-cimento com a utilização de prensa manual;

NBR 10833, fabricação de tijolo maciço e bloco vazado de solo-cimento com a utilização de prensa hidráulica;

NBR 8491 Tijolo maciço de solo-cimento especificação;

NBR 8492 Tijolo maciço de solo-cimento- determinação da resistência à compressão e da absorção de água método de ensaio.

Este trabalho se propõe a apresentar ao pequeno usuário parâmetros mínimos que devem ser adotados para a obtenção de produtos de solo-cimento com qualidade no uso das construções habitacionais.

## **1.2 OBJETIVO**

O principal objetivo deste trabalho é reunir informações práticas para produção e utilização de tijolos de solo-cimento em construções de um pavimento.

Essas recomendações serão fundamentadas em pesquisa bibliográfica na literatura técnica sobre o assunto, análise dos manuais dos fabricantes, levantamentos junto aos fabricantes de tijolos e observação das técnicas utilizadas pelos construtores.

## **1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

A dissertação se compõe de mais seis capítulos conforme descrição a seguir.

O Capítulo 2 contém informações sobre as primeiras utilizações de solo, solo-cimento e outros tijolos cerâmicos na construção civil.

Os fatores que afetam o comportamento das paredes de solo-cimento são apresentados no Capítulo 3, sendo dividido nos seguintes assuntos: solo, cimento, produção dos tijolos, técnicas de execução das paredes e análise de alguns manuais existentes no mercado sobre o uso do tijolo de solo cimento.

No Capítulo 4, apresenta-se um cadastramento das técnicas empregadas pelos fabricantes de tijolos de solo-cimento e pelos construtores.

No Capítulo 5, são feitas recomendações práticas para o pequeno construtor.

Finalmente, no capítulo 6, são apresentadas as considerações finais.

## ***CAPITULO 2 - HISTÓRICO***

Segundo NASCIMENTO (1992), o solo tem sido utilizado como material de construção de habitações desde épocas bem remotas, por ser material abundante, barato e ao alcance do homem.

Na Europa, assim como no Oriente, o solo sempre foi largamente empregado nas construções. Na América, anteriormente à descoberta, os indígenas não conheciam o emprego do solo. Seus abrigos e suas cabanas, em forma de colmeia ou arredondadas, eram sempre de madeira cobertas de palha ou folhagem. Foram os portugueses que introduziram a forma quadrangular, como o próprio emprego do solo na construção das casas.

Na época da descoberta do Brasil, o solo era largamente empregado não só na Espanha e em Portugal como em toda a orla do mediterrâneo. Por este motivo, os colonizadores introduziram, tanto aqui como nos demais países da América, o uso da taipa e do adobe.

O solo pode ser usado de diversas formas na habitação:

- Taipa ou terra socada;
- Adobe;
- Taipa de sopapo;
- Solo-cimento;
- Tijolo comum;
- Bloco Cerâmico;

### *Taipa ou terra socada*

Também chamada taipa de pilão, é uma forma de construção na qual as paredes monolíticas são edificadas pela compactação do solo úmido entre duas formas de madeira ou metal que se movimentam ao longo das paredes.

### *Taipa de sopapo*

Também chamada de taipa de sebe pelos portugueses ou pau-a-pique, é uma forma de construção que consiste na execução de uma malha de madeira que recebe pasta de solo (solo acrescido de água), lançada de ambos os lados simultaneamente, e deixada secar ao natural por um período de quatro a cinco semanas.

Depois de seco, o solo se contrai e a parede apresenta diversas trincas, aplica-se então, sobre a parede, argamassa composta de barro e cal que receberá, posteriormente, a caliação ( *Figura 3*).

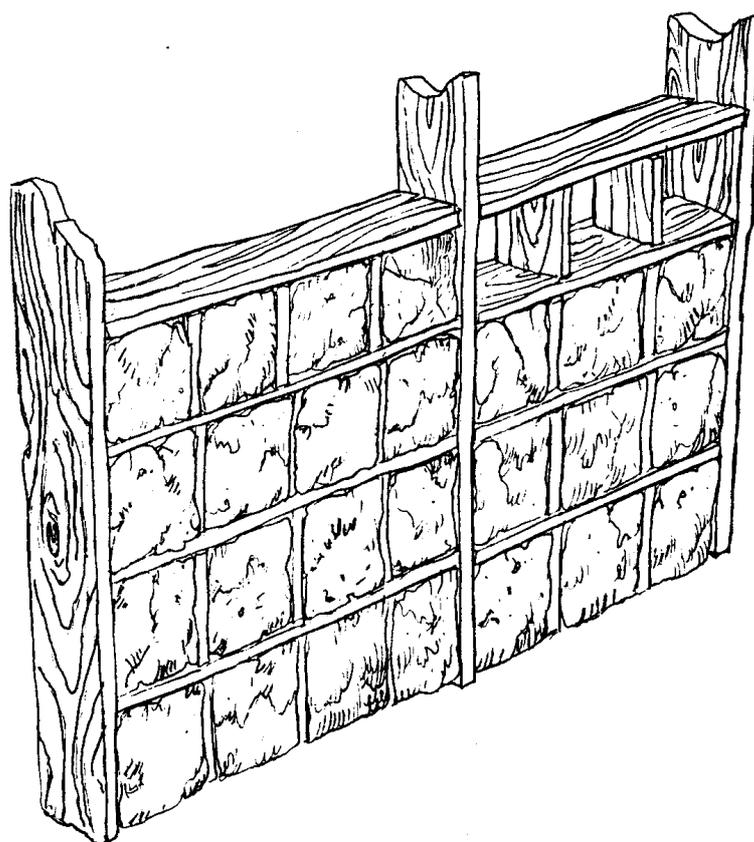


Figura 3 - Taipa de sopapo

### *Adobe*

Também chamado de *tijolo cru*, é simplesmente o tijolo de solo deixado secar ao sol. É um dos métodos simples de utilização de solo como material de construção; sua origem remonta a séculos, estimando-se que tenha nascido nos países da orla mediterrânea, em zonas de clima quente e seco.

O solo é misturado com água até se obter uma massa plástica, facilmente moldável. A seguir, é colocado em uma forma de madeira ou metal, sem o fundo, socada e alisada sendo, então, apoiada sobre uma superfície plana, permanecendo por um período de quatro dias sem molhagem alguma.

Depois de secos, os tijolos são apoiados sobre uma das faces laterais por aproximadamente trinta dias, expostos ao sol e ao vento, porém sem chuva, sendo a seguir empilhados. Suas dimensões variam de 8 x 12x 25, 12,5 x 25x 50 e 10 x 30x 45 cm (*Figura 4*).

A argamassa utilizada no assentamento é feita do próprio solo utilizado na confecção do adobe.

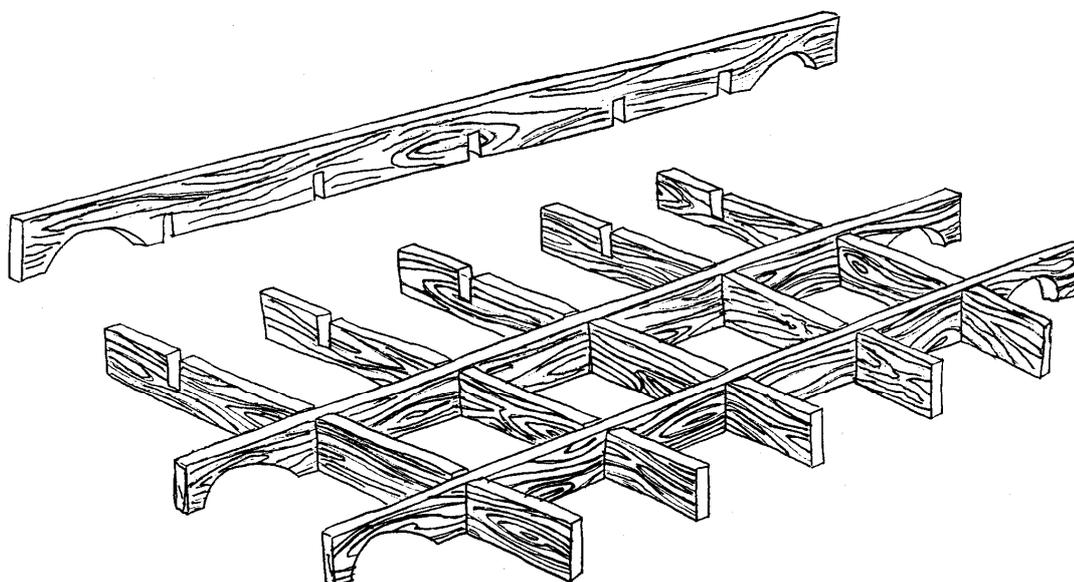


Figura 4 - Formas para Adobe

### *Solo-Cimento*

NASCIMENTO afirma que, segundo a "Cement and Concrete Association", o solo-cimento foi descoberto por um engenheiro inglês, H.E.Brooke-Bradley, em 1917, que aplicou o produto no tratamento de leitos de estradas e pistas para veículos puxados por cavalos no sul da Inglaterra.

Somente após 1929, com a descoberta por Robert Proctor da relação umidade X massa específica - aparente - seca na compactação de solos, é que o solo-cimento tornou-se um material com vastíssimos campos de aplicação e, entre estes, a construção de moradias.

No Brasil, a primeira experiência ocorreu quando a diretoria da Aeronáutica autorizou a Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP a executar uma das pistas de circulação, um dos "taxi-ways" do aeroporto Santos Dumont, com solo-cimento. O solo foi importado de outra região, visto que o

solo local era profundamente argiloso e orgânico. Esta pista existe até hoje, recapeada com concreto.

Em fevereiro de 1945, ocorreu a primeira experiência de aplicação do solo-cimento em alvenaria no Brasil, em Santarém, no Pará. Era uma casa de bombas que abastecia de água a obra do aeroporto. As paredes foram erguidas com solo-cimento com paredes monolíticas usando dois pares de forma de madeira e soquete também de madeira.

Segundo FARIA (1990), o surgimento da prensa Cinva-Ram, desenvolvida na década de 1950 pelo Cinva (Centro Interamericano de Vivienda y Planeamiento), na Colômbia, representou um marco divisor na produção de componentes de solo estabilizado. A partir daí, passou-se a produzir bloco de solo compactado com máquinas especialmente desenvolvidas para essa finalidade e não somente com ferramentas manuais e técnicas artesanais.

### *Tijolo comum*

No começo da civilização, a cerâmica estava presente e foi o primeiro material de construção artificial criado pelo homem. Desta forma, a cerâmica acompanhou o homem desde os seus primeiros passos e constitui um fiel barômetro da evolução da civilização humana.

Cerâmica é uma palavra derivada do sânscrito “KERAMOS”, que significa queimar ou queimado.

Através dos séculos, a produção de cerâmica vermelha transformou -se em uma indústria que passa de geração em geração. Em torno de 2000 AC, na Mesopotâmia, os tijolos cerâmicos tornaram - se importante material de construção e de decoração.

A arquitetura da Mesopotâmia empregou, nos seus estágios iniciais, tijolos de barro cozido. As obras mais representativas dessa construção foram os zigurates ou templos em forma de torre, totalmente construídos com tijolos cozidos e palha.

### *Bloco cerâmico*

O registro da produção de blocos vazados que se tem notícia aqui, no Brasil, surgiu depois da guerra, nos idos de 1946 a 1947 através do Sr Manoel Vaz que idealizou a fabricação de um tijolo de 21 furos, patenteado sob o registro 40811 – Patente 28.519, com o nome de “Tijolo Aranha Céu”, o qual se transformou em absoluto sucesso, seja em razão de seu menor peso, que facilitava o transporte, seja em razão de facilidade no manuseio, apresentando rendimento surpreendente na aplicação de mão de obra.

### ***CAPITULO 3 - FATORES QUE AFETAM O COMPORTAMENTO DAS PAREDES DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO***

#### **3.1 INTERAÇÃO SOLO – CIMENTO**

FERRAZ (1995) afirma que, com o objetivo de melhorar as qualidades do solo, aumentando-lhe a resistência mecânica, inúmeros materiais podem ser adicionados, estabilizando-o eficientemente.

Entre eles, os principais são: (a) cimento Portland para solos arenosos e (b) cal hidratada para solos argilosos, ambos melhorando a resistência à compressão simples, a estabilidade dimensional e a perda de massa; (c) fibras sintéticas, vegetais e animais para reforçar o solo quanto à retração e à resistência ao impacto; (d) betume, para reduzir a capacidade de absorção d'água natural dos solos; (e) resinas naturais e sintéticas; (f) produtos de origem animal como excrementos, secreções salivares, sangue, pêlos, crinas, caseína e gordura; (g) produtos de origem vegetal como óleos, gorduras, resinas e cinzas; (h) produtos comerciais empregados para impermeabilização.

NASCIMENTO (1992) afirma que a estabilização tem por objetivo unir as partículas de solo entre si, reduzindo o volume de vazios (porosidade), e impedir que elas absorvam água, evitando assim variações volumétricas (contração e expansão). O cimento é um estabilizador de solo que contém as características exigidas nos materiais de construção. Confunde-se o emprego da cal como elemento de estabilização por cimentação. Na verdade a cal atua como agente químico na maioria dos casos em que é adicionada ao solo, sendo sua função realizar trocas aniônicas e catiônicas sobre as cargas eletrostáticas das partículas de argila do solo. De fato, é incorreto o uso indiscriminado da cal no solo; seu emprego é um método de estabilização adequado para solos argilosos. Para que se obtenham os resultados típicos de um solo-cimento, é necessário adicionar uma quantidade muito grande de cal ao solo arenoso, incrementando desnecessariamente o custo do solo estabilizado.

O mecanismo de estabilização, no processo de combinação de solo, cimento e água gera reações:

- Cimento e fração arenosa: hidratação do cimento, formando uma pasta por hidratação e gerando um esqueleto com o componente arenoso do solo;

- Cimento e fração argilosa: esta reação ocorre em três fases:

- a) A hidratação do cimento libera a cal, que reage imediatamente com a argila.
- b) O prosseguimento da hidratação ativa a reação com os aglomerados de argila que penetram no gel de cimento.
- c) Os aglomerados de argila e cimento interpenetram uns nos outros e a hidratação continua lentamente.

Das duas reações, obtém-se três tipos de estrutura:

- 1) arenosa inerte ligada ao cimento;
- 2) de argila estabilizada;
- 3) de solo não estabilizado.

A estabilidade não afeta todos os componentes do solo, cria, no conjunto, uma estrutura que envolve e forma ligações "pontes" entre a areia e argila.

A dosagem a ser utilizada para a estabilização depende da estrutura do solo. Em geral, teores de cimento em massa (relação de cimento e a massa de solo) entre 5% a 12% são resultados adequados.

Certos solos não requerem mais de 3% de cimento e outros, com a mesma proporção, comportam-se diferentemente, razão pela qual é indispensável a análise do solo ou solos a serem utilizados.

A adição de cimento ao solo e a conseqüente compactação, permite, portanto, a obtenção de um material mais resistente e durável, com o benefício da redução da absorção, com conseqüente diminuição da variação volumétrica.

Segundo ABIKO (1980) e AZAMBUJA (1981), no estudo da interação solo-cimento, é de capital importância entender os processos de interação argila-cimento e mais especificamente argilo-minerais-cimento.

As reações argilo-minerais cimento são pouco conhecidas, mas parece consenso de que o endurecimento da mistura é devido, em grande parte, às reações entre os argilo-minerais e a cal liberada na hidratação do cimento.

Os argilo-minerais são os minerais de argila, partículas cristalinas extremamente pequenas, que podem ser classificados em diversos grupos, conforme a estrutura cristalina e as propriedades semelhantes.

Os principais grupos de argilo-minerais são os da caulinitas, illitas e montmorillonitas.

A estrutura dos argilo-minerais é constituída, em sua essência, de camadas de octaedros de gibsita, cuja fórmula química é  $Al(OH)_3$  e de camadas de sílica  $SiO_2$ .

Os argilo-minerais, por possuírem cargas negativas, geram, em torno de si, um campo elétrico capaz de atrair e de orientar as moléculas de água, isto é, de adsorvê-las: (a molécula de água fica intimamente ligada à superfície mineral, mas a estrutura cristalina do mineral é mantida).

Forma-se, dessa maneira, em torno das partículas de argilo-minerais, uma camada monomolecular de água, rigidamente ligada.

A partir de uma certa distância da superfície de argila, o campo elétrico apresenta fraca intensidade, não sendo capaz de atrair as moléculas de água que passam a ficar parcialmente adsorvidas, isto é, passam a apresentar uma certa mobilidade. Quando isso ocorre, verifica-se que os argilo-minerais começam a deslizar uns sobre os outros sob a ação de pressões e entram no estado plástico.

A velocidade de adsorção de água varia com o tipo de argilo mineral. Nas caulinitas a adsorção é rápida, enquanto nas montmorillonitas é lenta.

Por outro lado, a adsorção está ligada a expansão; quanto maior a adsorção, maior a expansão.

### 3.2 SOLO

Para VARGAS (1998), o solo natural é produto dos agentes geológicos cuja origem primeira são as rochas que formam a crosta terrestre. Essas rochas sofrem, inicialmente, processos de contração e expansão causados pela variação da temperatura e entram numa fase de evolução que é a sua desagregação. Essa é, em primeiro lugar, mecânica (por fratura), na qual a constituição química e mineralógica da rocha se mantém intacta, porém, parte-se em pedaços de tamanhos diferentes. Depois disto é que começa a fase de decomposição que chamaremos *alteração*. É uma fase principalmente química. A rocha é atacada quimicamente por água acidulada, geralmente por ácido carbônico agressivo. Desse momento em diante, os cristais formadores das rochas sofrem reações de ordem química e vão produzir o material chamado *solo*.

#### Perfil do Solo

De acordo com o texto “O Básico sobre Botânica”, a contínua decomposição de matéria orgânica e a desagregação das rochas ocasionam a formação de um perfil do solo. Segundo o autor, é possível distinguir quatro

camadas ou horizontes, a partir da rocha matriz, com características diferentes dependendo da sua composição:

*Horizonte A<sub>0</sub>* – apenas existe quando há presença de vegetação, sendo por isso denominada manta morta, e possuindo grande quantidade de matéria orgânica, e do produto de sua decomposição, o húmus, cuja espessura varia de dois a dez centímetros.

*Horizonte A* – primeira camada mineral de solo, contendo teores relativamente altos de matéria orgânica decomposta (húmus), o que faz com que este horizonte apresente cor escura. São encontrados grandes quantidades de raízes vivas e mortas, além de microorganismos, insetos e animais que permeabilizam o solo, favorecendo a sua aeração e suprimento hídrico. Esta camada está sujeita a lixiviação que é responsável pelo arrastamento de partículas, que fazem parte de sua constituição, para o horizonte seguinte, levadas pelas águas de infiltração e pelas chuvas.

*Horizonte B* – local onde se depositam as partículas transportadas pela lixiviação, tais como óxidos de ferro, alumínio, carbonatos e materiais argilosos. Esta camada possui pouca matéria orgânica, apresentando assim uma cor mais clara.

*Horizonte C* – é a camada de solo onde os minerais estão parcialmente decompostos, que guarda o aspecto da rocha matriz, sendo arenosa ou siltosa e de cor variada.

*Rocha matriz* – é a camada que ainda não foi exposta à alteração dos agentes erosivos externos, encontrando-se ainda íntegra.

Segundo AZAMBUJA (1981), intemperismo vem a ser um conjunto de processos ou de fenômenos que provocam a destruição física e decomposição química dos minerais das rochas que, em contato com a atmosfera ou próximas desta, passam de um estado maciço (rochas) para um estado elástico (solos).

O desenvolvimento dos perfis de intemperismo são explicados por FARIA (1990), conforme descrito a seguir.

### **Solos Residuais**

Os solos residuais, formados no mesmo local a partir de rochas do subsolo, são compostos por diversas camadas, cada qual com características distintas.

Nas regiões mais profundas, ocorre a rocha sã. Progressivamente, ela começa a sofrer a ação de intempéries, surgindo, então, uma camada de rocha alterada que se apresenta fraturada e com início de desagregação de partículas nas paredes das fendas. Com processos de intemperismo mais ativos, a rocha

perde suas características originais, resultando num solo rico em minerais parcialmente decompostos cujas partículas guardam o arranjo estrutural da rocha matriz: é o solo de alteração ou horizonte C.

Entre a camada superficial e o solo de alteração, ocorre o horizonte B que é onde o processo de alteração dos minerais atinge a máxima intensidade, permanecendo intactos somente os mais resistentes, como o quartzo. O horizonte B é rico em argilas e não guarda nenhum vestígio estrutural ou textural da rocha matriz.

Na camada superficial, o solo pode receber a adição de matéria orgânica, celulose e húmus, passando a se denominar horizonte A.

A espessura dessas camadas varia com o clima, relevo e vegetação de cobertura.

### **Solos Transportados**

Segundo FARIA, os solos podem também ser transportados pela ação da gravidade, água e ventos, formando depósitos. Apresentam nesse caso diferentes granulometrias, formas, constituição de partículas e estrutura, conforme o agente que lhes deu origem. São denominados segundo seu agente de transporte, solos aluviais (rios), marinhos (mares), eólico (vento), glaciais (geleiras) e coluviais (gravidade).

Seja qual for a origem do solo, os fatores material orgânico, relevo, clima, organismos (vegetais, animais) e tempo condicionam a formação de um determinado tipo de solo.

A ação conjunta e interdependente desses fatores ou seja, pedogênese do solo, influem tanto na composição mineral como granulométrica finais; além disso, a intensidade da ação desses fatores varia com a profundidade, dando as características peculiares de cada horizonte. Assim, solos com boa drenagem apresentam maior homogeneidade entre os horizontes, enquanto solos com drenagem deficiente apresentam horizontes bem definidos.

### **Solos Orgânicos**

Segundo AZAMBUJA, são os solos onde se encontram grande quantidade de matéria orgânica cuja origem é a decomposição dos restos de plantas, tais como folhas e raízes.

São dois os tipos de decomposição a que estão sujeitos os restos da vegetação: decomposição oxidante e humificação.

#### **Decomposição Oxidante**

AZAMBUJA afirma que a decomposição oxidante transforma os restos das plantas em gás carbônico, água e alguns resíduos.

A decomposição oxidante é devida à ação das bactérias contidas nos solos. Ela é favorecida pela boa aeração (presença do oxigênio) e umidade adequada do solo.

### Humificação

Quando a decomposição oxidante cessa pela eliminação das bactérias, a matéria orgânica é transformada em húmus, que é um complexo orgânico ácido, amorfo, de cor escura, muito absorvente, que apresenta grande plasticidade, alta expansão e capacidade de troca catiônica.

### Solos Turfosos

A humificação anaeróbia (sem oxigênio) processa-se, principalmente nos pântanos.

A contínua incorporação de restos da vegetação aos pântanos (charcos) dará origem aos solos turfosos.

Os solos turfosos são altamente compressíveis, expansivos e plásticos. Caracterizam-se por apresentar refluxo sob ação de cargas.

### Escolha do solo

O solo é o componente de maior proporção na mistura solo-cimento, devendo ser selecionado de modo a que se possibilite o uso de menor quantidade possível de cimento.

Conforme ABIKO (1980), em princípio, qualquer solo pode ser empregado, excetuando-se os orgânicos. Porém, dependendo do solo, é preciso adicionar maior ou menor quantidade de cimento a fim de se obter um bom resultado. Desta forma, para se avaliar a conveniência ou não de um certo solo a ser empregado no solo-cimento, é preciso fazer-se, além do estudo técnico, um estudo econômico, porque se a quantidade de cimento necessária for muito grande, seu uso pode deixar de ser vantajoso.

#### *Escolha do solo a partir da granulometria e plasticidade*

Os critérios que serão apresentados neste texto para a escolha do solo através da granulometria e plasticidade, foram todos baseados nas

experiências do CEPED (1999) na construção de paredes monolíticas, empregando-se solo-cimento. Esses mesmos critérios também poderão ser utilizados para a confecção de tijolos prensados de solo-cimento.

Quanto à granulometria, como salienta o CEPED, os solos mais adequados são os arenosos. O consumo de cimento, na obtenção do solo-cimento, depende fundamentalmente das dimensões dos grãos e da sua uniformidade. O acréscimo nos teores de silte e argila, ou a ocorrência de grãos com tamanhos muito uniformes, acarreta um aumento nos teores de cimento. Por outro lado, a existência de grãos maiores, areia grossa e pedregulhos é benéfica, em vista de que tais componentes atuam como enchimento, favorecendo a liberação de uma maior quantidade de cimento para ligar os grãos menores.

Os solos devem, também, ter um teor mínimo de fração fina, pois a resistência inicial do solo-cimento compactado é devida à coesão da fração fina compactada, uma vez que ainda não se processaram as reações de endurecimento do cimento.

Os critérios para seleção dos melhores solos quanto à granulometria não têm variado muito. O CEPED, no trabalho já mencionado, cita os seguintes critérios encontrados na literatura:

	CINVA (1963)	ICPA (1973)	MERRIL (1949)	Houben(1975)
Teor de areia	45 a 80%	60 a 80%	superior a 50%	40 a 70%
Teor de silte		10 a 20%		0 a 30%
Teor de argila		5 a 10%		20 a 30%
Teor de silte + argila	20 a 55%			

Tabela 3 - Seleção de solos quanto à granulometria (apud CEPED 1999)

A divergência entre os diversos critérios realça o fato de que não é possível uma seleção muito ortodoxa de solos, uma vez que as variáveis a se levar em conta envolvem principalmente as características de trabalhabilidade dos mesmos. Um fato comum é que todos confirmam as possibilidades de se usar solos arenosos, desde que tenham um teor mínimo de silte + argila. Evidentemente, estes critérios não levam em consideração a porcentagem de pedregulhos no solo, representando apenas a granulometria da fração menor que 4,8 mm.

Dos critérios citados, e a partir do resultado de suas próprias investigações, o CEPED propõe a seguinte especificação para a fração abaixo da peneira de 4,8 mm (areia, silte e argila):

- Teor de areia: 45 a 90%
- Teor de silte + argila: 10 a 55%
- Teor de argila < 20%
- Limite de liquidez: < 45%

Os critérios enunciados na base do teor de areia simplificam bastante os procedimentos de escolha dos solos mais adequados. O uso de um sistema de classificação tipo AASHTO, ou outro qualquer, demanda ensaios de laboratório que nem sempre se tem condições de executar.

Cumprir notar ainda que, caso os solos disponíveis não possam atender ao critério proposto, pode-se misturá-los com outros, de modo a se corrigir a granulometria para os limites dentro do critério proposto. Isto pode ser feito experimentalmente, misturando-se várias proporções dos dois solos e determinando-se o teor de areia resultante.

Segundo a NBR 10832/1989, que trata da fabricação de tijolos de solo-cimento com prensa manual, de maneira geral, os solos mais adequados para a fabricação de tijolos de solo-cimento são os que possuem as seguintes características:

Passando na peneira ABNT 4,8 mm (n <sup>o</sup> 4).....	100%
Passando na peneira ABNT 0,075 mm (n <sup>o</sup> 200).....	10% a 50%
Limite de Liquidez.....	≤45%
Índice de plasticidade.....	≤18%

#### *Emprego dos solos residuais em solo-cimento*

A seguir, apresenta-se a adequabilidade de emprego dos vários horizontes de solos residuais de acordo com AZAMBUJA (1981):

#### *Horizonte A*

O horizonte A, arenoso, poderá ser empregado com êxito em solo-cimento. Porém, se ocorrer a presença de húmus no horizonte A, mesmo em baixas porcentagens, ele reagirá quimicamente com o CaO do cimento, que é o componente essencial do cimento, havendo, assim, necessidade de maiores teores de cimento para se obter resultados idênticos aos que se teria se o solo não tivesse tal elemento; isto porque o excesso de cimento terá a função de neutralizar o efeito negativo do húmus. Portanto, deve-se evitar solo com presença de húmus em solo-cimento.

#### *Horizonte B*

Os solos do horizonte B são, em geral, muito argilosos, sendo as caulinitas os argilo-minerais predominantes, uma vez que aqueles horizontes se formam em ambientes de boa drenagem.

Os solos do horizonte B do perfil de intemperismo dos granitos e basaltos são solos de difícil pulverização e, portanto, para utilização desses solos em solo-cimento, será necessário processarem-se algumas correções.

### *Horizonte C*

Os solos do horizonte C são, em geral, arenosos e, portanto, de fácil pulverização, o que indica preferência de emprego em solo-cimento.

### *Horizonte C - de Granito*

Devido à granulometria não uniforme, as areias grossas impossibilitam a obtenção de solo-cimento de alta resistência à compressão simples, com baixos teores de cimento.

Quando a fração arenosa predominante for constituída de feldspato potássico alterado, recomenda-se fazer alguns ensaios em laboratório antes de empregá-los em solo-cimento, uma vez que os feldspatos alterados são fragmentados com muita facilidade.

### *Horizonte C - de Gnaisse*

Os solos do horizonte C de gnaisses apresentam granulometria semelhante à dos granitos e resistências altas, quando estabilizados com cimento. No entanto, se o teor de mica for alto, o horizonte C de gnaisse não deve ser empregado em solo-cimento, porque não resistirá às expansões da argila durante os ciclos de secagem e molhagem.

Com muito mais razão, a dosagem com os ensaios de durabilidade deve ser adotado, quando se emprega, em solo-cimento, o horizonte C de gnaisse.

### *Horizonte C de - Arenito*

O horizonte C de arenito, que é constituído quase que exclusivamente de quartzo, é um solo arenoso, com partículas resistentes, e é o solo que tem apresentado os melhores comportamentos.

Como, normalmente sua granulometria é fina e uniforme, tais solos não apresentam, em geral, resistências muito altas, sendo, todavia, satisfatórias.

### *Solos transportados*

AZAMBUJA descreve os solos transportados, empregados em solo-cimento.

### *Solos Eólicos*

Os solos arenosos eólicos são constituídos de areias finas, de granulometria uniforme, pois é o vento o melhor classificador da natureza. Pela ação do vento, os grãos de areia são depositados uns sobre os outros originando solos fofos.

Nas dunas ou nos campos de areia antigos, ocorrem os horizontes pedológicos A e B. As areias finas eólicas do horizonte B são materiais adequados para solo-cimento.

AZAMBUJA afirma que se pode corrigir a granulometria dos solos para utilização em solo-cimento utilizando-se os solos eólicos arenosos. Devido à sua granulometria fina e uniforme, os solos eólicos arenosos podem ser usados para corrigir a granulometria e a plasticidade dos solos argilosos e siltosos, com o objetivo de melhorar suas características, facilitar a pulverização e aumentar a resistência no caso do solo-cimento, conduzindo a teores econômicos.

### *Solos Marinhos*

Da mesma forma que nos solos eólicos, o horizonte B dos solos de origem marinha, nas planícies costeiras, são de areias finas amareladas ou avermelhadas com argila e óxido de ferro que são adequadas para uso em solo-cimento, no entanto para a produção de tijolos esse solo não deve ser utilizado porque a presença do íons cloro procedente das areias de praia produzirão corrosão nas armaduras empregadas nas estruturas das paredes.

### *Solos Orgânicos*

Segundo AZAMBUJA, o teor de matéria orgânica contida nos solos varia consideravelmente. Nos solos superficiais orgânicos a percentagem de matéria orgânica é, geralmente inferior a 10%; já nas turfas, a matéria orgânica pode chegar a atingir 100% da parte sólida.

Tanto os solos orgânicos como os turfosos não podem ser utilizados em solo-cimento em decorrência da reação nociva desses com os componentes do cimento.

### **Ensaio de laboratório para caracterização do solo para uso em solo-cimento**

Segundo FERRAZ (1995), são necessários ensaios de laboratório para caracterização do solo para uso no solo-cimento.

Dos inúmeros ensaios laboratoriais desenvolvidos pela Mecânica de Solos, somente alguns são efetivamente necessários para a correta caracterização, classificação e emprego dos solos na construção de edificações em solo-cimento. São eles:

- (a) ensaio para determinação da massa específica dos grãos de solo NBR 6508;
- (b) ensaio para determinação da distribuição granulométrica das frações minerais do solo completo NBR 7181;
- (c) ensaio para determinação dos limites físicos, tais como os limites de plasticidade, liquidez e índice de plasticidade NBR 7180 NBR 6459;
- (d) ensaio de compactação que permite a determinação do teor de umidade ótima de compactação e da massa específica aparente seca máxima NBR 7182.

### **3.3 CIMENTO**

Segundo a ABCP (1985), os cimentos que poderão ser utilizados em solo-cimento deverão atender a uma das seguintes especificações:

- NBR 5732 - Cimento Portland Comum;
- NBR 5735 - Cimento Portland de Alto- Forno;
- NBR 5736 - Cimento Portland Pozolânico;
- NBR 5733 - Cimento Portland de Alta Resistência Inicial.

Conforme ABIKO (1980), o cimento é um material pulverulento que, misturado com a água, forma uma pasta plástica que dá pega e endurece, podendo aglomerar uma boa proporção de materiais inertes, areia, solo, cascalho e pedregulho. Seus constituintes apresentam propriedades hidráulicas e propriedades pozolânicas:

- propriedades hidráulicas correspondem à aptidão do produto em dar pega e endurecer em presença de água com a formação de compostos estáveis.

..  
- propriedades pozolânicas correspondem à aptidão do produto em fixar a cal na temperatura ambiente, em presença de água, e formar compostos com propriedades hidráulicas.

### *Pega e endurecimento*

Segundo PETRUCCI (1971), um cimento misturado com certa quantidade de água, de modo a obter uma pasta plástica, começa a perder esta plasticidade depois de um certo tempo.

O tempo que decorre desde a adição de água até o início das reações com os compostos de cimento é chamado tempo de início de pega. Este fenômeno de início de pega se evidencia pelo aumento brusco de viscosidade da pasta e pela elevação da temperatura.

Convencionou-se denominar “fim de pega” à situação em que a pasta cessa de ser deformável para pequenas cargas e se torna um bloco rígido. A seguir, a massa continua a aumentar em coesão e resistência, denominando-se esta fase de endurecimento.

A determinação dos tempos de início e fim de pega é importante, pois através deles se tem idéia do tempo disponível para trabalhar, transportar, lançar e adensar argamassas e concretos, bem como transitar sobre eles ou regá-los para execução da cura.

As normas francesas classificam os cimentos, de acordo com o tempo de início de pega em:

- Cimento de pega rápida < 8 minutos;
- Cimento de pega semilenta: 8 a 30 minutos;
- Cimento de pega lenta (normal): 30 minutos a 6 horas;
- Cimento de pega muito lenta >6 horas.

De acordo com Petrucci, pode-se adotar, nas condições brasileiras, a seguinte ordenação:

- Cimento de pega rápida < 30 minutos;
- Cimento de pega semi - rápida 30 a 60 minutos;
- Cimento de pega normal >60 minutos.

O tempo de início de pega não deve ser ultrapassado quando no processo de homogeneização.

## **3.4 ÁGUA**

PETRUCCI (1971) afirma que a água usada no amassamento não deve conter impurezas que possam vir a prejudicar as reações entre os compostos do cimento.

### 3.5 PRODUÇÃO DE TIJOLOS

#### Definição

Segundo a NBR 10832, o tijolo de solo-cimento é constituído por uma mistura homogênea, compactada e endurecida de solo, cimento Portland e água que permitam atender às exigências dessa Norma.

#### Confecção dos tijolos

Segundo FARIA (1990), um processo típico de produção de blocos ou tijolos de solo estabilizado com cal ou cimento (que são os aditivos mais usados no Brasil) envolve:

- a) armazenamento de matérias primas;
- b) secagem;
- c) destorroamento;
- d) peneiramento do solo;
- e) dosagem de solo, água e aditivos;
- f) homogeneização e conformação da mistura;
- g) cura úmida;
- h) secagem do produto final;
- i) ensaios de absorção, resistência e durabilidade após 28 dias de confecção;

#### *Armazenamento de matérias primas*

Faria afirma que a estocagem de água, solo e cimento podem ser feitas de maneira tradicional, água em tanques e os últimos em sacos, empilhados e protegidos das intempéries.

#### *Secagem do solo*

Conforme FARIA, a secagem do solo tem por finalidade reduzir a umidade do material a níveis adequados para seu manuseio e homogeneizar a umidade do material. O método mais comum de realizar essa operação consiste em espalhar uma fina camada de solo ao sol ou colocar uma cobertura de metal ou plástico de cor escura que transmita calor ao solo.

Em ambos os casos, o solo deve ser revolvido periodicamente para tornar a umidade final homogênea. O tempo necessário para alcançar a umidade mínima varia em função da diferença inicial dos teores de umidade do material e do ambiente, da temperatura do material e sua permeabilidade. Dessa forma, solos argilosos, menos permeáveis, demoram mais para secar.

FERRAZ (1995) afirma que somente materiais "secos" devem ser misturados com outros materiais ou com água, uma vez que misturas de materiais secos com materiais previamente umedecidos, raramente dão bons resultados.

### *Destorroamento*

A função do destorroamento é separar ao máximo as partículas de solo para que haja uma mistura mais íntima com os aditivos. Segundo FARIA, essa operação é fundamental para solos argilosos, que tendem a formar aglomerados mais resistentes.

O solo deve estar bem seco para impedir a aderência à máquina ou ferramentas usadas no processo.

O método de destorroamento varia desde operações manuais, com ferramentas simples, até o uso de equipamentos dotados de motores. O método manual mais comum consiste em bater grumos de solo com pilões; já o uso dos equipamentos motorizados são derivados dos empregados nas indústrias cerâmicas e de tratamento de minérios e podem ser agrupados em três tipos, segundo sua ação predominante sobre o material: esmagamento (moinhos de rolo e mandíbulas), abrasão (moinhos de esteira dentada) e impacto (moinhos de martelos, de pás ou hélices, tipo "gaiola de esquilo" e "carr").

Conforme descreve FERRAZ, normalmente, o solo é escavado no estado seco, no qual a fração argila, freqüentemente, ocorre na forma de calhaus, que podem ter mais de 20mm, quando o ideal para a produção de tijolos prensados de solo são grãos com diâmetro máximo de 5 mm. Assim, é necessário torná-los menores através da pulverização ou destorroamento.

### *Peneiramento*

FARIA afirma que o peneiramento tem por finalidade separar do solo, a ser utilizado como matéria prima, partículas com diâmetros entre 5 a 25 mm e matérias vegetais.

Para FERRAZ, o peneiramento é indispensável quando o solo tem defeitos de textura ou quando a pulverização é insatisfatória. A porcentagem dos diferentes grãos das frações minerais do solo depende da técnica construtiva empregada; para a maioria das técnicas de construção com solo, o tamanho máximo dos grãos é de 200mm, no entanto, para a produção de tijolos de solo prensado de boa qualidade, este diâmetro máximo é reduzido para 10 mm. Contudo, as normas técnicas de alguns países, inclusive do Brasil, recomendam o diâmetro máximo de 5mm.

### *Dosagem*

A dosagem exprime a composição do solo-cimento; as proporções dos materiais podem ser indicadas tanto em peso como volume. Seja qual for a forma adotada, toma-se sempre o cimento como unidade, (1: solo : areia : água).

Segundo CARVALHO (1995), considera-se proporção ótima de mistura entre o solo e o estabilizante, aquela que confira ao tijolo curado a qualidade necessária com o menor custo de fabricação possível.

Para a escolha do traço mais adequado do tijolo de solo-cimento, recomenda-se moldar tijolos nos traços 1:10,1:12 e 1:14 em volume (cimento:solo) estando a mistura na umidade ótima. Os tijolos moldados, de cada traço, serão submetidos a ensaios de resistência à compressão e absorção de água e será escolhido aquele que corresponder aos parâmetros prescritos pela NBR 8491, conforme detalhado na seqüência deste capítulo, no item *Normas para fabricação de tijolos e blocos de solo-cimento*, pág. 38.

Segundo FARIA(1995), a dosagem tem por finalidade determinar a relação solo - aditivo - água, a partir da qual seja possível produzir componentes que atendam aos padrões de qualidade estabelecidos (resistência mecânica máxima e absorção de água mínima, no caso de tijolos de solo-cimento), ao menor custo.

Faria sugere, na dosagem da mistura, controlar a umidade a partir da determinação do teor de umidade do solo a ser utilizado. A água a ser

adicionada deve ser quantificada. É necessário fazer amostragens por toda extensão do material, observando-se os gradientes internos de umidade no depósito de solo e a variação da mesma no decorrer do dia. O controle da umidade é importante para que:

- a) sejam obtidos produtos de máxima densidade para a energia aplicada pelo compactador;
- b) sejam obtidos produtos com mesma altura, dada uma quantidade constante de matéria-prima disposta no molde;
- c) haja uniformidade nas propriedades dos produtos ao longo da série fabricada;

Segundo MORAES (1982), as propriedades mecânicas dos tijolos podem ser melhoradas com o aumento da quantidade de cimento na mistura, até um determinado limite. A partir deste teor, aumentos na quantidade de cimento não aumentam a resistência mecânica dos elementos.

De um modo geral, não se deve utilizar teores menores que 6% do volume para solos arenosos e 10 % para solos argilosos.

Para a escolha do traço adequado, a NORMA 10832 estabelece nos itens:

4 Condições Gerais;

#### 4.3 *Procedimento de dosagem;*

4.3.1 Moldar, no mínimo, seis tijolos (sendo três para ensaios de compressão e três para ensaio de absorção de água) para cada traço em volume (no mínimo, três traços) e curá-los, conforme estabelecido em 5.3 descrito, a seguir, no item *Cura e secagem do tijolo*, pág.38.

4.3.2 Ensaiar os tijolos de acordo com as instruções NBR8492 e escolher o traço mais econômico que atenda às exigências estabelecidas na NBR8491.

A NORMA 8491 estabelece nos itens:

5 Condições Específicas

#### 5.1 *Resistência à compressão*

A amostra ensaiada de acordo com a NBR 8492 não deve apresentar a média dos valores de resistência à compressão menor que 2,0 MPa (20 kgf/cm<sup>2</sup>) nem valor individual de resistência à compressão inferior a 1,7 MPa (17 kgf/cm<sup>2</sup>) com idade mínima de sete dias.

## 5.2 Absorção de água

A amostra ensaiada de acordo com a NBR 8492 não deve apresentar a média dos valores de absorção de água maior do que 20%, nem valores individuais superiores a 22%.

### Determinação da Umidade Ótima da Mistura

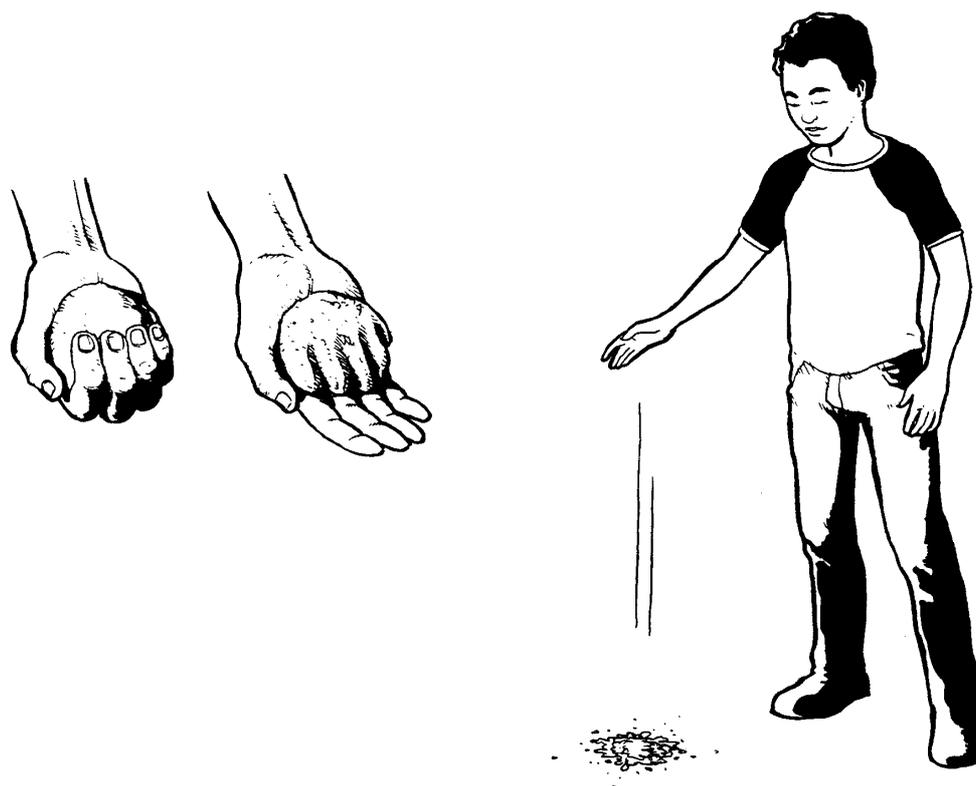
Existe uma série de ensaios expeditos que permitem o controle da umidade da mistura sem o auxílio de equipamentos; ensaios muito simples, baseados em análises tácteis e visuais de amostras da mistura como o da determinação da umidade ótima a partir de ensaio de campo (CEPED, 1999).

No ensaio proposto pelo CEPED, toma-se um punhado de massa nas mãos e aperta-se entre os dedos. Ao abrir a mão, a massa deverá adquirir a sua forma. Se isto não acontecer, é porque a massa deve estar muito seca;

Em seguida, deixa-se o bolo de massa cair de uma altura de aproximadamente 1,0 m, ele deverá esfarelar-se ao chocar-se contra superfície dura. Se isto não ocorrer, é porque a massa deve estar muito úmida (*Figura 5*).

O CEPED afirma que o controle da umidade, segundo este procedimento empírico, apresenta uma precisão surpreendente.

Foram comparados os dados de controle feitos por vários operadores em obras diferentes, aferido por determinação da umidade em estufa (diferença entre a umidade de campo e a umidade ótima); os resultados obtidos confirmam um desvio máximo de  $\pm 2\%$  para um nível de confiança de 95%.



## Figura 5 - Determinação da Umidade Ótima da Mistura

### *Homogeneização*

A homogeneização consiste em misturar o solo com o aditivo e a água de tal forma que, idealmente, toda a extensão do material contenha as mesmas proporções de cada componente; em todo caso, a cor do composto deve ser uniforme, indicando que a homogeneização foi suficiente.

FARIA (1995) e FERRAZ (1995) destacam que a homogeneização é uma fase muito importante no processo, pois dela depende a uniformidade da qualidade dos produtos.

Quando os aditivos são secos (como cimento Portland e cal hidratada), é necessária uma pré-homogeneização dos componentes secos, uma vez que misturas de materiais secos com materiais previamente umedecidos, raramente, dão bons resultados. A água deve ser adicionada preferencialmente em gotículas, por chuveiros, “sprays” ou vapor. Em geral, a água deve ser adicionada vagarosamente para facilitar a homogeneização até se atingir a umidade ótima da mistura.

A operação de homogeneização pode ser manual ou mecanizada. No primeiro caso, o tempo necessário para completar a operação varia de 4 a 8 horas por metro cúbico por homem; no segundo, uma carga de aproximadamente 0,2 m<sup>3</sup> de material pode ser homogeneizada em poucos minutos.

Os equipamentos empregados compõem-se de eixos com algum tipo de pás que revolvem o material dentro de uma carcaça fixa; equipamentos com carcaça giratória, como betoneiras para concreto, não apresentam bons resultados, pois favorecem a formação de grumos de material, em função da distribuição heterogênea de água.

Quanto a homogeneização do solo, a *NORMA 10832* estabelece nos itens:

5 Condições Específicas;

5.1 *Mistura de solo-cimento;*

5.1.1 Pode ser manual ou mecânica;

5.1.2 Adicionar cimento ao solo destorroado e peneirado, misturando-se até obter coloração uniforme;

5.1.3 Colocar água aos poucos, até atingir a umidade ótima do solo usado;

### *Compactação da mistura*

A compactação é a fase mais importante do processo de produção, pois representa a síntese de todo o processo: todos os componentes, até então disformes, separados transformam-se num único objeto, de forma e função definidas; as propriedades individuais da matéria-prima perdem importância para as propriedades do tijolo.

Segundo FARIA (1990), o método de compactação mais indicado para solos com alguma coesão - que é o caso daqueles empregados na produção de tijolos de solo estabilizado - é a compactação estática. Ela consiste na aplicação de uma pressão estática nas superfícies do material, até que ele adquira as propriedades desejadas.

A compactação de solos úmidos pode ocorrer de forma estática (para solos com coesão), através da prensagem em uma ou duas superfícies do material depositado no molde. A quantidade de mistura disposta no molde influencia na dimensão do tijolo.

Em geral, havendo controle de qualidade do solo e da umidade, basta fazer um ajuste inicial, ou da altura do molde ou de outro meio qualquer, que altere a quantidade de mistura a ser compactada.

FARIA afirma que a pressão de compactação é fator determinante nas propriedades do bloco ou tijolo de solo-cimento, independentemente do tipo de teor de aditivo utilizado.

As propriedades do solo compactado variam linearmente e na razão direta com incremento da pressão de compactação até 4 ou 10 MPa, dependendo das características do solo; a partir desses limites, as propriedades tornam-se assintotas ou mesmo invertem o comportamento, no caso de alguns solos.

Sobre a necessidade de se limitar o acréscimo de pressões na compactação do solo para a confecção do tijolo de solo-cimento, FERRAZ (1995) descreve que grandes acréscimos na energia de compactação não significam necessariamente incrementos proporcionais na resistência mecânica dos tijolos, além de que, freqüentemente, induzem o aparecimento do fenômeno denominado "laminação": fenômeno pelo qual a água e o ar presentes no compósito, por força dessa compressão excessiva, distribuem-se laminarmente ao longo da maior dimensão dos tijolos, promovendo uma estratificação em camadas do compósito, que tendem a se desagregar.

Para a compactação dos tijolos a *NORMA 10832* estabelece nos itens:

#### *5.2 Moldagem do tijolo;*

5.2.1 Colocar a mistura na matriz da prensa, retirar o excesso e proceder a prensagem;

5.2.2 Retirar os tijolos da prensa e empilhá-los, à sombra sobre uma superfície plana, até uma altura de 1,5 m;

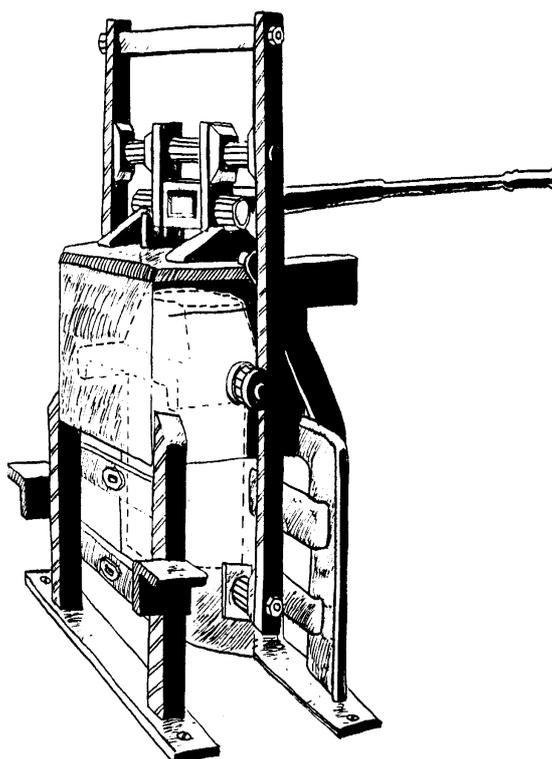
### *Equipamentos*

FARIA (1995) apresenta uma classificação dos equipamentos utilizados na produção de tijolo de solo compactado.

Prensas manuais compreendem aquelas derivadas do modelo Cinva-Ram (*Figura 6*), com variações e aperfeiçoamentos. Basicamente, um êmbolo acionado por uma alavanca manual compacta a mistura disposta na cavidade do molde.

As variações e aperfeiçoamentos incluem transmissão da potência por sistema hidráulico e alavancas de múltiplos estágios que permitem alcançar maiores pressões de compactação.

As prensas motorizadas - mecânicas ou hidráulicas - funcionam pelo mesmo princípio básico das manuais; apenas a força humana é substituída por outras fontes de energia e o equipamento torna-se mais robusto para suportar o peso dos mecanismos e maiores forças de trabalho, além de ter sua taxa de produção aumentada.



## Figura 6 - Prensa manual

As unidades de produção móveis compreendem uma gama de equipamentos compostos por, no mínimo, uma prensa e um homogeneizador; podem compor, também, pequenas unidades de produção completas, com peneira, homogeneizador, prensa e pulverizador.

Apresentam peso e dimensões compatíveis para serem montadas sobre chassis com rodas automotivas. A mobilidade conferida ao equipamento cria a possibilidade de instalá-lo facilmente em cada obra.

As unidades de produção industriais são verdadeiras fábricas de blocos compactados, quer pelas suas taxas de produção, quer pela infra-estrutura requerida. Compreendem todos os equipamentos envolvidos no ciclo de produção do bloco compactado e são altamente automatizadas.

Para FERRAZ (1995), as prensas de pequeno porte, geralmente, requerem baixo aporte de capital para sua aquisição e manutenção; além de serem leves, pequenas (requerendo pouco espaço para armazenamento), são fáceis de usar e sem custos inerentes à necessidade de energia elétrica. Além disso não necessitam de serviços complexos de manutenção e grande parte dos reparos requeridos podem ser realizados em pequenas oficinas.

Em contrapartida, via de regra, estas máquinas apresentam baixa taxa de produção, cerca de 1.000 tijolos a cada turno de 8 horas; embora seus fabricantes afirmem uma capacidade irreal de produção, da ordem de 3.000 tijolos a cada 8 horas. Apresentam também, energia de compactação aproximadamente de 1,5 MPa somente, o que significa que a seleção e preparo do solo devem ser muito bem cuidados para que esses tijolos apresentem resistência à compressão simples de 2,0 MPa, como recomendam as Normas Brasileiras.

As diferenças entre as taxas de produção nominais (dos fabricantes) e a taxa de produção real são devidas, principalmente, ao fato de que a operação é muito cansativa e, ao longo de um turno completo de trabalho, existe a tendência natural de queda gradual na produtividade e na qualidade do produto final.

FERRAZ afirma que as prensas motorizadas mecânicas são máquinas que permitem alta taxa de produção, cerca de 200 a 1.500 tijolos por hora, submetidas a pressões de compactação que variam entre 4 e 24 MPa, garantindo excelente qualidade dos tijolos e uniformidade dimensional, bem como grande resistência mecânica com menor teor de agentes estabilizantes em massa.

Esses equipamentos representam a geração de prensas mais disponíveis e promissoras no mercado internacional. Apesar do seu alto custo, sua viabilidade econômica é excelente. Algumas dessas prensas são descendentes diretas das prensas manuais pesadas.

Em geral, as prensas motorizadas mecânicas dividem-se em dois grupos: (a) as que possuem uma mesa fixa e molde individual simples e resistente, e (b) as que possuem a mesa rotatória com moldes múltiplos, (freqüentemente 3 ou 4), que podem aumentar o índice de produção

### *Cura e secagem do tijolo*

A secagem dos tijolos precisa ser controlada para evitar a evaporação prematura da água, necessária à hidratação do cimento.

FARIA afirma que após a prensagem dos tijolos, o produto precisa perder a água que foi utilizada para conferir-lhe a umidade ideal para moldagem. Além disso, quando o aditivo é quimicamente ativo, normalmente a água participa da reação química e passa a fazer parte do produto. Em ambos os casos, o processo de secagem resulta num gradiente de umidade entre o centro e a superfície do bloco, ou tijolo de solo-cimento.

A cura possibilita a perda de umidade que afeta significativamente o volume de frações argilosas que resulta em retração do material. A estrutura do solo compactado absorve, até certos limites, as tensões provocadas por esse fenômeno; depois surgem fissuras que comprometem as propriedades do produto. Para evitar que isso aconteça, a secagem do produto deve ser feita de forma controlada, procurando reduzir o gradiente interno de umidade.

A água deve estar disponível em quantidades um pouco maiores que as usadas para atingir a umidade ótima de compactação para as reações de hidratação do cimento.

No entanto PINTO (2001) afirma que a água presente no solo, na umidade ótima, é suficiente para a hidratação do cimento.

Para FARIA, convencionalmente, tanto a secagem quanto a cura (de tijolo de solo-cimento e solo-cal) são realizadas por meio de empilhamento dos tijolo, à sombra, de forma que circule ar entre eles; são regados com água diariamente, por aproximadamente três dias consecutivos e, depois, simplesmente deixados à sombra até completarem uma semana.

Outros métodos podem ser utilizados, como a cura úmida em câmaras saturadas e a cura a vapor em autoclave.

*Quanto aos procedimentos para a cura dos tijolos, a NORMA 10832 estabelece nos itens:*

#### *5.3 Cura dos tijolos*

Após 6 horas da moldagem e durante os sete primeiros dias, os tijolos devem ser mantidos úmidos a fim de garantir a cura necessária;

5.3.1 Os tijolos devem ser utilizados no mínimo 14 dias após sua fabricação;

### *Controle de qualidade no processo produtivo*

Com o objetivo de verificar e controlar a qualidade dos estágios de produção dos tijolos, existem diversos ensaios a serem realizados. FERRAZ destaca os seguintes ensaios de laboratório e inspeções visuais necessários para o controle de qualidade:

- (a) resistência à compressão simples;
- (b) a perda de massa por ciclos sucessivos de molhagem e secagem;
- (c) a variação volumétrica;
- (d) tolerâncias dimensionais;
- (a) a perfeição das arestas e das superfícies;
- (b) a presença de laminação causada por compactação excessiva;
- (c) presença de fissuras;

Ferraz recomenda que no mínimo sejam feitos e testados cinco corpos-de-prova a cada dois mil tijolos produzidos e, se não apresentarem resultados satisfatórios, toda produção deve ser rejeitada. Contudo, essa recomendação não se aplica aos locais onde as normas técnicas estabelecidas pela ABNT estejam vigorando. No Brasil, por exemplo a ABNT já normalizou a produção de tijolos e blocos de solo-cimento. Essas normas, inclusive são citadas pelo autor.

FARIA (1990) recomenda o controle da resistência mecânica seguindo-se procedimentos padronizados. como a norma ABNT NBR-8492 - Tijolo Maciço de Solo-Cimento – Determinação da Resistência à Compressão e Absorção d'água. Os blocos devem ter sua resistência mecânica à compressão e à taxa de absorção de água determinadas a cada lote produzido.

Ele também sugere o controle de durabilidade. Como no caso anterior existe um procedimento normalizado, derivado de normas de ensaios de bases de pavimento de estradas de rodagem (ABCP-SC-3 - Ensaio de Durabilidade por Molhagem e Secagem), que permite determinar a perda de material após ciclos de molhagem e secagem do produto.

Os ensaios de resistência mecânica e de durabilidade permitem tanto prever o comportamento do produto em uso como avaliar o processo produtivo desde a escolha do solo. A determinação da absorção de água permite avaliar se o grau de compactação atingido é satisfatório para o tipo de solo usado.

Para verificar se os tijolos satisfazem às condições gerais a *NORMA 8491* estabelece nos itens:

#### 6 Inspeção

6.2 Cada 25.000 tijolos ou fração superior a 10.000 unidades constituem um lote do qual se deve retirar, ao acaso, uma amostra de treze tijolos, determinando-se a resistência à compressão e à absorção de água.

6.2.1 O número de corpos-de-prova da amostra que deve ser ensaiado, é estabelecido pelo respectivo método de ensaio.

### **3.6 TÉCNICAS DE EXECUÇÃO DE ALVENARIAS**

#### **Definição geral de alvenaria**

Segundo THOMAZ (1988), as alvenarias de vedação, isto é, aquelas que não são projetadas para resistirem a cargas verticais além das resultantes do seu peso próprio e de pequenas cargas, destinam-se ao preenchimento de espaços entre componentes da estrutura, podendo ser empregadas na fachada da obra (paredes externas) ou na criação dos espaços internos (divisórias internas).

A função dessas paredes, todavia, transcende em muito a simples divisão de espaços, desempenhando papel importante na isolamento térmica e acústica dos ambientes, na segurança física dos usuários em casos de incêndio, na estanqueidade à água da obra e, às vezes, até mesmo no contraventamento da estrutura ou parte dela. Por todas essas razões, particular atenção deve ser dada ao projeto e execução das paredes de vedação com atenção especial ao tijolo de solo-cimento.

#### **Recomendações para o projeto das alvenarias em solo-cimento**

O projeto é o conjunto de todos os documentos que definem a obra e, segundo THOMAZ (1988), a maioria dos problemas patológicos nos edifícios origina-se de falhas de projeto.

Segundo NASCIMENTO (1992), o solo-cimento, como material poroso, suscetível à retração cíclica, é um material que retrai e expande em função, principalmente, das variações de umidade. Para tanto, é recomendável projetar juntas de construção nas paredes e estudar muito bem a argamassa a ser utilizada no assentamento, de maneira que esta possua capacidade de se deformar sem apresentar ruptura, quando sujeita a solicitações diversas e de retornar à dimensão original, quando cessarem as solicitações; de qualquer maneira, usar sempre uma argamassa de resistência inferior ao tijolo.

ARINI (1995) recomenda que o projeto seja desenvolvido em função do programa estabelecido, quando são dimensionados todos os cômodos básicos da residência, utilizando, em planta, o módulo dimensional do tijolo que resultará nas medidas das alvenarias sempre em múltiplos do comprimento padrão do tijolo maciço de solo-cimento, acrescidos de 1 centímetro, correspondente à argamassa feita com solo para o seu assentamento.

Os vãos das portas, janelas, aberturas e outros espaços são dimensionados em função das medidas do tijolo e da argamassa de assentamento, para evitar o corte do tijolo, melhorando o acabamento da obra, otimizando o tempo de construção e reduzindo o desperdício.

Quanto às recomendações para projeto, CARVALHO e POROCA (1995) afirmam que de acordo com a literatura e a experiências existentes, os tijolos prensados de solo estabilizado podem ser usados em qualquer tipo de construção, em substituição aos tijolos cerâmicos convencionais e que também, permitem ampliações posteriores, tanto horizontais como verticais, sendo necessário prevê-las no projeto.

## **Construção de alvenaria com tijolo de solo-cimento**

### *Fundações*

ARINI(1995) afirma que o tipo de fundação para as paredes de tijolos de solo-cimento deve ser composto por brocas, sapatas e baldrame. Nos cruzamentos das paredes e a cada 1,5 m de construção devem ser executadas as brocas de concreto armado com 1,0 m de profundidade e 0,30 m de diâmetro com 3 barras de aço de 1/2" com estribos de 5/16" cada 0,20 m.

Nos cruzamentos das paredes, além das brocas serão colocadas sapatas quadradas de concreto com as dimensões de 0,60 m X 0,60 m e altura de 0,15 m. Nessas sapatas serão ancorados os baldrames para apoio das paredes. Os baldrames com 25 cm de altura serão construídos com 4 barras de 1/2" estribos de 5/16" cada 0,15m.

Para CARVALHO E POROCA, as construções com tijolos de solo estabilizado podem ser executadas com qualquer tipo de fundação tradicionalmente utilizado.

Em terrenos com o nível do lençol freático baixo, pode-se utilizar tijolos de solo-cimento na própria fundação, substituindo o tijolo cerâmico na construção de sapatas corridas de alvenaria dobrada, tipo de fundação bastante comum em construções populares.

### *Impermeabilização*

Segundo MORAES (1982), o emprego de impermeabilizantes no solo-cimento é possível, a exemplo do concreto.

As fundações da edificação, por constituírem meios potenciais da penetração de umidade nas paredes, devem ser impermeabilizadas cuidadosamente, recomendando-se a utilização de emulsões asfálticas.

Para ARINI (1995), depois de concluídas, as vigas baldrame devem ser revestidas com argamassa traço 1:3, misturada com um produto impermeabilizante convencional e, depois, pintadas com material impermeabilizante.

### *Fiada de marcação*

A disposição da primeira fiada adquire grande importância, uma vez que define o posicionamento das paredes, portas, janelas, pontos das instalações elétricas, água potável e esgoto. É no lançamento da primeira fiada que se corrigem distorções no nivelamento das fundações.

Segundo ARINI, concluídas as fundações, ficam aparentes os ferros dos arranques dos pilares de sustentação que devem ser preenchidos juntamente com a primeira fiada de tijolos, determinando a cota do piso, o alinhamento e a disposição final dos pilares, das esquadrias, dos vãos, das instalações hidrossanitárias e elétricas, além das saídas das tubulações de esgotos.

### *Alvenaria de vedação/estrutural*

Para CARVALHO E POROCA, os tijolos de solo estabilizado podem ser usados tanto em alvenarias simples de vedação, quanto em alvenarias estruturais, onde as paredes são portantes e vão receber as cargas do telhado.

ARINI afirma que depois da conclusão da primeira fiada de tijolos, é iniciado o assentamento da alvenaria, que vai sendo construída em conjunto com os pilares de sustentação, tubulações, conduítes, pontos de luz, água, esgoto e esquadrias.

À medida que cada fiada de alvenaria for assentada nas paredes da habitação, pode-se recorrer ao uso do tijolo de solo-cimento para dar forma aos pilares de sustentação, dispensando, assim, a utilização de madeiras.

A concretagem dos pilares de sustentação é feita parcialmente, a cada fiada, para se evitar grandes quantidades de concreto que adquirem maior peso e necessitariam de formas de madeira laterais para impedir a "explosão" dos tijolos componentes das paredes dos pilares.

Para a execução da fiada de tijolos na região dos pilares, é necessário aguardar até que ocorra a cura do concreto aplicado.

Para ARINI, devido a superfície do tijolo ser extremamente lisa e possuir uma massa bastante compacta, pode-se assentar esta alvenaria com aderente à base de PVA (acetato de polivinila), reduzindo substancialmente o tempo de assentamento e o custo final da edificação.

Mas, GRANATO (1989) desaconselha o uso de adesivos à base de PVA em argamassas, pois a presença de umidade provoca nesses, a perda de resistências de aderência. GRANATO afirma que os aditivos de base acrílica comportam-se melhor na presença de umidade em relação aos adesivos à base de PVA.

NASCIMENTO (1992) afirma que na etapa de construção das paredes, algumas recomendações se fazem necessárias como:

- a) molhar os tijolos antes do assentamento para que eles não absorvam a água da argamassa;
- b) a argamassa de cal e areia deve repousar por no mínimo 16 h antes de se adicionar o cimento. O objetivo desse procedimento é torná-la mais trabalhável e evitar que fissure macroscopicamente quando aplicada;
- c) empregar os tijolos com idade superior a 21 dias de fabricação.

Já MORAES (1982) acha que devem-se evitar práticas como a molhagem dos tijolos antes de sua utilização e, quando for inevitável, a molhagem dos elementos deve ser superficial, sem saturá-los.

### *Argamassa de assentamento*

NASCIMENTO (1992) concluiu de suas experiências com tijolos de solo-cimento que o uso da cal nas argamassas de assentamento é imprescindível, pois melhora todas as suas propriedades. A cal confere trabalhabilidade e retenção de água às argamassas.

Argamassas plásticas e coesas permitem um melhor espalhamento facilitando o seu uso tanto para assentamento de componentes como para revestimento; além disso, conseguindo reter água, têm o seu endurecimento favorecido e uma maior aderência aos substratos.

Argamassas não plásticas e trabalháveis não preenchem todos os vazios como desejado e podem fissurar quando endurecidas devido à retração hidráulica ou movimentação térmica dos componentes. Por isso, argamassas mistas de cal e cimento são as mais recomendáveis pois atendem a todos os requisitos solicitados.

Pequenas quantidades de cal em argamassas de cimento têm um efeito positivo, melhorando as propriedades físicas das argamassas e aumentando a capacidade de absorver deformações, uma vez que as alvenarias compostas de tijolos de solo-cimento possuem movimentações maiores que as demais.

NASCIMENTO descreve as características que a argamassa de assentamento utilizada em solo-cimento deve possuir:

1. ter trabalhabilidade (consistência, plasticidade e coesão) apropriada;

2. ter capacidade de retenção de água compatível com a dos tijolos;
3. adquirir rapidamente alguma resistência;
4. desenvolver resistência com o tempo (não deve ser mais resistente que os tijolos);
5. aderir aos tijolos de maneira que a alvenaria suporte esforços cisalhantes e de tração e tenha juntas estanques à água de chuva;
6. ser durável e não afetar a durabilidade de outros materiais e da construção como um todo;
7. ter suficiente resiliência (baixo módulo de deformação) de maneira a, sem fissurar, acomodar as deformações intrínsecas (retração na secagem) e as decorrentes de movimentos estruturais.

NASCIMENTO afirma também que, em pesquisas efetuadas na PUC-MG, notou-se que a principal causa das fissuras em paredes de tijolos de solo-cimento eram as argamassas de assentamento; se a causa era a argamassa resolveu-se eliminá-la e para isso desenvolveram um tijolo de encaixes.

Segundo MORAES (1982), deve-se procurar sempre a utilização de argamassas com resistência compatível com a dos elementos. Desta maneira, as trincas que surgirem tenderão a seguir as juntas e terão menor espessura de abertura e profundidade. A argamassa de cimento e areia é desaconselhável, quer por sua resistência, quer pela retração que costuma apresentar.

MORAES afirma que testes efetuados em painéis de alvenaria de blocos demonstram que paredes construídas com argamassas fortes, ou seja, com alto teor de cimento, possuem menor resistência à tração que aquelas construídas com argamassas mais fracas, com menor módulo de elasticidade. As paredes executadas com argamassa mais fraca permitem maior movimentação entre os elementos, propiciando maior acomodação da alvenaria à retração e diminuindo a possibilidade do aparecimento de trincas.

#### *Pilaretes*

O conjunto de furos dos tijolos permitem a colocação interna de argamassa ou graute formando os pilaretes.

Para CARVALHO E POROCA, a colocação dessa argamassa realiza o intertravamento, formando pequenas colunas de estabilização da alvenaria, aumentando a capacidade de compressão das paredes e reforçando a região das aberturas de portas e janelas.

Segundo TAUIL E RACCA (1981), graute é um concreto com agregados miúdos e pedriscos destinado ao preenchimento dos vazios dos blocos, nos locais especificados pelo projetista da estrutura.

### *Traços em volumes*

TIPO	CIMENTO PORTLAND	CAL HIDRATADA		AGREGADOS	
		MÍNIMO	MÁXIMO	FINO	GROSSO
GRAUTE FINO	1,0	0		2,3-3,0	
			0,1	2,5-3,3	
GRAUTE GROSSO	1,0	0		2,3-3,0	1,0-2,0
			0,1	2,5-3,3	1,1-2,2

Tab.4 Dosagem para produção de graute (apud TAUIL E RACCA)

### *Vergas e Contravergas*

As vergas são reforços horizontais colocados na parte superior das aberturas para resistir aos esforços de tração na flexão, redistribuindo para a parede as cargas verticais.

As contravergas são reforços horizontais colocadas na parte inferior das aberturas e têm a função de distribuir os esforços concentrados que aí surgem.

Como destacam ARINI (1995) e NASCIMENTO (1992), sobre as aberturas dos vãos de portas e janelas em cujos vértices ocorrem concentrações de tensões, é necessária a colocação de vergas e contravergas para evitar trincas nas paredes nessas regiões.

MORAES destaca a importância de se observar os detalhes construtivos nas construções com tijolos de solo-cimento. Ele afirma que as variações dimensionais que ocorrem em elementos de solo-cimento, quando submetidos a restrições, dão origem a movimentações diferenciais e tensões internas na alvenaria. Assim, nas edificações em que se utiliza o solo-cimento, cabe evitar qualquer tipo de restrição desnecessária à livre movimentação dos elementos e componentes, aumentando a capacidade de acomodação da alvenaria aos movimentos causados pela retração.

Cuidados especiais precisam ser tomados nos locais preferenciais ao aparecimento de trincas em alvenarias de solo-cimento. As zonas de fragilidade na alvenaria, tais como variações bruscas na seção transversal, ângulos, cantos, aberturas ou locais onde se produzem concentrações de tensões, devem ser reforçados especialmente.

Devem-se empregar armações suplementares sobre e sob as aberturas de portas e janelas chamadas vergas e contravergas que são sempre recomendáveis nestas situações.

### *Cintas de amarração*

As cintas de amarração têm como objetivo travar todas as paredes da construção e distribuir uniformemente as cargas atuantes na laje. Ela deve ser contínua e armada com pelo menos duas barras de aço com diâmetro de 6,3mm. A altura da cinta deve ser superior a 10 cm e possuir a largura dos tijolos das paredes.

ARINI afirma que as cintas de amarração superior são edificadas de forma semelhante às vigas baldrame e são dispostas sobre todas as paredes da habitação onde são construídos os berços de tijolos, com 2 tijolos de altura, assentados com argamassa traço 1:3, também utilizados como "forma perdida", pronto para receber 4 ferros de 1/2", estribados com ferro 5/16" a cada 0,15 metros, para serem concretadas.

### *Instalações elétricas e hidráulicas*

Nas construções com tijolos de solo - cimento, as instalações elétricas e hidrossanitárias são executadas convencionalmente, podendo ficar aparentes ou embutidas nos furos dos tijolos.

Segundo ARINI, para ser feita a passagem das tubulações hidráulicas e elétricas, devem – se produzir tijolos especiais que facilitem as instalações, evitando rasgos na alvenaria após sua edificação.

CARVALHO E POROCA afirmam que as colunas vazias, formadas pelos furos dos tijolos que não recebem argamassa, podem servir como passagem das instalações elétricas e hidráulicas.

### *Revestimento das paredes*

Segundo MORAES, pelas características higroscópicas do solo-cimento recomenda-se proteger as paredes externas da penetração de umidade, pois estas variações são sempre seguidas de variações dimensionais que induzem tensões na alvenaria. Assim, as paredes diretamente expostas à molhagem pela chuva devem ser protegidas por pintura hidrófuga ou outro revestimento similar bem como as paredes dos locais onde seja prevista maior umidade tais como banheiros cozinhas etc. Convém, ainda, prever ventilação que permita a rápida evacuação da umidade.

ARINI também recomenda proteger as paredes externas com aplicação de 2 demãos de um revestimento superficial à base de verniz acrílico incolor sobre a alvenaria assentada e devidamente limpa. Esse verniz acrílico pode ser fosco ou brilhante e deve ser aplicado com rolo ou pincel. Para as paredes internas, é feita uma aplicação de 2 demãos de revestimento superficial à base de verniz acrílico branco sobre a alvenaria assentada e devidamente limpa. Esse verniz poderá ser substituído por massa acrílica branca diluída em 30% de água, aplicada com rolo e posteriormente desempenada. Essa aplicação pode ser feita também sobre as paredes externas se o objetivo for uma alvenaria na cor branca. Nas paredes internas que encerram as áreas consideradas

molhadas, como a cozinha, o banheiro e a área de serviço, é feita uma aplicação de 2 demãos de massa acrílica branca com rolo e depois deve ser desempenada, dando um acabamento semelhante à massa fina.

CARVALHO E POROCA afirmam que as paredes podem ser aparentes ou revestidas, podendo receber qualquer tipo de pintura ou revestimento cerâmicos. Em qualquer situação, devem receber as mesmas preocupações de manutenção dedicadas às alvenarias convencionais, pinturas periódicas, revestimento de áreas molhadas etc.

### *Cobertura*

Segundo CARVALHO E POROCA, as coberturas de construções populares são, geralmente, em estruturas de madeira com telhas cerâmicas tipo capa canal ou colonial.

Recomenda-se que o transpasse da coberta, comumente chamado de "beiral", tenha no mínimo 50,0cm, para diminuir a incidência de água proveniente de chuvas na base das alvenarias. Esta providência é especialmente importante para evitar a umidade na parte inferior das paredes.

## **3.7 RETRAÇÃO DO SOLO-CIMENTO**

Conforme NASCIMENTO (1992), o solo-cimento sofre variações dimensionais (expansão e contração) que, uma vez restringidas, irão provocar tensões internas; estas, quando ultrapassarem a resistência do material, irão provocar fissuras.

A retração do solo-cimento pode ser considerada como fenômeno inerente ao material devido à interação solo, cimento Portland e água. Esta retração é um fenômeno de variação de volume que ocorre em elementos constituídos por materiais porosos, sem depender de solicitações externas aplicadas. Quantitativamente, o termo é geralmente aplicado à variação de uma das dimensões do elemento em relação a sua dimensão inicial, podendo ser medida em mm/m, m/m e porcentagem .

A retração pode ter como origem variações de umidade (retração hidráulica) , variações de temperatura (retração térmica) ou reações químicas (retração química).

A retração hidráulica ou retração por secagem é uma retração reversível do solo-cimento, o qual, sendo um material poroso, tem a capacidade de absorver ou perder umidade em função das variações de umidade do meio. O comportamento do solo-cimento com relação à retração reversível é importante pela contínua exposição às intempéries a que as paredes estão sujeitas.

Segundo MORAES (1982), deve-se procurar limitar o comprimento das paredes de alvenaria de solo-cimento no sentido de minimizar a retração acumulada dos elementos que provocam em paredes mais extensas, variações

dimensionais. A previsão de juntas de controle é fundamental, devendo estas permitir um movimento elástico das partes e serem estanques para impedir a penetração da umidade exterior.

O comprimento máximo de uma parede ou distância máxima entre as juntas é função da retração do material e de sua resistência, valores bastante variáveis no solo-cimento, tornando difícil uma análise a respeito. A priori, recomenda-se que a distância não ultrapasse 4 m.

Para MORAES, os tijolos moldados com solos tipicamente arenosos são geralmente mais resistentes e estão sujeitos a menores variações dimensionais durante a cura.

### **3.8 ANÁLISE DOS MANUAIS EXISTENTES NO MERCADO SOBRE SOLO-CIMENTO PARA FABRICAÇÃO DE TIJOLOS E ORIENTAÇÃO PARA CONSTRUÇÕES**

A seguir, os manuais existentes no mercado serão analisados em relação à fabricação, à sua utilização nas construções e, além disso, serão destacados, também, os pontos mais importantes e/ou falhas nas informações dirigidas ao usuário.

**Como fazer e usar tijolos prensados de solo estabilizado.**  
**Fundação Pró-Habitar- Habitec.- Brasília: Ibct; Recife,1995 Carvalho.**  
**A.R.O, Poroca J.S.**

De um modo geral, esse manual apresenta informações importantes para o pequeno construtor que deseja produzir tijolos de solo-cimento ou usá-los como material de construção, a começar pela elaboração de um diagnóstico sobre potencialidades da região para a implantação de uma unidade produtora de tijolos de solo-cimento. Nesta etapa, são realizadas as seguintes ações:

- estudo de caracterização dos solos e demais materiais disponíveis;
- levantamento dos custos dos materiais (solo, cimento, areia ,etc.), mão-de-obra e de produtos convencionais (tijolos cerâmicos) no mercado;
- elaboração de um diagnóstico sobre a viabilidade técnica e econômica da implantação de uma unidade produtora.

Apresenta, também, as diversas vantagens do tijolo de solo-cimento que já foram descritas neste capítulo.

No entanto, algumas observações devem ser acrescentadas:

a) A utilização do solo local ocorre apenas em condições muito favoráveis que são: quantidades suficiente para a produção e especificações adequadas ao uso.

Geralmente, não é o que ocorre. É comum a importação do solo, e até mesmo sua correção para adequá-lo aos padrões. Nesse caso, somente um laboratório é capaz de responder com segurança quais medidas deverão ser adotadas para a que o solo seja utilizado corretamente;

b) A fabricação de tijolos de solo - cimento não requer grandes investimentos numa unidade fabril. Também, não exige maiores conhecimentos para fabricação. No entanto, não dispensa a participação de pessoas com conhecimentos adequados sobre solo, materiais de construção e processo de fabricação.

O manual destaca a importância do projeto arquitetônico, como responsável pela redução do custo da construção com solo-cimento.

Não se pode deixar de notar que no item da construção das paredes, o assunto é abordado com clareza, entretanto, nesse tópico, deveriam ser acrescentados três aspectos:

a) as fundações que utilizam tijolos em sua construção não são recomendadas preferindo-se uso de concreto na confecção de qualquer tipo de fundação mesmo nas fundações diretas rasas;

b) todas as paredes construídas com tijolos de solo-cimento devem sempre serem revestidas protegendo-as da ação direta da água;

c) o bloco de solo-cimento propicia construção mais simplificada; mas não dispensa o acompanhamento de profissionais especializados, em número menor que as construções convencionais, mas a sua presença é imprescindível para a obtenção de uma construção com qualidade.

### **Brick Manual desenvolvido pela Sahara- Ind. e Com. de Máquinas e Equipamentos Ltda.**

O manual da empresa Sahara não é tão abrangente como o anterior.

Ele descreve de uma forma geral, em sua primeira parte, as vantagens dos tijolos de solo-cimento como dimensões regulares e constantes, resistência à compressão, absorção de água e isolamento termo-acústicos.

Apresenta portanto as propriedades do tijolo pronto, não mencionando as características dos materiais componentes bem como o manuseio desses para obtenção de tijolos do solo-cimento.

Num primeiro momento, nota-se no manual, ausência de referências sobre potencialidades do local para a implantação de uma unidade produtora de tijolos de solo-cimento, característica, escolha, manuseio e transformação dos materiais componentes do solo-cimento.

Devem ser acrescentados alguns aspectos importantes que o manual não apresentou e são importantes para a produção dos tijolos de solo-cimento:

a) informar o usuário sobre os tipos de solos que são adequados à fabricação de tijolos de solo-cimento e alertá-lo sobre a necessidade de enviar ao laboratório amostras de solo para análise das suas características;

b) apresentar as etapas necessárias para a confecção dos tijolos;

c) cuidados com a estocagem dos tijolos antes do seu emprego na construção;

d) aspectos gerais do controle de qualidade dos manufaturados;

e) informações das Normas de tijolos de solo-cimento.

Em uma segunda parte, o manual trata do sistema construtivo com a utilização do tijolo de solo-cimento na construção de casas, apresentando informações sobre o assunto da dilatação das paredes sugerindo manter uma distância de 1 a 2 mm entre um tijolo e outro mantendo assim as juntas verticais sem argamassa (*Figura 7*).

Possui muitas ilustrações dos detalhes das instalações elétricas, hidráulicas, estrutura, cortes dos tijolos e outros.

Alerta ao usuário para os cuidados a serem tomados no preenchimento dos furos com concreto evitando-se as falhas de concretagem.

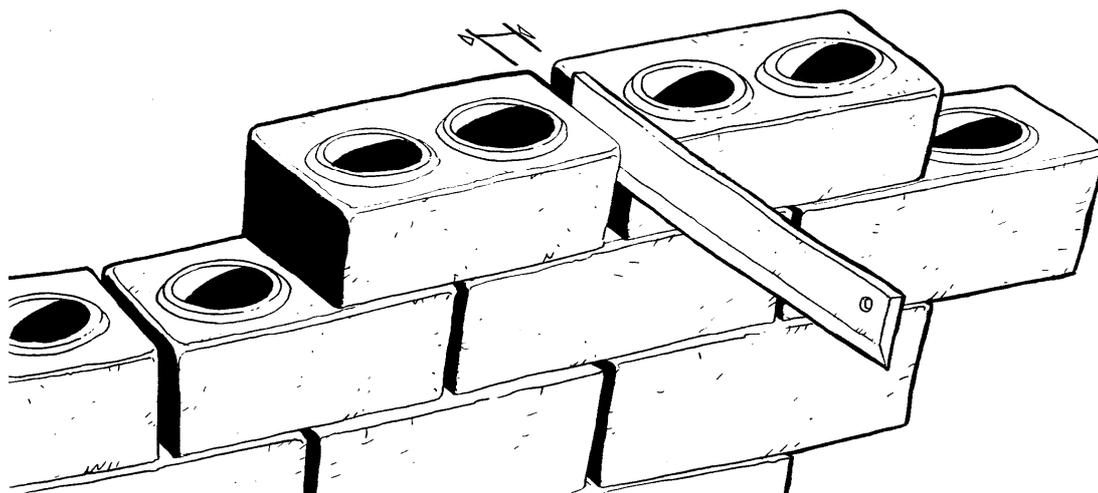


Figura 7 - Juntas secas verticais (apud SAHARA 2000)

No entanto, devem ser acrescentados alguns aspectos importantes que não foram apresentadas no manual:

- a) utilização de projeto arquitetônico que leva em consideração as dimensões dos tijolos de solo-cimento;
- b) tipos de fundação que podem ser empregados;
- c) não utilizar cola à base de PVA (acetato de polivinila) como argamassa de assentamento;
- d) revestir todas as paredes do lado externo com argamassa de no mínimo 3,0 cm de espessura protegendo-as da ação direta da água;
- e) o acompanhamento de profissionais especializados tanto na confecção como nas construções com tijolos de solo-cimento.

O autor desta dissertação ressalta que o conteúdo desses manuais são insuficientes para o uso correto do solo-cimento. As informações complementares são apresentadas no Capítulo 5.

#### ***CAPITULO 4 - CADASTRAMENTO DAS TÉCNICAS EMPREGADAS EM TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO PELOS FABRICANTES E CONSTRUTORES***

Nesse capítulo são descritos os processos de produção dos tijolos de solo-cimento e as construções feitas pelas empresas cadastradas.

#### 4.1 PERFIL DAS EMPRESAS SELECIONADAS

*Foram selecionadas empresas que apresentavam o seguinte perfil:*

- A produção de tijolos diária das empresas ultrapassava 1000 unidades;
- Todas empresas possuíam mais de sete funcionários.

*Outras características das empresas:*

- Empresa que constrói com tijolos de solo-cimento;
- Empresas que produzem os tijolos e o utilizam nas suas próprias obras;
- Empresa que só comercializava a produção e não construía.

	<b>Empresa A</b>	<b>Empresa B</b>	<b>Empresa C</b>	<b>Empresa D</b>
Produz blocos	sim	sim	sim	não
Vende o blocos	não	não	sim	não
Utiliza os blocos que produzem em suas obras	sim	sim	não	não
Só constrói com o blocos	não	não	não	sim

Tabela 5 Características das empresas pesquisadas

#### 4.2 PROCEDIMENTOS DAS EMPRESAS PARA PRODUÇÃO DOS TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO COM FUROS CIRCULARES

##### Escolha do solo

### *Empresas A e C*

Adotam para a escolha do solo um método empírico.

O método consiste em produzir várias amostras do tijolo com diferentes tipos de solo.

O solo escolhido deverá favorecer a produção dos tijolos sem que haja adesão do mesmo no molde da prensa. Há ainda a necessidade de se colocar os tijolos confeccionados em pilhas de 1,50 m de altura sem sofrerem nenhum tipo de deformação.

As duas empresas colocam areia fina na composição do tijolo sem submeter as amostras aos laboratórios para análise; a correção é feita adicionando areia fina ao solo, baseado unicamente nos fatores empíricos sem qualquer critério contrariamente portanto, registros bibliográficos que recomendam, no mínimo, ensaios para determinação da distribuição granulométrica e dos limites físicos tais como os plasticidade, liquidez e índice de plasticidade.

### *Empresa B*

A empresa B escolhe os solos através de ensaios de laboratório seguindo recomendações das Normas NBR 7182, NBR 7181, NBR 7180, NBR 6508 e NBR 6459 adotando o solo cuja características são determinadas pela NBR 10832/1989. O procedimento de escolher o solo após a análise de um laboratório, é o mais recomendado pela bibliografia.

### **Escolha do cimento**

Todas as empresas se utilizam do cimento comum CP III encontrado no mercado.

### **Confecção dos tijolos com furos circulares**

#### *Armazenamento de matérias primas*

### *Empresas A e C*

O cimento é guardado em almoxarifados construídos em alvenaria e fechados, protegidos das intempéries.

No armazenamento do solo e areia é utilizada apenas uma cobertura com lona plástica sobre ambos.

Em situações de períodos de chuvas freqüentes, além de o solo ficar permanentemente úmido, dificultando a confecção dos tijolos, parte da areia do solo é carregada pela chuva, o que dificulta mais ainda a correção do solo.

### *Empresa B*

Mantém o estoque de solo para a produção do mês protegido das intempéries dentro de galpões cobertos.

Para esta operação a empresa possuía espaço e instalações suficientes que demandava grandes áreas.

### *Secagem do solo*

#### *Empresas A e C*

Para a secagem do solo essas empresas utilizam o método de espalhar uma fina camada de solo ao sol em quantidade suficiente para a produção de tijolos do dia e para o restante do solo colocam uma cobertura de lona plástica preta.

Este processo torna-se inadequado nos períodos de chuva. O ideal é que o solo seja espalhado em finas camadas e armazenado em galpões cobertos livre das intempéries e não coberto com lona plástica.

#### *Empresa B*

O solo é armazenado em local coberto protegido das intempéries e revolvido periodicamente para uniformizar a secagem.

### *Destorroamento*

#### *Empresas A, B e C*

Todas as empresas utilizam para destorroar e triturar o solo, equipamentos mecânicos.

O método das três empresas demonstrou ser apropriado para as operações de destorroamento e a bibliografia recomenda que o destorroamento seja feito com ferramentas manuais ou com uso de equipamentos mecânicos conforme o procedimento das três empresas.

### *Peneiramento*

O peneiramento é feito manualmente pelas Empresas A e C e mecanicamente pela Empresa B.

### *Dosagem*

#### *Empresas A, B e C*

Para a escolha do traço mais adequado da mistura solo-cimento na umidade ótima, as empresas moldam tijolos com 1:10, 1:12 e 1:14 de cimento e solo ambos em volume.

Os tijolos moldados, de cada traço, são submetidos a ensaios de resistência à compressão. Somente a Empresa B submete as amostras além dos ensaios de resistência a ensaios de absorção de água. O critério adotado para a escolha do traço adequado é aquele que proporcionar:

- a) valores de absorção de água cuja amostra ensaiada não deva apresentar média dos valores de absorção maior do que 20%, nem valores individuais superior a 22%;
- b) resistência mecânica cuja média dos valores de resistência seja maior do que 2,0 MPa, e não apresente valores individuais inferiores que 1,7 MPa.

A amostra que atender a esses requisitos com a menor quantidade de cimento, será adotada.

As práticas adotadas pelas empresas estão de acordo com as recomendações bibliográficas.

### *Determinação da Umidade Ótima da Mistura*

#### *Empresas A e C*

Ambas utilizam o método empírico conforme manual (CEPED 1999) para determinação da umidade ótima, conforme descrito no Capítulo 3.5 Produção de tijolos sub - item Dosagem pag. 24. Portanto, essas empresas procedem conforme recomendações bibliográficas.

#### *Empresa B*

Utiliza ensaios de laboratório para determinação da umidade ótima e mantém parte do solo a ser produzido sempre coberto em galpão.

Pinto (2001), é de opinião que o ensaio de compactação do qual se determina a umidade ótima no solo não é o mais adequado para a fabricação de tijolos de solo-cimento.

### *Homogeneização*

#### *Empresas A e C*

Procedem a mistura do solo seco com o cimento e a água. O solo e o cimento são dosados em volume (baldes de 20 litros), a água é borrifada até que seja atingida a umidade ótima da mistura, conforme descrito no Capítulo 3.5 - Produção de tijolos; sub-item - Dosagem - pag. 24, não levando em consideração itens recomendados pela bibliografia como:

- a) teor de umidade de areia - essas empresas corrigem a granulometria adicionando areia fina ao solo sem levar em consideração a umidade da areia;
- b) Os caixotes (padiolas) utilizados para a medida do solo, areia e água não são proporcionais a um saco de cimento; conseqüentemente, ocorre variação na dosagem dos materiais utilizados nas partidas de tijolos.

#### *Empresa B*

Executa a mistura em peso utilizando equipamentos mecânicos, controlando umidade e a proporção dos componentes da mistura.

Esse procedimento é o ideal para empresas de médio a grande porte que possuem equipamentos de produtividade elevada e custo alto, inviável para o pequeno construtor.

### *Equipamentos*

#### *Empresas A e C*

Utilizam prensas manuais para produção de tijolos sem nenhum controle. O equipamento não possui nenhum tipo de dispositivo para controlar a pressão aplicada sobre as peças, só dependendo da força aplicada pelo operário na prensa. Isso acarreta variação na qualidade dos tijolos em um mesmo lote, mas, de maneira geral, os resultados obtidos nos ensaios de compressão estão dentro do exigido pela NORMA que especifica que a média

dos valores de resistência seja maior do que 2,0 MPa, e não apresente valores individuais inferiores a 1,7 MPa.

### *Empresa B*

Utiliza prensa hidráulica para produção de tijolos cuja pressão de 12 MPa aplicada sobre as peças produzidas, é controlada eletronicamente. Este equipamento só é disponível para investidores que pretendem produzir tijolos de solo-cimento em larga escala.

### *Cura e secagem do tijolo*

#### *Empresas A e C*

Na etapa da secagem e cura dos tijolos, as Empresas A e C o fazem em locais cobertos, mas sem controle dos horários, tempo e quantidade de água aspergida.

A forma de empilhamento dos tijolos dificulta a uniformidade do recebimento de água das peças, pois os tijolos colocados na parte central inferior da pilha não recebem a mesma quantidade de água dos tijolos localizados na parte periférica da pilha.

### *Empresa B*

Utiliza o túnel de secagem para a cura dos tijolos; é um longo túnel de forma contínua que possui temperatura e umidade maiores que a ambiente. Os tijolos são introduzidos em uma extremidade passando no seu interior até a outra extremidade. A secagem e a cura são feitas durante o trajeto dos tijolos dentro do túnel.

### *Controle de qualidade no processo produtivo*

#### *Empresas A e C*

As duas empresas submetem seus produtos a testes de resistência à compressão em laboratório. Contudo a Empresa A faz os testes de absorção d'água na própria fábrica. Os testes são realizados conforme a recomendação bibliográfica. No entanto, as amostras são retiradas após um período entre sessenta e noventa dias, sem levar em consideração a quantidade de tijolos do lote que, pela Norma, é de 25000 tijolos para a retirada das amostras.

### *Empresa B*

Essa empresa faz diversos ensaios de durabilidade e desempenho de seu produto, todas realizadas pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo):

- Desempenho Estrutural;
- Desempenho Acústico;
- Estanqueidade à água;
- Segurança ao Fogo;
- Durabilidade.

Os ensaios são necessários uma vez que esta empresa vende o sistema construtivo para várias prefeituras e países que necessitam da avaliação do IPT para confirmação da qualidade do sistema.

## **4.3 TÉCNICAS PARA EXECUÇÃO DE ALVENARIA EMPREGANDO TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO COM FUROS CIRCULARES**

### **Recomendações para o projeto das alvenarias em solo-cimento**

#### *Empresas A e B*

Essas empresas utilizam em suas obras projetos desenvolvidos especialmente para o tijolo de solo-cimento com furos circulares, saliências e rebaixos tipo macho e fêmea.

Ambas empresas procedem como a bibliografia recomenda, apresentando um projeto específico para o uso do tijolo de solo-cimento.

#### *Empresa D*

Durante visita a uma das obras observou-se a inexistência projeto específico. Por esta razão, constatou-se grande desperdício de tijolos, uma vez que a modulação das peças só permite o uso do tijolo inteiro e do meio tijolo.

### **Construção de alvenaria utilizando tijolos de solo-cimento**

#### *Fundação*

Nas construções executadas pelas empresas foram observados os seguintes tipos de fundações :

fundação rasa em sapata corrida e radiers (placas);

fundação profunda com a utilização de brocas.

Ambas as construções utilizavam concreto ao invés de tijolo na confecção das fundações. Este procedimento deve ser adotado em qualquer situação.

### *Impermeabilização*

#### *Empresa A*

Foi observada, apenas nas construções da Empresa A, a utilização de impermeabilização, que consistia na pintura dos alicerces com tintas à base de emulsão asfáltica e o assentamento das primeiras fiadas executado com argamassa composta com impermeabilizante tipo “VEDACIT”.

A bibliografia recomenda o procedimento adotado pela empresa.

#### *Empresa B e D*

Nas construções dessas empresas não se observou o emprego de qualquer tipo de impermeabilizante nas fundações. Essa prática está em desacordo com a recomendação da bibliografia que recomenda impermeabilizar as três primeiras fiadas da alvenaria além da fundação.

### *Fiada de marcação*

#### *Empresas A e B*

Somente essas duas empresas tiveram cuidado com o lançamento da primeira fiada; portanto, essas empresas estão agindo conforme recomendação bibliográfica.

### *Construção das paredes utilizando tijolos com furos circulares*

#### *Empresas A, B e D*

Após a conclusão das fundações, as três empresas constróem as paredes juntamente com os pilaretes de sustentação, as tubulações, os conduítes, e as esquadrias.

A concretagem dos pilaretes é feita parcialmente, a cada metro de altura. Evitam-se grandes alturas de lançamento de concreto o que pode

prejudicar o preenchimento total dos espaços nos furos, como recomenda a bibliografia.

#### *Argamassa de assentamento*

##### *Empresa A*

Utilizava, sobre os tijolos, em suas construções, argamassa composta por solo-cimento conforma é recomendado pela bibliografia.

##### *Empresa B*

Usou em suas construções argamassa mista, composta por cimento, cal, areia e grande quantidade de água tornando-a bem líquida, facilitando a colocação dessa argamassa nos furos dos tijolos. Como o sistema é baseado no intertravamento dos tijolos, com a colocação de argamassa nos furos, formaram-se pequenas colunas de estabilização da alvenaria. Não foi encontrada na bibliografia nada que relatasse as características dessa argamassa fluída e sua função no preenchimento dos furos dos tijolos.

##### *Empresa D*

Empregou argamassa composta por uma mistura de argamassa colante (empregado na colocação de azulejos e piso) e areia fina. Prática não recomendada pela literatura, porque caracteriza uma argamassa de assentamento rígida, que pode produzir trincas nos tijolos.

#### *Juntas de dilatação*

##### *Empresas A, B e D*

Não se observou nenhum tipo de juntas de dilatação nas obras visitadas em decorrência do tamanho das paredes serem menores que 4 metros.

#### *Detalhes construtivos em alvenarias de solo-cimento*

##### *Ligação entre paredes*

##### *Empresas A e D*

Essas empresas utilizam, para a ligação entre as paredes, grampos colocados nos furos, feitos com aço 6,3 mm e preenchimento com concreto. O procedimento que as empresas adotaram para travamento das alvenarias só foi encontrado no manual SAHARA (2000). (*Figura 8*).

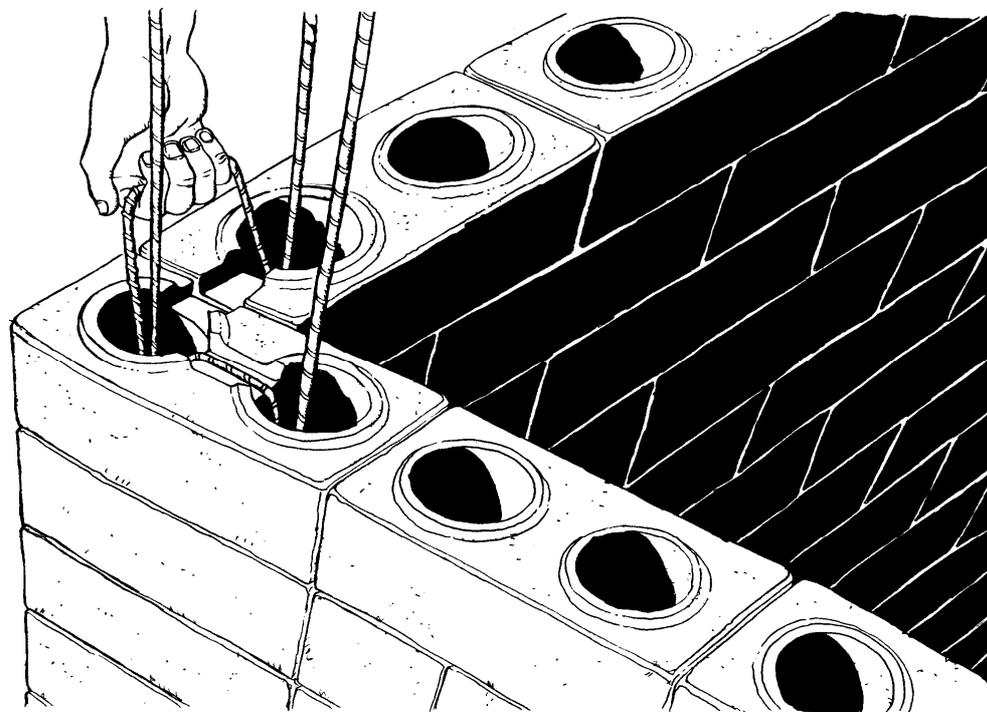


Figura 8 - Grampos (apud SAHARA 2000)

*Empresa B*

A amarração das paredes é feita utilizando o próprio tijolo. Esse tipo de amarração é um dos procedimentos recomendados pela bibliografia. No entanto, esse tipo de amarração, só é possível quando a largura do tijolo é a metade do seu comprimento. (Figura 9).

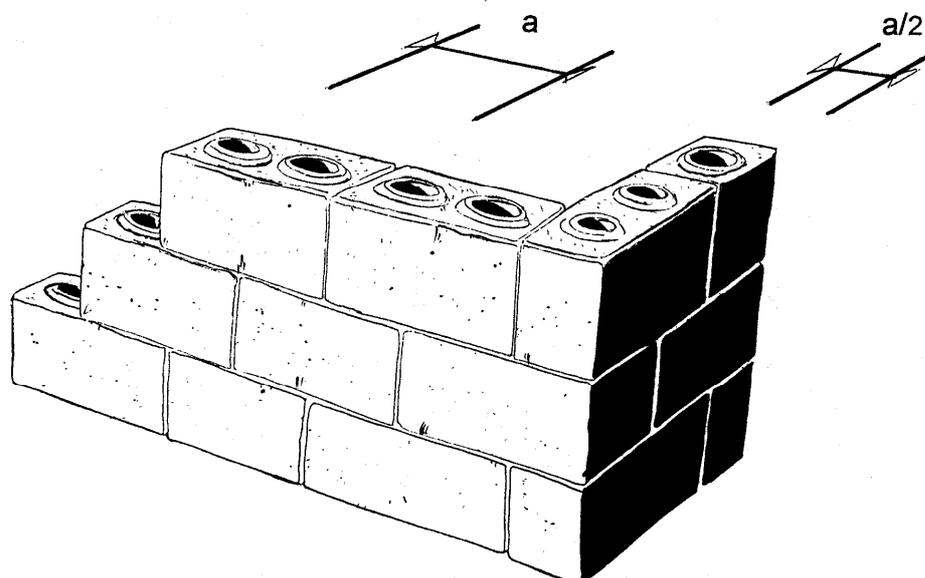


Figura 9 - Amarração dos cantos  
*Pilaretes*

*Empresas A e D*

Essas empresas, a cada metro, nos cantos e nas regiões das aberturas de portas e janelas, preenchem, com concreto e aço, os furos dos tijolos, formando pequenas colunas de estabilização. O procedimento que as empresas adotaram para reforço das paredes só foi encontrado no manual SAHARA (2000). (Figura 10).

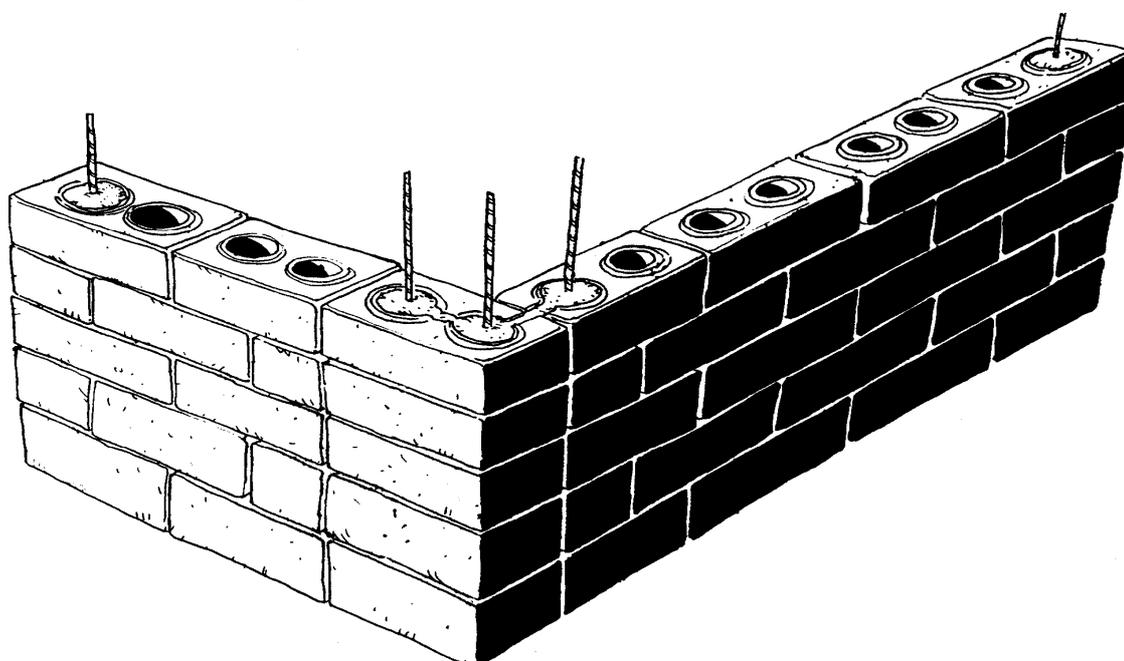


Figura 10 - Pilaretes (apud SAHARA 2000)

*Vergas, contravergas e cintas de amarração*

Todas as empresas utilizam vergas nas partes superiores das aberturas e contravergas sob as aberturas das janelas. Este procedimento é recomendado pela bibliografia.

*Cintas de amarração*

Todas as empresas utilizam cintas de amarração no respaldo das paredes, procedimento recomendado pela bibliografia.

### *Instalações elétricas e hidráulicas*

#### *Empresas A, B e D*

As três empresas utilizam os furos dos tijolos para colocação dos dutos ou canalizações das instalações elétricas e hidráulicas, respectivamente. Alguns autores recomendam a utilização dos furos para a colocação dos dutos das instalações elétricas e tubulações das instalações hidráulicas.

### *Revestimento das paredes*

#### *Empresas A e D*

Revestem as paredes externamente e internamente com revestimento composto por chapisco emboço e reboco. Este procedimento é recomendado pela bibliografia.

#### *Empresa B*

Utiliza apenas pintura com tinta à base acrílica, deixando os tijolos aparentes; embora este procedimento esteja de acordo com algumas recomendações bibliográficas, as paredes construídas com tijolo de solo-cimento, por ser poroso, devem ser protegidas com argamassa de cimento e areia pois apresentam maior proteção que as pinturas sobre os tijolos.

### *Cobertura*

#### *Empresas A, B e D*

As três empresas utilizam telhados com telha cerâmica e beiral com 0,50 m, para diminuir a incidência de água proveniente de chuvas na base das alvenarias.

## **CAPITULO 5 - RECOMENDAÇÕES PRÁTICAS PARA O PEQUENO CONSTRUTOR.**

A seguir, apresenta-se uma síntese do que foi exposto, acompanhada de recomendações práticas para o pequeno construtor.

### **5.1 ESTUDO SOBRE A VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE UNIDADE PRODUTORA DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO**

O processo inicia-se com a elaboração de um diagnóstico sobre a potencialidade da região para a implantação de uma unidade produtora de tijolos de solo-cimento.

São necessárias as seguintes ações para a elaboração do diagnóstico:

- estudo de caracterização dos solos e demais materiais disponíveis;
- levantamento dos custos dos materiais (solo, cimento, areia ,etc.), mão-de-obra e de produtos convencionais (tijolos cerâmicos) no mercado da região;
- levantamento dos custos da implantação de uma unidade produtora de tijolos;
- aceitação do novo produto pelo usuário;

Após essa análise, a implantação da unidade produtora só deverá ocorrer se as condições do diagnóstico custo benefício forem favoráveis.

### **5.2 PRODUÇÃO DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO COM FUROS CIRCULARES**

#### **Escolha do solo**

A escolha do solo inicia - se com a seleção de amostras de solo para serem enviadas a um laboratório que caracterizará e determinará o melhor tipo de solo para este fim.

### *Ensaio de laboratório para caracterização do solo para uso em solo-cimento*

- ensaio para determinação da massa específica dos grãos de solo;
- ensaio para determinação da distribuição granulométrica das frações minerais do solo completo;
- ensaios para determinação dos limites de plasticidade, liquidez e índice de plasticidade.

Para a produção de tijolos de solo-cimento, os solos arenosos são os mais adequados, desde que contenham um teor mínimo de silte + argila.

Os solos com as seguintes especificações são apropriados para o emprego no solo-cimento:

- Teor de areia: superior a 50%;
- Teor de silte: 10 a 20%;
- Teor de argila: 20 a 30%;
- LL Limite de Liquidez  $\leq 45\%$ ;
- IP Índice de plasticidade  $\leq 18\%$ ;

Caso os solos disponíveis na região não possam atender ao critério proposto, pode-se misturá-los com outros ou com areia fina, de modo a se corrigir a granulometria para os limites adequados.

Obs. a) Solos com teores altos de mica não devem ser empregados em solo-cimento porque não resistirão às expansões da argila durante os ciclos de secagem e molhagem;

b) Os solos orgânicos e turfosos são inadequados. Não devem ser empregados em solo-cimento porque provocam reações nocivas quando associados aos componentes do cimento.

### **Escolha do cimento**

Pode-se utilizar qualquer tipo de cimento para a produção de tijolos de solo-cimento. Os mais utilizados são o Cimento Portland Comum CPI e o Cimento Portland Comum com adição CPI-S.

### **Água**

A água a ser utilizada no preparo da mistura do solo com o cimento deve ser potável.

## Confecção dos tijolos

### *Armazenamento de matérias primas*

A estocagem de água deve ser em tanques cobertos.

Os sacos de cimento devem estar protegidos em local seco e coberto, empilhados e colocados sobre estrados, evitando-se o contato direto com piso.

A areia e o solo para a produção mensal, também, devem estar protegidos das intempéries.

### *Secagem do solo*

O solo para ser manuseado deverá estar com a umidade homogênea e mínima. O tempo necessário para alcançar a umidade mínima varia em função da umidade existente no solo.

O método para realizar essa operação consiste em espalhar uma fina camada de solo em local coberto, revolvido periodicamente, para tornar a umidade final homogênea, tomando o cuidado de deixar o solo sempre em local coberto.

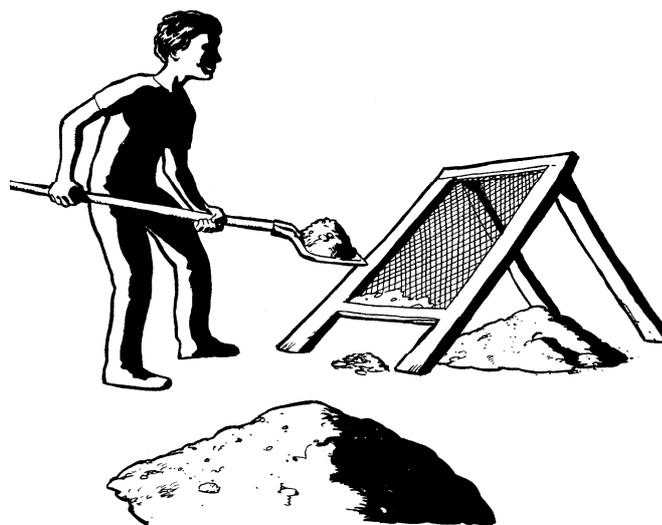
### *Destorroamento*

Os solos argilosos tendem a formar aglomerados mais resistentes, sendo o destorroamento obrigatório para esse tipo de solo. Para o destorroamento é preciso que o solo esteja seco impedindo a aderência do mesmo à máquina ou ferramentas usadas no processo.

Em alguns casos, para se obter a separação máxima das partículas, é necessário repetir varias vezes o processo.

### *Peneiramento*

Depois do processo de destorroamento, será sempre necessário peneirar o solo seco para separar do mesmo partículas com diâmetros entre 5 a 25 mm e matérias vegetais que não podem estar presente na mistura. O peneiramento pode ser feito com o auxílio de peneiras comuns (*Figura 11*).



## Figura 11 - Peneiramento do solo.

### *Dosagem*

A dosagem dos componentes da mistura pode variar de 1:10 a 1:14 de cimento e solo em volume. A mistura deve estar na umidade ótima.

Os caixotes (padiolas) utilizados para a medida do solo, areia e água devem ser proporcionais a um saco de cimento 39 dm<sup>3</sup>; dessa forma, as partidas de tijolos terão sempre a mesma quantidade de cimento.

Não se deve utilizar teores de cimento altos porque as propriedades mecânicas dos tijolos podem ser melhoradas com o aumento da quantidade de cimento na mistura, até um determinado limite, que deve estar na faixa entre 6% do volume para solos arenosos e 14 % para solos argilosos. A partir destes teores, o consumo maior do cimento não aumenta a resistência mecânica dos tijolos, mas aumentam o custo do tijolo.

Para a escolha do traço adequado, moldar, no mínimo, seis tijolos (sendo três para ensaios de compressão e três para ensaio de absorção de água) para cada traço em volume (no mínimo, três traços) e curá-los por sete dias antes de enviá-los ao laboratório.

A amostra ensaiada para resistência à compressão não deve apresentar a média dos valores de resistência à compressão menor que 2,0 MPa (20 kgf/cm<sup>2</sup>) nem valor individual de resistência à compressão inferior a 1,7 MPa (17 kgf/cm<sup>2</sup>) com idade mínima de sete dias e a amostra ensaiada para obtenção dos valores de absorção não deve apresentar a média dos valores de absorção de água maior do que 20%, nem valores individuais superiores a 22%.

### Determinação da Umidade Ótima da Mistura

Existe uma série de ensaios expeditos que permitem o controle da umidade da mistura sem o auxílio de equipamentos; ensaios muito simples, baseados em análises tácteis e visuais de amostras da mistura, como descrito no Capítulo 3.5 - Produção de tijolos - sub-item - Dosagem - pag. 26

### *Homogeneização*

A homogeneização é o processo de misturar o solo, o cimento e a água nas proporções de cada componente, cessando a homogeneização no momento em que a cor do compósito ficar uniforme.

Para melhorar a homogeneização, deve-se passar a mistura no destorroador. Somente após esse processo é que adiciona-se água em gotículas, por chuveiros ou “sprays” na quantidade suficiente para deixar a mistura na umidade ótima.

Após a colocação da água na mistura do solo com o cimento, o tijolo precisa ser prensado em um prazo máximo de uma hora, início de pega dos cimentos.

### *Compactação da mistura*

A pressão de compactação é fator determinante nas propriedades do bloco ou tijolo de solo-cimento. Portanto, é necessário manter pressões constantes e adequadas ao equipamento para uma produção uniforme dos tijolos. Uma forma de controle da pressão é uniformizar a quantidade de mistura disposta na prensa que, também, influencia na dimensão do bloco. Para que não haja variação na quantidade dessa mistura colocada no molde da prensa manual, é necessário quantificá-la. Isso poderá ser obtido utilizando-se um recipiente que irá medir a quantidade da mistura antes de colocá-la no molde, padronizando, assim, a produção dos tijolos.

Os tijolos, após a compactação, devem ser colocados em pallet posicionados ao lado da prensa, evitando - se o transporte das peças ainda frescas.

### *Equipamentos*

Prensas manuais, geralmente, requerem baixo aporte de capital para sua aquisição. Compreendem aquelas derivadas do modelo Cinva-Ram, conforme descrito em 3.5 - Produção de Tijolos - sub-item - Equipamentos - pag 28 com variações e aperfeiçoamentos. Basicamente, um êmbolo acionado por uma alavanca manual, compacta a mistura, disposta na cavidade do molde.

Estas máquinas apresentam baixa taxa de produção, cerca de 1.000 tijolos a cada turno de 8 horas. Apresentam, também, energia de compactação aproximadamente de 1,5 MPa.

São máquinas que não necessitam de serviços complexos de manutenção e grande parte dos reparos requeridos podem ser realizados em pequenas oficinas. Mas, o atrito entre o molde e o solo provoca desgastes nas peças da máquina. Com isso, as prensas manuais necessitam de ajustes periódicos para manter a regularidade das dimensões dos tijolos produzidos.

### *Cura e secagem do tijolo*

Após a prensagem, o tijolo precisa perder, de forma controlada, a água que foi utilizada para conferir-lhe a umidade ideal para moldagem.

A secagem é acompanhada da cura que se inicia após 8 horas da prensagem. Os tijolos devem ser umedecidos diariamente, durante uma semana. A cura dos tijolos de solo-cimento deve ser realizadas em locais cobertos por meio de empilhamento dos elementos, de forma que circule ar entre eles e que todos os tijolos recebam a mesma quantidade de água durante a cura, principalmente, os tijolos colocados na parte central inferior da pilha.

Os tijolos devem ser regados controlando-se os horários, tempo, quantidade de água aspergida, e finalmente deixados em local cobertos.

### *Estoque do produto acabado*

Após o término do período de cura dos tijolos, eles devem ficar protegidos da umidade do solo e das intempéries. As pilhas devem estar acompanhadas dos relatórios da produção e separados pela origem do solo.

Após a fabricação, devem-se aguardar 28 dias para transportá-lo e utilizá-los nas paredes pois somente no fim desse período, os tijolos já terão desenvolvido resistência mecânica compatível com a sua utilização e não apresentarão mais variações significativas de volume em função da secagem.

### *Controle de qualidade no processo produtivo*

São necessários, pelo mínimo, dois ensaios de laboratório e algumas inspeções visuais para o controle do processo produtivo.

#### *Inspeções visuais*

##### *a) Verificações sobre a matéria prima*

- Controle da umidade que deve ser feito em toda extensão do material e ao longo do dia.

##### *b) Verificações durante a produção dos tijolos:*

- regularidade das dimensões;
- perfeição das arestas e das superfícies;
- presença de laminação causada por compactação excessiva;
- presença de fissuras.

### *c) Relatório sobre a produção*

No final de cada produção diária, deve ser preenchido um relatório contendo as seguintes informações:

- Data da produção;
- Horário do início e de término do uso da mistura, determinando-se o tempo para início da cura dos tijolos;
- Condições climáticas no dia;
- Marca do cimento empregado;
- Quantidade de tijolos produzidos pela manhã e à tarde;
- Nome dos funcionários envolvidos em cada uma das tarefas;

Para o controle do processo produtivo são necessários alguns ensaios de laboratório e verificações, durante a produção, sobre a matéria -prima.

### *d) Ensaios de laboratório*

Cada 25.000 tijolos ou quando houver mudança do local de extração do solo deve-se retirar, ao acaso uma amostra de treze tijolos enviando-os ao laboratório, determinando-se a resistência à compressão e a absorção de água.

#### Envio ao laboratório

Deve-se enviar os tijolos ao laboratório após 28 dias de sua fabricação.

Obs. Se os tijolos produzidos não apresentarem os seguintes resultados toda produção deve ser rejeitada:

- a) para resistência à compressão não deve apresentar a média dos valores de resistência à compressão menor que 2,0 MPa (20 kgf/cm<sup>2</sup>) nem valor individual de resistência à compressão inferior a 1,7 MPa (17 kgf/cm<sup>2</sup>) com idade mínima de sete dias e a amostra ensaiada
- b) para obtenção dos valores de absorção não deve apresentar a média dos valores de absorção de água maior do que 20%, nem valores individuais superiores a 22%.

### **5.3 RECOMENDAÇÕES PARA O PROJETO DAS ALVENARIA EMPREGANDO TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO COM FUROS CIRCULARES**

#### *Alvenaria de vedação/estrutural*

Os tijolos de solo cimento podem ser usados tanto em alvenarias simples de vedação quanto em alvenarias estruturais com paredes portantes que vão receber as cargas do telhado.

O projeto deve ter as medidas das paredes dos compartimentos projetados, utilizando-se o módulo dimensional do tijolo, acrescidos de 1,0 cm na horizontal e 2,0 mm na vertical que correspondem à argamassa de assentamento e a junta de dilatação do tijolo, conforme descrito no Capítulo 3.8 - Análise dos manuais - sub-item - Brick Manual, desenvolvido pela Sahara- Ind. e Com. de Máquinas e Equipamentos Ltda. Pág. 43.

#### *Vãos*

Os vãos das portas, janelas, aberturas devem ser dimensionados em função das medidas do tijolo e da argamassa de assentamento para evitar o corte do tijolo, melhorando o acabamento da obra, otimizando o tempo de construção e reduzindo o desperdício.

#### *Revestimentos*

Indicar em projeto que todas as paredes externas devem ser revestidas com 3,0 cm de argamassa e as paredes das áreas molhadas devem receber revestimento com cerâmica e outros.

#### *Cobertura*

Indicar nos projeto os beirais do telhado, com 50,0cm no mínimo, para diminuir a incidência de água proveniente de chuvas.

#### *Instalações*

Locar todos os pontos das instalações elétricas, hidráulicas, caixa de água (apoiada, preferencialmente, sobre paredes) e quadro de distribuição elétrica (quadro de disjuntores) que deverá estar posicionado em local de fácil acesso, nunca dentro de armários ou atrás de portas.

### *Previsão de acréscimos*

Deve-se indicar os locais das ampliações posteriores para a colocação dos reforços necessários das aberturas no momento da construção.

### *Calçamento externo*

Indicar nos projeto calçada, com 50,0cm de largura mínima, em torno das paredes externas para proteção das bases dessas alvenarias da umidade de chuva.

### *Outras informações que devem constar nas plantas:*

- Impermeabilização dos alicerces e das três primeiras fiadas de todas paredes;
- Colocação de vergas e contravergas nas aberturas;
- Presença de cinta de amarração na parte superior de todas paredes.

## **5.4 CONSTRUÇÃO DE ALVENARIA UTILIZANDO TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO COM FURÔS CIRCULARES**

### *Fundação*

As fundações das paredes de tijolos de solo – cimento podem ser executadas com qualquer tipo de fundação tradicional. Elas devem ser confeccionadas em concreto, sem a utilização de tijolos.

### *Impermeabilização*

As fundações da edificação, por constituírem meios potenciais da penetração de umidade nas paredes, devem ser impermeabilizadas cuidadosamente. Para impermeabilizar as fundações das paredes, deve-se capeá-los com argamassa composta por cimento, areia e hidrofugantes tipo Vedacit. Deve-se apenas desempenar essa argamassa, evitando alisar com a colher de pedreiro para ficar com a superfície áspera e, posteriormente, pintá-los com tinta asfáltica.

Todos os tijolos solo-cimento de todas paredes até a 3ª fiadas, acima do alicerce, devem ser assentadas com argamassa composta por hidrofugantes, tipo Vedacit.

O revestimento das paredes externas e internas até 1,0 m de altura deve ser feito com a mesma massa impermeabilizante. Além disso, nas paredes externas, fazer um barrado com altura de 50 cm composto de chapisco e impermeabilizante.

### *Fiada de marcação*

Os tijolos da fiada de marcação devem ser espalhados sobre a fundação já impermeabilizada sem argamassa de assentamento, de maneira a verificar a distribuição dos ambientes, dos vãos de portas, posicionamento das instalações elétricas, hidráulicas, nivelamento e alinhamento da fundação;

É preciso molhar a base de apoio dos tijolos (fundação) antes do assentamento da fiada de marcação;

### *Construção das paredes*

Depois da conclusão da primeira fiada de tijolos, é iniciado o assentamento dos tijolos da alvenaria que vai sendo construída em conjunto com os pilaretes, tubulações, conduítes, pontos de luz, água, esgoto e esquadrias.

Devem-se evitar práticas como a molhagem dos tijolos antes de sua utilização. Quando os tijolos estiverem secos, a molhagem dos elementos deve ser superficial, sem saturá-los.

Os locais onde serão executadas as alvenarias, devem ser abastecidos com a quantidade necessária de tijolos com antecedência. O estoque de tijolos na obra deve ficar coberto com lona plástica protegido das intempéries.

### *Argamassas de assentamento*

A argamassa de assentamento de tijolos de solo-cimento deve ser bem plástica e coesa, permitindo melhor espalhamento e facilitando o seu uso. Deve ter consistência para suportar o peso dos blocos, mantendo-os no alinhamento por ocasião do assentamento. Deve, ainda, ter boa capacidade de retenção de água e, finalmente, permitir correção de eventuais falhas no nivelamento da alvenaria.

Pode-se utilizar dois tipos de argamassa de assentamento, uma constituída por cimento mais solo no traço 1:14 ou cimento, cal e solo no traço 1:3: 12.

Para facilitar o trabalho e a capacidade de retenção de água na argamassa, deve-se deixá-la descansar pelo menos 16 horas antes da adição do cimento.

Deve-se utilizar argamassas de assentamento com resistência compatível com a dos elementos que deve ser no máximo igual e nunca superior à resistência dos tijolos. Desta maneira, as trincas que surgirem, tenderão a seguir as juntas dos tijolos e terão menor espessura de abertura e profundidade. São desaconselháveis aquelas produzidas com cimento, areia e argamassa colante (utilizada na fixação de cerâmicas tipo “Ciment Cola”) que a tornarão rígida, diminuindo-lhe a capacidade de acomodar deformações, provocando trincas nas paredes.

A argamassa de assentamento tem que receber cuidados especiais pois ela é a principal causa de fissuras em paredes de solo-cimento.

É proibido os uso de cola a base de PVA (acetato de polivinila) para assentar tijolos.

### *Juntas de dilatação*

Deve-se procurar limitar o comprimento das paredes de tijolos de solo-cimento no sentido de minimizar a retração acumulada dos elementos que provocam trincas em paredes mais extensas. O comprimento máximo de uma parede ou distância máxima entre as juntas deve ser, no máximo, de 4,0 m.

Na ocasião do assentamento para as movimentações dos tijolos, deve-se deixar uma distância de 2,0 mm entre um tijolo e outro, conforme descrito no Capítulo 3.8 - Análise dos manuais - sub-item - Brick Manual, desenvolvido pela Sahara- Ind. e Com. de Máquinas e Equipamentos Ltda. - pág. 43.

### *Detalhes construtivos em alvenarias de solo-cimento*

#### *Ligação entre paredes*

A ligação entre as paredes tem fundamental importância na garantia da rigidez e estabilidade do conjunto. A ligação dos cantos pode ser feita com o transpasse simples dos tijolos sem cortes, conforme capítulo 4.3 - Técnicas de execução de alvenaria sub – item - Ligação entre paredes pag. 52 ou através de adaptações com grampos colocados nos furos dos blocos e preenchidos com graute, conforme descrito em 4.3 - Técnicas de execução de alvenaria - sub - item Ligação entre paredes - pag. 52.

### *Pilaretes*

O conjunto de furos dos tijolos permitem a colocação interna de concreto que vai realizar o intertravamento formando pequenas colunas de estabilização da alvenaria, aumentando a capacidade de compressão das alvenarias, reforçando a região das aberturas de portas, janelas e enrijecendo as paredes da construção

Nos furos de cada uma das extremidades da construção, no encontro das paredes e em torno das aberturas, serão colocados micro concreto (graute) e uma barra de 6,3 mm de diâmetro engastadas, desde a fundação até a extremidade superior da cinta de amarração, conforme descrito em 4.3 - Técnicas de execução de alvenaria - sub - item - *Pilaretes* - pag. 54.

O trespasse mínimo (sobreposição) das barras de aço deve ser de 25 cm.

Para evitar vazios na concretagem, o preenchimento dos furos dos tijolos deve ser feito na 3<sup>a</sup>, 12<sup>a</sup>, 21<sup>a</sup>, 30<sup>a</sup> e 39<sup>a</sup> fiadas, iniciando a concretagem na fundação e terminando na cinta de amarração.

Antes do preenchimento dos furos dos tijolos com graute (*Figura 12*), eles devem estar limpos, sem argamassa de assentamento no seu interior e umedecidos para que a água do concreto não seja absorvida pelo tijolo, prejudicando, assim, a hidratação do cimento e comprometendo a resistência mecânica do concreto.



Figura 12 - Preenchimento dos furos com graute

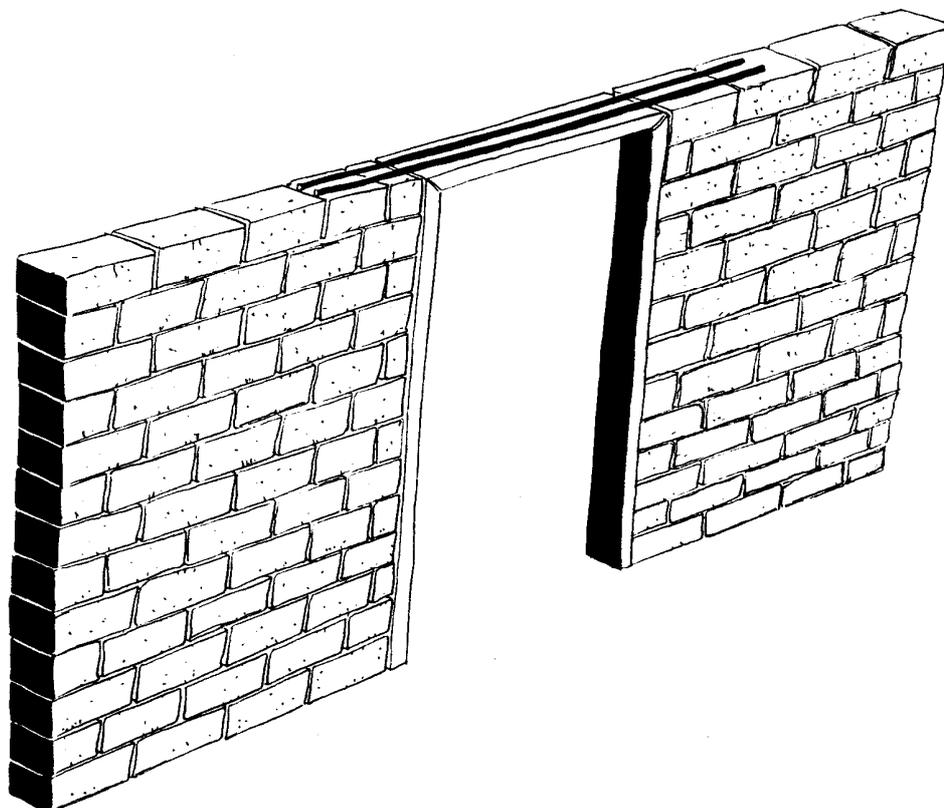
### *Graute*

Utilizar o graute fino para preenchimento dos furos dos tijolos conforme descrito em 3.6 - Técnicas de execução de alvenarias - sub - item - *Pilaretes* - pag. 37.

### *Vergas e contravergas*

Nos locais preferenciais ao aparecimento de trincas como as aberturas de portas e janelas alguns cuidados especiais precisam ser tomados; deve-se empregar armações suplementares sobre e sob as aberturas de portas e janelas chamadas vergas e contravergas

Essas armações suplementares deverão avançar, no mínimo, um tijolo e meio em cada lado das aberturas (*Figura 13*).



## Figura 13 – Verga

### *Cintas de amarração*

As cintas de amarração em concreto armado são dispostas sobre todas as paredes tendo como objetivo travar todas as alvenarias da construção e distribuir, uniformemente, as cargas atuantes na laje. Devem ser contínua e armada com pelo menos duas barras de aço com diâmetro de 6,3 mm. A altura da cinta deve ser superior a 20 cm e possuir a mesma largura dos tijolos das paredes.

Antes da concretagem da cinta, deixar livre as passagens dos canos e eletrodutos.

### *Revestimento das paredes*

A argamassa de revestimento das paredes é a mesma utilizada no assentamento dos tijolos constituída por cimento, cal e solo no traço 1:3:12 e deve ser utilizada em todas as paredes externas com, no mínimo, três cm de espessura. Para facilitar o trabalho e aumentar a capacidade de retenção de água na argamassa, deve-se deixá-la descansar, pelo menos, 16 horas antes da adição do cimento.

Para que haja aderência entra argamassa de revestimento e o tijolo de solo-cimento, a parede deve ser umedecida previamente, evitando que o tijolo absorva a água existente na argamassa.

As paredes devem receber as mesmas preocupações de manutenção dedicadas às alvenarias convencionais, pinturas periódicas etc.

### *Instalações elétricas*

Os eletrodutos, caixas de passagem e quadro de disjuntores das instalações elétricas são colocados durante o levantamento das paredes, utilizando-se os furos dos tijolos.

### *Instalações hidráulicas*

As tubulações para os pontos das redes de hidráulica locados em planta, inclusive a de entrada da caixa de água e conexões são colocados durante o levantamento das paredes juntamente com as instalações elétricas, utilizando-se os furos dos tijolos.

### *Cobertura*

Após a conclusão das cintas de amarração, deve-se colocar o telhado imediatamente, para evitar a incidência de chuvas sobre as paredes concluídas, deixando beirais com dimensão mínima de 50 cm de projeção para proteção das bases das alvenarias.

## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Por meio da pesquisa bibliográfica e após investigação realizada sobre a aplicação do tijolo de solo-cimento na construção de habitações, observou-se que o emprego desse tijolo apresenta características de desempenho semelhantes ao apresentado pelos tijolos cerâmicos comuns. Embora sejam semelhantes, o uso do solo-cimento proporciona uma redução em torno de 28 % nos custos finais das obras. Essa redução no custo da construção deve-se ao baixo investimento de implantação da unidade produtora de tijolos, à obtenção de paredes bem alinhadas e aprumadas e, ainda à facilidade para construção, proporcionando uma obra simples com número reduzido de profissionais, se comparado com obras convencionais que utilizam tijolos cerâmicos comuns.

Como toda construção, alguns aspectos devem ser considerados no sentido de minimizar as patologias mais comuns: fissuras por efeito de retração, desgaste superficial e percolação de umidade através de paredes.

Durante a fabricação dos tijolos, é necessários alguns cuidados tais como: escolha do solo, umidade ótima, compactação, secagem, armazenamento e transporte.

A escolha do solo tem grande importância porque é o componente de maior quantidade na mistura, influenciando diretamente na qualidade e no custo final do tijolo produzido. O solo deve ser sempre arenoso ou necessitar de pouca quantidade de areia para corrigir sua granulometria.

Para que não haja variações nas partidas dos tijolos produzidos, o importante é que sejam cumpridas todas as etapas sem descartar nenhuma, desde o armazenamento da matéria prima, até o controle no processo produtivo. Torna-se necessário, também, repetir os mesmos procedimentos em todas os estágios de fabricação, porque a uniformidade dos tijolos influenciará diretamente na rapidez do trabalho executado, minimizará as patologias mais comuns e, conseqüentemente, incidirá de modo positivo nos custos final da obra.

Para se evitar desperdícios, é imprescindível a existência de um projeto que determinará o tamanho dos cômodos (largura e comprimento) pois as dimensões das paredes serão moduladas em função do tijolo inteiro e do meio tijolo.

As técnicas utilizadas para a execução de paredes com tijolos de solo-cimento é similar à empregada nas alvenarias com tijolos maciços, já amplamente difundida pelo uso. No entanto, para evitar a ocorrência de trincas e um melhor desempenho das alvenarias de tijolos de solo-cimento, torna-se necessário reforçar as aberturas com vergas, contravergas e limitar a dimensão das paredes a 4,0 m.

Durante a obra, ressalta-se a importância de se tomar cuidados especiais para minimizar as variações dimensionais dos tijolos em função da umidade: mantê-los cobertos na obra, impermeabilizar os alicerces, utilizar argamassas de assentamento fracas e revestir com argamassa todas paredes externas e internas das áreas molhadas.

A tecnologia para a fabricação e uso dos tijolos de solo-cimento mostrou-se simples, sendo um material alternativo para a construção habitacional e acessível à população em geral.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. *Dosagem de solo melhorado com cimento Atual*. São Paulo, 1983.(ET-53).

ABCP- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. *Geologia Aplicada a solo-cimento*. São Paulo, 1981.(ET-19).

ABCP- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND . *Solo – Cimento na Habitação Popular*, 3ª .ed. 10 p 1990. .(ET-19).

ABCP- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND . *Fabricação de Tijolos de Solo-Cimento com Prensas Manuais*, 1ª.ed. 5 p, 1985. (BT-111).

ABCP- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND . *Fabricação de Tijolos de Solo-Cimento com Prensas Hidráulicas*, 1ª.ed. 5 p, 1985. (BT-112).

ABCP- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND . *Terreiros de Solo-Cimento para Secagem de Café*, 1<sup>a</sup>.ed. 15 p, 1988. (BT-116).

ABIKO, A K *Tecnologias apropriadas: tijolos e paredes monolíticas de solo – cimento* .São Paulo, 1980.121p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da USP.

ARINI, R – *Arquitetura de Terra e as Habitações de Interesse Social*. In: WORKSHOP, São Paulo, 1995, Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo Departamento de Tecnologia da Arquitetura Faculdades de Arquitetura E Urbanismo Universidade de São Paulo, 1995. p82-94.

AZAMBUJA, Marco A. – *Geologia aplicada a solo-cimento*. 2. ed. São Paulo, ABCP, 1981. 66p. (ET-19).

AZEREDO, H. A – *O Edifício até sua Cobertura*. São Paulo, Editora Edgard Blucher LTDA. 1977 180 p.

CARVALHO, A. R. O.; POROCA, J. S.– *Como fazer e usar tijolos prensados de solo estabilizado* Instituto Brasileiro de Informação em Ciências e Tecnologia Brasília. Brasília, 1995. p.20.

CARVALHO P. A S..et al. *Taludes de rodovias*.São Paulo, IPT, 1991.

CENTRO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO DA BAHIA-CEPED - *Manual de construção com solo-cimento* 4<sup>a</sup> ed São Paulo, ABCP, 1999.114 p. (MT-5).

CINVA. COLOMBIA. Centro Interamericano de Vivienda y Planeamiento. . *Suelo-cemento; su aplicación en la edificación*. Bogotá, 1963.

FARIA, João Roberto Gomes de José – *Unidade de Produção de Tijolos de Solo Estabilizado*, São Paulo, 1990.86 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos Universidade de São Paulo USP Departamento de Arquitetura e Planejamento Engenharia.

FARIA, João Roberto Gomes de José – *Unidade de Tijolos de Solo Estabilizado*. In: WORKSHOP, São Paulo, 1995, Núcleo de Pesquisa em tecnologia da Arquitetura e Urbanismo Departamento de Tecnologia da Arquitetura Faculdades de Arquitetura E Urbanismo Universidade de São Paulo, 1995. p125-140.

FERRAZ JÚNIOR, Francisco de Assis Carvalho – *Equipamentos modernos para a produção de tijolos de terra pensada*. In: WORKSHOP, São Paulo, 1995, Núcleo de Pesquisa em tecnologia da Arquitetura e Urbanismo Departamento

de Tecnologia da Arquitetura Faculdades de Arquitetura E Urbanismo Universidade de São Pulo, 1995. p 164 -179.

FILIPPO F. A G *Solo cimento estudo com o latosol vermelho amarelo fase terra; coexistente em Guaratinguetá Estado de São Paulo*. São Paulo, 1973. 99p. Tese de (Doutorado) Universidade Estadual Paulista. Faculdade De Engenharia De Guaratinguetá, Guaratinguetá.

FILIPPO F. A G *Tijolo de solo cimento com o latosol vermelho amarelo fase terra coexistente em Guaratingueta Estado de São Paulo*. São Paulo, 1975. 121p. Tese (Livre Docência). Universidade Estadual Paulista. Faculdade De Engenharia De Guaratinguetá, Guaratinguetá.

GRANATO J.E. *Ensaio de aderência de argamassa aditivada com polímeros*. Impermeabilizar São Paulo 3p Jul. 1989.

HELENE, P.R.L.. *Estudo de Fissuras em Paredes de Tijolo de Solo-Cimento Destinadas a Edificações Habitacionais EPUSP , 1991 (PCC - Boletim Técnico 108)*.

HOUBEN. FRANÇA. Ministere des Affaires Culturelles. Unité Pedagogique d'Architecture de Grenoble. *Minimôme découvre la terre*. Grenoble, 1975. 359 p.

ICPA. INSTITUTO DEL CEMENTO PORTLAND ARGENTINO - BOLETIN, Buenos Aires, Z(32), mar. /abr. 1973.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. *Tecnologia de Edificações*. 1.ed São Paulo, Editora Pini Ltda., 1988.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. *Manual de Tipologias de Projeto e de Racionalização das Intervenções por Ajuda Mútua*. São Paulo, 1988.

MERRIL, A. F. *Casas de tierra apisonada y suelo-cemento*. Buenos Aires, Windsor, 1949.

MORAES, M B *Estudo das trincas em paredes de alvenaria auto-portante de tijolos e blocos de solo-cimento*. São Paulo, 1982.82 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da USP.

NASCIMENTO, A A P *Estudo de fissuras em paredes de tijolos de solo-cimento destinadas a edificações habitacionais*. São Paulo, 1992.137p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da USP.

NBR 10832 / 1989 FABRICAÇÃO DE TIJOLOS MACIÇO DE SOLO-CIMENTO COM A UTILIZAÇÃO DE PRENSA MANUAL 1989.

NBR 10833 / 1989 FABRICAÇÃO DE TIJOLOS MACIÇO E BLOCO VAZADO DE SOLO-CIMENTO COM A UTILIZAÇÃO DE PRENSA HIDRÁULICA.

NBR 8491/ 1984 TIJOLO MACIÇO DE SOLO-CIMENTO Especificação.

NBR 8492/ 1984 TIJOLO MACIÇO DE SOLO-CIMENTO – DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E DA ABSORÇÃO D'ÁGUA Método de ensaio.

O BÁSICO SOBRE BOTÂNICA, São Paulo, out.2002. Disponível em <http://www.terravista.pt/guin>.

PETRUCCI, E.G. R. Concreto de cimento Portland 7. ed Porto Alegre, Editora Globo, 1980.

PINTO, C.S 2001 *Comunicação pessoal* São Paulo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Nov. 2001.

PINTO,C.S. *Evolução das pesquisas de laboratório sobre solo-cimento*. 4<sup>a</sup> ed. São Paulo, 1980. 22p ABCP. Associação Brasileira de Cimento Portland.

SEGANTINI, A. A. S. *Utilização de solo-cimento em estacas apiloadas para obras de pequeno porte*.Campinas, 1994.96p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Agrícola UNICAMP.

SAHARA 2000, SAHARA, INDUSTRIA E COM. DE MAQUINAS E EQUIPAMENTOS LTDA. *Brick O tijolo ecológico e o sistema construtivo modular* .São Paulo 2000.

SOUZA, R. et al. *Qualidade na Aquisição de Materiais e Execução de Obras*. 1. ed. São Paulo, Editora Pini Ltda., 1996.

TAUIL, C.A.; RACCA,C.L. *Alvenaria Armada* São Paulo , Projeto Editores Associados Ltda, 1981 125 p.

THOMAZ, E. *Trincas em Edifícios* São Paulo, Editora Pini Ltda, 1990.

THOMAZ, E. R. et al. *Paredes de Vedação em Blocos Cerâmicos Manual de Execução*. São Paulo, Instituto de Pesquisa Tecnológica de São Paulo IPT, 1988.53 p.

VARGAS, Milton - *Identificação e classificação dos solos*. 5. ed. São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998.28p (BT – 130).

YAZIGI, W. *A Técnica de Edificar*. 1. ed. São Paulo, Editora Pini Ltda., 1998.

