

4 CONSTRUÇÃO COM TERRA CRUA

**Autores: NORMANDO PERAZZO BARBOSA
ROMILDO DIAS TOLÊDO FILHO
KHOSROW GHAVAMI**

I - INTRODUÇÃO

A terra crua foi um dos primeiros materiais de construção empregados pelo homem. De fato, há cerca de dez mil anos, com o advento da agricultura, deixou ele de ser nômade para aguardar o tempo das colheitas e assim, teve necessidade de edificar as primeiras casas para abrigar-se das intempéries. Evidentemente os materiais usados foram aqueles ofertados pela natureza tais como pedras, madeira, palhas e a própria terra. Com esses materiais, ao longo dos milênios, foram edificadas casas, palácios, templos e fortificações por todas as grandes civilizações da história.

Com o advento dos materiais industrializados, os materiais tradicionais foram sendo esquecidos ou mesmo rejeitados pelas classes de maior poder aquisitivo. Assim, as tecnologias de construção com terra foram sendo esquecidas, pois os pobres que delas ainda faziam uso tiveram dificuldade em transmiti-las corretamente através das gerações. Como exemplo, pode-se citar a técnica de construção das casas de taipa que povoam as periferias das cidades e a zona rural do país, sobretudo do Nordeste. Da forma que as mesmas são construídas, resultam em habitações de péssimo aspecto estético, com paredes cheias de fissuras e com reduzida durabilidade. Pode-se dizer que elas representam o que não deve ser feito com os materiais tradicionais. O que é mais grave, é que o material terra crua passou a ser associado à pobreza, gerando, conseqüentemente, dificuldades de se resgatar seu uso generalizado e com tecnologia adequada.

Com as crises do petróleo na década de 70, percebeu-se que a energia não era inesgotável. Além disso, observou-se que o meio ambiente não podia comportar toda a carga de poluição proveniente das indústrias. Surgiu então a idéia de aproveitamento dos materiais tradicionais (agora ditos não-convencionais) que consomem pouca energia, não poluem, podem ser mais baratos e, em alguns casos, mais apropriados que os materiais industrializados. É o caso da terra crua. A importância crescente que está tendo a terra crua como material de construção pode ser constatada pela recente criação do comitê técnico TC-EBM (Technical Committee Mechanics of Earth as Building Material), da RILEM (Reunion Internationale des Laboratoires d'Essais et de Recherches sur les Materiaux et les Constructions).

As qualidades desse material tais como ser não poluente, apresentar excelentes propriedades térmicas e baixo consumo energético para sua produção, somadas a sua disponibilidade e a *facilidade de gerar uma tecnologia apropriada e de baixo custo*, pode vir a ajudar na redução do problema habitacional existente nas cidades e no campo, bem como suprir a necessidade de instalações rurais nos países em desenvolvimento.

Sendo a terra um dos primeiros materiais de construção utilizados pelo homem, é natural que existam numerosas formas de seu emprego, podendo-se contar mais de vinte além de suas variantes locais. O presente trabalho destaca duas dessas formas, quais sejam: tijolos de adobe e tijolos prensados. Antes, porém, serão abordados alguns aspectos do material terra em geral.

II - O MATERIAL TERRA

Quimicamente os componentes principais da terra são sílica (SiO_2), alumina (Al_2O_3) e hematita (Fe_2O_3), havendo ainda a presença de outros óxidos como potássio, sódio, titânio, cálcio, magnésio, etc. A percentagem desses componentes varia de acordo com o tipo de solo. As areias, por exemplo, são muito ricas em sílica (90 % ou mais),

enquanto que as argilas apresentam maior percentagem de alumina e hematita. De fundamental importância para a construção com terra é o conhecimento da sua composição granulométrica, objeto do item a seguir.

Composição Granulométrica

Os solos são materiais que resultam do intemperismo das rochas por desintegração mecânica (através de agentes como ventos, chuvas, rios, marés, geleiras, variações de temperatura, vegetação, etc.) e química. A água é o principal agente para a modificação química ou mineralógica das rochas de origem e os mais importantes mecanismos de ataque são a oxidação, hidratação, carbonatação e os efeitos químicos da vegetação [Caputo, 1980]. No domínio da construção com terra, é importante o conhecimento das dimensões das partículas que compõem o solo, pois seu comportamento mecânico depende delas. Usando como critério o diâmetro médio das partículas, os solos são classificadas em [NBR 7181]:

- *pedregulho* - partículas de dimensões entre 4,8 e 50 mm
- *areia* - partículas de dimensões entre 50 μm e 4,8 mm.
- *silte* - partículas finas entre 5 μm e 50 μm
- *argila* - partículas com dimensões inferiores a 5 μm .

Diferenças nessa classificação ocorrem entre normas de diferentes países, conforme mostra a Tabela 4.1.

TABELA 4.1 - Classificação das partículas do solo segundo normas de diversos países.

Partícula	Brasil	USA	França	Inglaterra
pedregulho	4,8 a 50 mm	2 a 50 mm	2 a 20 mm	2 a 60 mm
areia	50 μm a 4,8 mm	75 μm a 2 mm	20 μm a 2 mm	60 μm a 2 mm
silte	5 a 50 μm	5 a 75 μm	2 a 20 μm	2 a 60 μm
argila	<5 μm	<5 μm	< 2 μm	< 2 μm

O *pedregulho* e a *areia* constituem o esqueleto sólido do material terra. A fração arenosa apresenta grande capacidade de mobilizar atrito interno, através do contato entre os grãos. No estado compactado é praticamente incompressível. Nos tijolos de terra crua é indispensável a presença da areia para lhes dar a estrutura resistente aos esforços mecânicos.

A presença do *silte* no solo permite tanto uma diminuição do atrito interno dos grãos quanto seu rearranjo quando o solo sofre uma pressão de compactação.

A *argila*, sendo o último estágio de fracionamento da terra, é formada de partículas de forma lamelar, com uma superfície específica muito superior a dos demais componentes do solo. São quimicamente ativas, reagindo com os componentes da cal e do cimento. Sua presença nos tijolos é necessária para dar coesão ao bloco ainda úmido. Existem três tipos principais de argilas: *caulinita*, *ilita* e *montmorilonita*. A caulinita é geralmente estável em contato com a água. A ilita não é completamente estável em

presença de água e pode aumentar de volume. A montmorilonita é instável em contato com a água experimentando significativa expansão volumétrica [Houben e Guillaud, 1994].

A água no solo

Uma amostra típica de solo é composta de três fases distintas [Lambe e Whitman, 1979]: sólida (as partículas minerais), líquida (usualmente água) e gasosa (as bolhas de ar e de vapor d'água). Os grãos, que constituem o esqueleto sólido do solo, representam sempre uma fase independente. Dependendo da quantidade relativa de água e ar dentro dos poros do solo, as fases líquida e gasosa podem constituir uma fase única. Na terra a ser prensada para fabricação de tijolos, a mobilidade das partículas sólidas depende da fase fluida (fundamentalmente da água). Embora seja difícil separar os diferentes estados em que a água se apresenta nos solos, é importante estabelecer uma distinção entre os mesmos. De acordo com Caputo [Caputo, 1980] a água contida no solo pode ser classificada em:

- *água de constituição* - é a que faz parte da estrutura molecular da partícula sólida;
- *água adsorvida* - é a película de água que envolve e adere fortemente à partícula sólida;
- *água livre* - é a que enche todos os vazios do solo, sendo seu estudo regido pelas leis da hidráulica;
- *água higroscópica* - é a que se encontra em um solo seco ao ar livre. Corresponde à umidade de equilíbrio do solo com o meio ambiente;
- *água capilar* - é aquela que nos solos de grãos finos sobe pelos interstícios capilares deixados pelas partículas sólidas, além da superfície livre da água.

As águas livre, higroscópica e capilar são as que podem ser totalmente evaporadas pelo efeito do calor a temperaturas superiores a 100 ° C. São elas que serão consideradas daqui por diante.

A quantidade de água presente no solo define os limites de consistência do mesmo. Esses limites são baseados no conceito de que partindo-se do estado completamente seco e pouco a pouco adicionando-se água, um solo de grãos finos pode existir em um dos quatro diferentes estados mostrados na Figura 4.1.

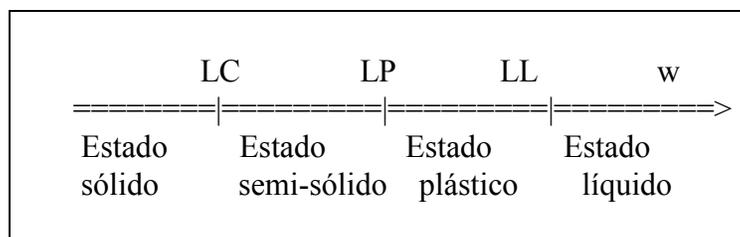


FIGURA 4.1 - Estados por que passa o solo aumentando-se o teor de umidade.

O solo, sem água que não seja a de constituição, tem os seus grãos separados. A medida que adiciona-se água, esta vai aglutinando o material e este passa para o estado semi-

sólido. Neste estado, os grãos podem ser separados ao se trabalhar a terra. Continuando-se a adicionar água, chega-se ao estado plástico, em que o solo pode ser moldado e conservar sua forma. Adicionando-se mais água, o solo passa, praticamente, ao estado líquido. Os teores de umidade (w) nas fronteiras entre os estados adjacentes são chamados de *limite de contração* (LC), *limite de plasticidade* (LP) e limite de liquidez (LL). A diferença entre os limites de liquidez e de plasticidade é denominada de *índice de plasticidade* (IP). Ele define uma zona em que o solo se encontra no estado plástico e por ser máximo para as argilas e nulos para as areias, fornece um critério para se definir o caráter argiloso de um solo. Assim, quanto maior o IP, tanto mais plástico será o solo [Caputo, 1980].

Os limite de plasticidade e de liquidez do solo recebem o nome de limites de Atterberg, estudioso sueco que primeiro os sugeriu. A determinação desses valores é feita através de ensaios normalizados [NBR 7180 e NBR 6459]. Os solos que apresentam pouco finos (solos arenosos) são ditos não plásticos e não servem à fabricação de tijolos de adobe e de blocos prensados.

Densidade seca

Um parâmetro constantemente utilizado no estudo dos tijolos de terra crua é a densidade seca do solo, γ_d , que corresponde ao peso da fração sólida dividida pelo volume total em questão, ou seja, é a densidade tendo sido eliminada a água (livre, higroscópica e capilar). Essa densidade seca é também chamada de peso específico aparente do solo seco. Se P é o peso de uma determinada quantidade de solo (ou de um tijolo) com a umidade w (peso de água dividida pelo peso da parte sólida) e V o seu volume:

$$\gamma_d = \frac{P}{(1+w).V} = \frac{\gamma_{ap}}{(1+w)} \quad (4.1)$$

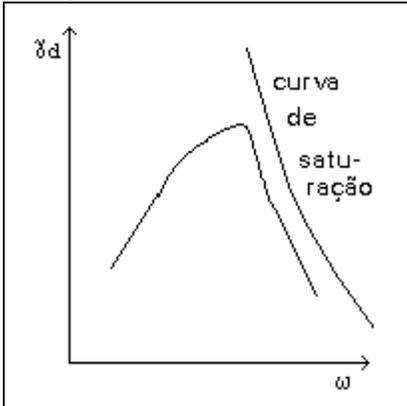
sendo γ_{ap} a densidade (ou peso específico) aparente (peso úmido ou peso total dividido pelo volume total).

Curvas de compactação

Entende-se por compactação de um solo, o processo manual ou mecânico que visa reduzir o seu volume de vazios e, assim, aumentar sua resistência, reduzir sua permeabilidade, compressibilidade e capacidade de absorção de água, tornando-o mais estável. Para a compactação do solo ser eficiente, ela deve ser executada num teor de umidade tal que assegure uma boa lubrificação dos grãos de tal forma que eles possam ser rearranjados para ocupar o menor espaço possível. Além do teor de umidade, a energia de compactação e a granulometria do solo também influenciam no processo de compactação [Houben e Guillaud, 1994].

Para uma mesma energia aplicada ao solo, a densidade seca resultante depende da quantidade de água presente por ocasião da compactação. Existe um valor, chamado de umidade ótima, com a qual se obtém a máxima densidade seca. Na mecânica dos solos utiliza-se o ensaio de compactação (*ou ensaio de Proctor*) para se determinar a umidade

ótima. O teste consiste em compactar uma amostra de solo contida em um recipiente cilíndrico, com aproximadamente 1000 cm^3 , em três camadas sucessivas. Cada camada sofre a ação de 25 golpes de um soquete, pesando 2,5 kg, caindo de uma altura de 30 cm [ABNT-MB-33]. Fazendo-se variar a umidade, obtém-se as curvas de compactação que têm o aspecto indicado na Figura 4.2. A curva de compactação pode ser explicada considerando-se que a medida que o teor de umidade cresce, até o valor ótimo, o solo torna-se mais trabalhável, resultando maiores densidades secas e menores teores de ar. Como não é possível expulsar todo o ar existente nos vazios do solo, a curva de compactação nunca atinge a curva de saturação (curva teórica de volume de ar igual a zero).



A partir do valor ótimo, o aumento da quantidade de água vai fazer decrescer a densidade seca (ver equação 4.1 e o ramo descendente da curva mostrada na Figura 4.2), resultando no ramo descendente da curva. A curva de saturação é um limite para a o ensaio de compactação. Ela é importante porque corresponde a um limite do teor de umidade para a fabricação de tijolos prensados. O solo saturado não pode ser mais compactado, visto serem as partículas sólidas e a água praticamente incompressíveis.

O ensaio de Proctor aplica ao solo pressões dinâmicas que não ocorrem no processo de prensagem dos tijolos cuja compactação é estática. Diante disso, foi desenvolvido no Laboratoire Geomatériaux, da Ecole Nationale de Travaux Publics de l'Etat, Lyon, França, um ensaio de compactação estática. O equipamento consiste de dois meio cilindros, fixos por um eixo exterior que possibilita um deslocamento independente de dois pistões de compactação, um por cima, outro por baixo do cilindro. A quantidade de terra a se colocar nos moldes deve ser tal que permita obter uma altura de 1,2 a 1,5 vezes o diâmetro. Olivier [Olivier, 1994] apresenta uma descrição detalhada desse equipamento.

Estabilização do solo

A estabilização do solo consiste em modificar as características do sistema solo-água-ar com a finalidade de se obter propriedades de longa duração compatíveis com uma aplicação particular [Houben e Guillaud, 1994]. No caso dos tijolos crus, a estabilização pode ser necessária para:

- melhorar a sua resistência mecânica
- melhorar sua performance quanto à ação da água
- melhorar sua tenacidade

Existem vários procedimentos para a estabilização da terra, podendo-se citar [Houben e Guillaud, 1994]:

- *estabilização mecânica* capaz de densificar a terra a tal ponto que fiquem bloqueados os poros e os canais capilares resultando em mudanças na densidade, resistência mecânica, compressibilidade, permeabilidade e porosidade do solo.

- *criação de uma armadura multi-direcional* capaz de reduzir os movimentos dos grãos de solo entre si. Isto pode ser conseguido, por exemplo, com a adição de fibras naturais ao solo. Embora as fibras não aumentem significativamente a resistência mecânica nem reduzam a perda de massa do solo em presença da água, conduzem a notável melhoria na sua tenacidade.

- *criar um esqueleto sólido* inerte que se oponha ao movimento dos grãos. Isto é conseguido usando-se ligantes, como o cimento, que promovem uma consolidação por cimentação dos grãos através do preenchimento dos vazios do solo. O solo estabilizado com cimento, ou outros ligantes, garante sua durabilidade em presença de água.

- *formar ligações químicas estáveis entre os cristais de argila*: é o caso de certos estabilizantes químicos, que, fazendo o papel de ligante ou de catalisador, utiliza as cargas positivas e negativas das lamelas de argila para uni-las entre si, ou de estabilizante capaz de reagir diretamente com a argila presente no solo formando material insolúvel e inerte. Este último caso é o que se chama reação pozolânica, obtida notadamente com a cal.

- *envolver os grãos de terra por uma fina camada de imaterial impermeabilizante*, capaz de fechar poros e canais capilares: é o caso do uso de emulsões betuminosas.

- *eliminar ao máximo a absorção e adsorção* de água por parte dos grãos de solo por utilização de produtos repelentes de água.

Os estabilizantes mais usados são: fibras, cimento, cal e emulsões asfálticas. A estabilização com fibras, tem sido muito empregada ao longo da história da humanidade. A própria Bíblia fez referência aos tijolos de adobe com palhas de trigo secos ao sol, muito empregados na Mesopotâmia e Egito antigo. Mesmo hoje, nas modernas produções industriais de adobe, no Novo México, Estados Unidos, usam-se palha e emulsões betuminosas na estabilização dos blocos.

O principal papel desempenhado pelas fibras no solo é:

- impedir a fissuração durante a secagem, distribuindo as tensões devidas à retração da argila em toda a massa do material;

- melhorar o comportamento do material após fissuração, dando-lhe ductilidade e capacidade de absorver energia

- melhorar a resistência à tração e conter a propagação de fissuras.

No Nordeste brasileiro existem, em abundância, fibras de sisal e de coco. Cortadas em tamanhos apropriados (de 2 cm a 5 cm) podem ser usadas como reforço do solo em taxas de 0,5% a 2% em peso [Toledo Filho *et al*, 1990; Sousa, 1993].

A estabilização com cimento é uma das mais simples de serem efetuadas. Em geral, a adição de cerca de 6% de cimento ao solo já produz resultados satisfatórios. Alguns solos requerem teores de cimento menores (na ordem de 3%) enquanto que outros exigem teores de cimento variando de 6% a 12%, dependendo, principalmente, da sua composição granulométrica.

O tipo de argila presente no solo tem influência significativa no resultado da ação do cimento. A caulinita e a ilita reagem bem. Já a montmorilonita, que tem uma ligação interfoliar fraca, fixa toda a cal disponível e torna impossível a formação dos produtos hidratados do cimento [Albenque *et al*, 1982]. Um solo com alto teor de montmorilonita pode ter sua resistência inalterada, ou mesmo decrescente com o tempo, quando tratada com cimento. Também a presença de matéria orgânica dificultam as reações do cimento.

Taxas de matéria orgânica no solo superiores a 1% representam um risco para a estabilização com esse material.

A estabilização com a cal é mais complexa pois três tipos de reações químicas podem ocorrer [Olivier, 1994]:

- *carbonatação* - a cal adicionada ao solo reage com o gás carbônico presente no ar para formar o carbonato de cálcio. As ligações resultantes são fracas pois a cristalização é geralmente incompleta. Na medida do possível, deve-se evitar que ocorra esta reação, tentando-se impedir a entrada do gás carbônico tanto na cal antes de ser usada quanto durante a cura dos tijolos estabilizados.

- *cristalização* que consiste no ataque da argila pela cal, particularmente dos ions Si^{++} que se encontram no interior das lamelas de argila. Esta reação é muito lenta e cria ligações muito sólidas rearranjando o interior das lamelas através da criação de ligações entre grãos muito mais estáveis e semelhante aos cristais formados pelo cimento. Quanto mais frágil a ligação interfoliar, maior a facilidade da penetração da cal, o que explica o bom resultado da estabilização da montmorilonita com esse material.

- *hidratação da cal e floculação*: o hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$), sendo altamente alcalino, modifica o pH do solo provocando floculação das argilas em razão das reações de troca de cátions. Esta reação é muito rápida (se dá em alguns minutos) e um material muito argiloso tem modificados os limites de Atterberg, tornando-se mais fácil de ser manuseado.

De uma maneira geral, maiores cuidados são necessários com a estabilização com cal que com cimento. Além do ambiente úmido necessário para a hidratação dos ligantes, no caso da cal, convém impedir a penetração do gaz carbônico. É também necessário que a cal seja de boa qualidade, o que nem sempre acontece com os produtos disponíveis no mercado. Em ambientes de alta umidade é necessário protegê-la bem pois do contrário ela perde parte de sua atividade.

No caso de tijolos prensados estabilizados com cal ou com cimento ocorre pequena diminuição da densidade seca em relação ao material no seu estado natural.

III - TIJOLOS DE ADOBE

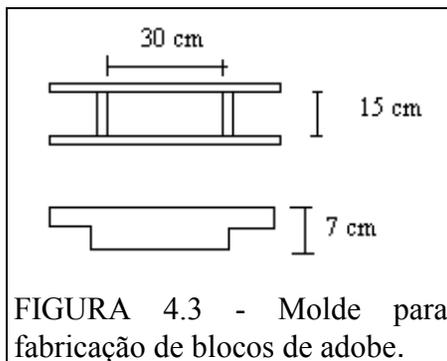
Os blocos de adobe são conhecidos desde os primórdios da humanidade, constituindo-se em um dos mais simples processos pelos quais os materiais de construção são produzidos. Na África e em alguns países Latino-americanos, eles representam a tradição da construção com terra. Nos Estados Unidos, onde já existe produção industrial, eles representam, no entanto, a modernidade.

O Nordeste brasileiro também empregava muito o tijolo cru. Entretanto, com o surgimento das olarias mecanizadas, passou-se a utilizar os tijolos queimados. Assim, as técnicas de fabricação e de construção com adobes foram sendo esquecidas. Os tijolos crus não são resistentes à água como os queimados, dizem todos, sem lembrar que em muitas paredes, os tijolos, de qualquer tipo que sejam, pouco serão submetidos à sua ação. Com uma proteção adequada ou com o uso de estabilizantes terão a durabilidade necessária. Portanto, aliando-se um material antigo, como a terra, com outros modernos,

como o cimento, a emulsão asfáltica, etc, pode-se chegar a produtos que, devidamente estudados, poderão inspirar a confiança dos usuários.

Os adobes são produzidos com umidade relativamente elevada (próxima do limite de liquidez), em processos manuais ou mecanizados. O teor de umidade é uma variável importante, uma vez que se ela é baixa existe a possibilidade de se formar torrões de terra que se aglomeram de forma independente, não se unindo adequadamente à terra já posta no molde. Se o teor de umidade for muito alto, haverá uma acentuada retração do tijolo durante o processo de secagem, podendo haver o aparecimento de fissuras. Ademais, poderá haver uma redução na resistência do bloco devido ao aumento da porosidade provocada pela evaporação da água em excesso. Fibras ou palhas são freqüentemente adicionadas ao solo com a finalidade de conferir tenacidade ao material.

Diversas variações nos moldes para produção de blocos de adobe podem ser encontradas. A Figura 4.3 mostra uma delas. A profundidade do molde não deve ser muito superior a 10 cm uma vez que profundidades maiores podem conduzir a uma homogeneização inadequada durante o processo de moldagem. Na Europa, a largura recomendada para blocos de adobe é da ordem de 20 cm, embora blocos de 15 cm conduzam a paredes de boas características para construções térreas. O comprimento do bloco pode atingir 40 cm. Blocos maiores apresentam maior rendimento quando da construção das paredes.



A composição do solo para ser usado na fabricação de tijolos de adobe deve se enquadrar dentro dos seguintes limites [Barbosa, 1996]:

argila 15 a 35 %

silte 10 a 45 %

areia 45 a 70 %

pedregulho 0 a 10 %

O solo que poderia ser considerado ideal deveria conter 20 a 25% de argila, 15 a 20 % de silte, 60 % de areia e 0 % de pedregulho. Quanto ao limite de liquidez, é desejável que esteja entre 20 e 50 % [Houben e Guillaud, 1994].

Na fabricação de tijolos de adobe, a mistura da água à terra é uma operação que envolve bastante esforço físico do trabalhador. Para facilitar essa operação, recomenda-se fazer uma pequena escavação no solo (com cerca de 30 centímetros de profundidade e 2 a 3 metros de diâmetro) onde se faria a mistura solo-água. Assim, pode-se usar os pés nos procesos de amassamento e homogeneização do material. Além disso, pode-se usar uma quantidade de água maior que a necessária e deixar a mistura homogeneizada em repouso por um dia para que ocorra a evaporação do excesso de água.

Quando fibras ou palhas são usadas, estas devem ser adicionadas quando a terra estiver bem misturada com a água. Após a homogeneização do material reforçado, é conveniente deixar a mistura em repouso por pelo menos um dia com o objetivo de facilitar o seu manuseio.

A moldagem dos tijolos deve ser feita em moldes úmidos para facilitar a sua desmoldagem. Deve-se ter o cuidado de retirá-los verticalmente, com cuidado para os

cantos não se elevarem. Durante a secagem, deve-se impedir qualquer contato dos tijolos com a água.

Com relação a sua resistência mecânica, ensaios realizados por Barbosa [Barbosa, 1996] em muros de adobe de um metro de altura e doze centímetros de espessura mostraram que eles são capazes de resistir a carregamentos maiores que 100 kN/m, ou seja, 10 toneladas por metro linear de parede. Estes valores são significativamente superiores (mais de 10 vezes) àqueles a que vão estar submetidas as paredes de habitações populares ou das instalações rurais.

IV - TIJOLOS PRENSADOS DE TERRA CRUA

Se a obtenção e construção com adobes é uma tradição milenar, o mesmo não se pode dizer dos tijolos prensados de terra crua. Estes representam um forma “moderna” de aplicação da terra que surgiu nos anos cinquenta com o desenvolvimento da primeira prensa manual, a CINVA-Ram, na Colômbia, pelo chileno Raul Ramirez que trabalhava no Centro Interamericano de la Vivienda (CINVA). Só mais recentemente, nos anos oitenta, quando se tomou consciência de seu enorme potencial, estes produtos passaram a ser estudados mais profundamente.

Tipos de prensa

A partir da prensa manual CINVA-Ram, vários tipos de prensas, manuais e mecânicas, foram desenvolvidas e podem ser encontradas no mercado nacional e internacional. [Mukerji, 1988]. Essas prensas podem ser classificadas em três categorias [Olivier *et al*, 1989]:

- *Prensas que operam em condições quasi-estáticas (compressão oedométrica)* - representam a grande maioria das prensas e foram desenvolvidas para se adaptarem a diferentes condições técnicas e econômicas. Essas serão discutidas a seguir.
- *Prensas que operam em vibro-compressão* - são fornecidas pelas fábricas já automatizadas. A técnica de vibração tem seus limites pois além de usar uma tecnologia cara, os materiais muito argilosos são difíceis de serem utilizados.
- *Prensas que operam em compressão dinâmica* - os blocos são compactados com ajuda de martelos compactadores. O comportamento do solo dentro dos moldes pode ser comparado ao do solo no ensaio de compactação (ou de Proctor modificado). A produção de blocos a partir de solos argilosos é bastante difícil.

As prensas mais difundidas são as de deslocamento imposto. O princípio de funcionamento é o da aplicação de uma compressão estática ao solo pelo deslocamento de um pistom em um percurso previamente definido. Nas prensas manuais, esse deslocamento é obtido movendo-se o braço de alavanca (unido por uma articulação à placa inferior do molde) da posição vertical para uma posição próxima da horizontal. A Figura 4.4 mostra um exemplo de prensa manual.

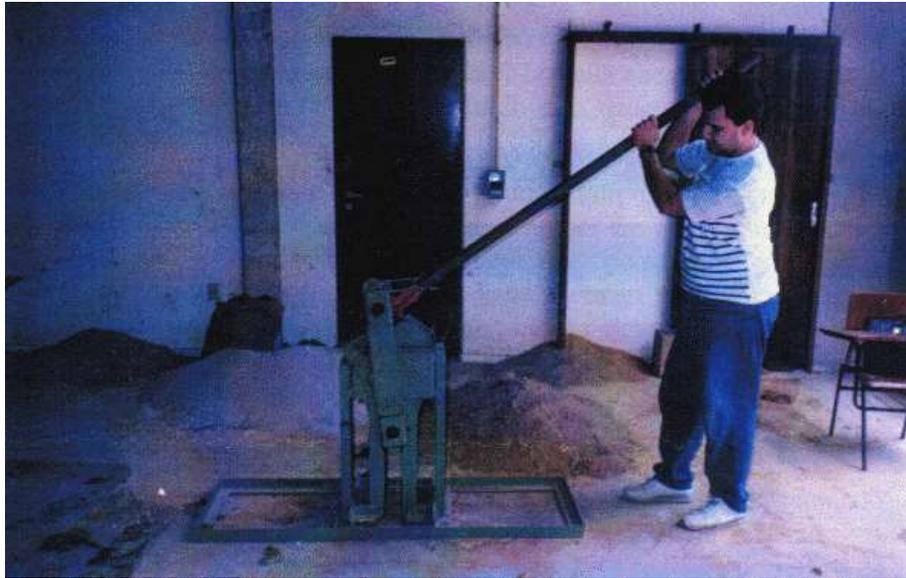


FIGURA 4.4 - Prensa manual

Nas prensas mecânicas, o deslocamento do pistom (que força uma ou as duas placas do molde a comprimirem o solo) é imposto por um motor que pode ser elétrico ou a diesel. A produção e a energia de moldagem usada nessas prensas é sensivelmente superior à dos modelos manuais. A Figura 4.5 mostra um exemplo de prensa mecânica.

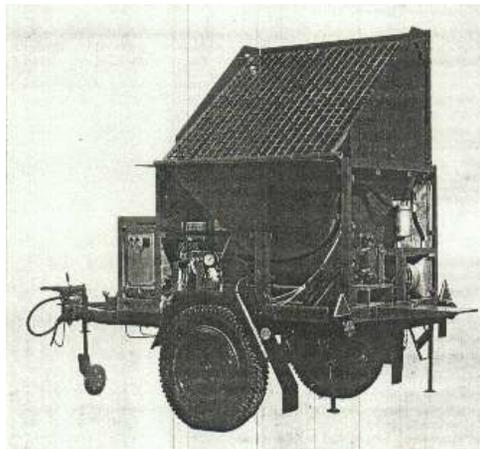


FIGURA 4.5 - Prensa mecânica motorizada.

Fatores que influenciam na qualidade dos tijolos prensados

O objetivo da prensagem da terra é reduzir o índice de vazios do material e aumentar sua resistência mecânica. A redução do índice de vazios é da ordem de 1:1,6 a 1:1,8 nas prensas manuais [Barbosa, 1996].

Sendo a terra um material de composição variável, é importante definir as características dos materiais constituintes e quantificar o efeito dos parâmetros que

influem no comportamento dos tijolos prensados de terra crua. Dois tipos de parâmetros podem ser citados:

- parâmetros intrínsecos (ligados ao próprio material):

- tipo e percentagem de argila
- quantidade de areia
- distribuição da curva granulométrica

- parâmetros físicos (dependentes do processo de fabricação):

- percentagem de água
- pressão de compactação
- natureza e percentagem de estabilizantes
- cura

Com relação aos parâmetros intrínsecos, pode-se dizer que o tipo de argila presente no solo influi decisivamente na qualidade dos blocos. Como citado anteriormente, a argila montmorilonita não é adequada à fabricação de tijolos, visto ser a mesma expansiva (a absorção de água pode causar aumentos de volume indesejáveis).

A teor de argila e a granulometria do solo influem decisivamente na densidade seca. De acordo com Olivier [Olivier, 1994], a densidade seca decresce significativamente com o aumento do teor de argila. Portanto, baixas densidades secas em blocos prensadas podem estar indicando a presença de muita argila no solo. No entanto, uma menor densidade seca não quer dizer que a resistência será menor que a de um outro material que apresente maior valor de densidade. A resistência é proporcional à densidade apenas para um mesmo material [Barbosa, 1996]

A forma da curva granulométrica também tem influência decisiva na qualidade dos tijolos prensados. Por exemplo, o material que apresente uma curva granulométrica bem distribuída é mais adequado para construção com terra que um material com curva muito inclinada. Isso se dá considerando-se que com o primeiro material consegue-se melhor arranjo dos grãos, menores vazios e, como consequência, uma melhor compactação.

Quanto aos parâmetros físicos, pode-se dizer que pequenas variações na umidade de moldagem pode conduzir a significativas mudanças na densidade seca e na resistência. O ideal é que se use a umidade ótima determinada pelo ensaio de compactação estática. Para diversas pressões de compactação, esta se situa próxima (85 a 90%) da curva de saturação. É conveniente citar que os materiais argilosos, por serem mais finos, requerem maior quantidade de água para exibirem uma boa trabalhabilidade.

A pressão de compactação também é muito importante. A prensa GEO 50, por exemplo, foi concebida com o objetivo de aplicar uma pressão de compactação de cerca de 2 MPa. Um sistema de molas garante a aplicação de uma dupla compactação (a terra é pressionada tanto pela face superior quanto pela inferior do molde). Este processo conduz a um produto mais homogêneo. Aumentando-se a pressão de compactação de um certo material faz-se crescer sua densidade seca e por consequência sua resistência. Porém as prensas manuais têm um limite em torno de 2 MPa.

A natureza e percentagem do estabilizante depende do tipo de solo a ser usado. Nos solos muito argilosos o efeito do cimento praticamente não é sentido para percentagens menores que 6%. Se o solo é excessivamente arenoso vai requerer taxas um

pouco maiores. Se o solo é bem graduado, 4% de cimento já conduzem a ótimos resultados [Barbosa, 1996]

A cura do bloco estabilizado é fundamental. Após a fabricação, é necessário que a água de moldagem permaneça no sistema com o objetivo de permitir as reações de hidratação do cimento. No canteiro de obras uma das formas de se fazer a cura consiste em envolver os tijolos recém fabricados com uma lona plástica por no mínimo sete dias. No caso de se usar cal como estabilizante, é necessária uma proteção que além de impedir a evaporação da água proteja o material do gaz carbônico atmosférico. O tempo de cura requerido é da ordem de meses.

Processo de fabricação dos tijolos

Para se obter tijolos prensados de qualidade, é necessário estabelecer a quantidade ideal de água e solo a serem colocados no molde. Isto é feito com base na máxima densidade seca. Caso se conheça a umidade ótima do ensaio de compactação estática, é com ela que se deve trabalhar. Pela equação 4.1, a variável a ser determinada é o peso de terra a ser posto na prensa que conduza à máxima densidade seca.

Caso não se conheça a umidade ótima, faz-se variar também a quantidade de água, e obtêm-se gráficos como os indicados na Figura 4.6. O pico mais elevado de todas as curvas indica o teor ótimo de umidade e a quantidade de material a ser posto na prensa.

No cálculo do teor de água, deve-se descontar a água presente na terra por ocasião da moldagem. Portanto, a quantidade de água a ser realmente colocada à mistura é dada por [Barbasa, 1996]:

$$P_{ag} = P_t \cdot (w - w_n - w \cdot w_n) \quad (4.2)$$

onde:

P_{ag} - peso de água a ser adicionada

P_t - peso da terra com umidade natural, w_n

w - teor de água desejado

w_n - umidade natural do solo

Na prática, nem sempre é possível seguir este processo de otimização. As dificuldades surgem desde a dosagem do material. Como não existem, *in situ*, balanças capazes de pesar grandes quantidades de terra a dosagem deve ser feita em volume.

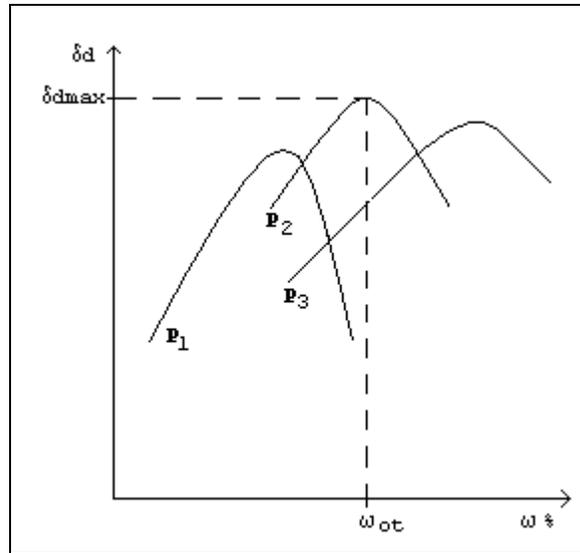


FIGURA 4.6 - Curvas de compactação para otimização da quantidade ótima de água e solo a ser posta na prensa.

A terra no estado natural normalmente apresenta torrões e partículas de grandes dimensões. É necessário, portanto, que se proceda um peneiramento para que haja o destorroamento e a separação da fração mais grossa do material. A Figura 4.7 mostra o processo de peneiramento.

Caso não se disponha de resultados de laboratório, a otimização da dosagem dos materiais para a fabricação dos tijolos pode ser estabelecida localmente, por tentativas. No caso de se usar o cimento como estabilizante, uma porcentagem em torno de 5% a 6% é suficiente. A quantidade de água a ser usada está, normalmente, em torno de 12% a 15% do peso total. Na estação seca, convém cobrir com plástico a terra já misturada com a água e cimento e, pouco a pouco, levá-la para a prensa.

Cada traço pode ser preparado com cerca de 150 quilos de terra e a fração conveniente de cimento (se presente na mistura) e água. Se existirem estabilizantes, os mesmos devem ser misturados com a terra a seco. A seguir, com um regador, aplica-se a água e remove-se a mistura de um ponto a outro, fazendo-se a homogeneização. Quatro deslocamentos do monte de terra conduzem, normalmente, a uma mistura homogênea (perceptível pela coloração uniforme do material). A Figura 4.8 mostra o processo de homogeneização.



FIGURA 4.7 - Peneiramento da terra.

Uma vez fabricados, os tijolos passam por um processo de cura. Esta etapa é de fundamental importância, principalmente para os tijolos estabilizados. Uma maneira de se proceder a cura consiste em empilhar os blocos sobre uma lona plástica e cobri-los por um período de, no mínimo, sete dias (ver Figura 4.9).



FIGURA 4.8 - Homogeneização da mistura terra-cimento-água.



FIGURA 4.9 - Estocagem e cura dos tijolos

V - ENSAIOS PARA CARACTERIZAÇÃO DA TERRA CRUA

As propriedades da terra prensada podem ser determinadas através de ensaios realizados nos tijolos ou em corpos de prova que apresentem a mesma densidade seca.

Ensaio de tração indireta (ou de compressão diametral)

No ensaio de tração indireta, o corpo de prova cilíndrico é comprimido diametralmente ao longo de duas geratrizes diametralmente opostas (ver Figura 4.10). De acordo com a teoria da elasticidade, esse carregamento produz tensões de tração principais máximas (praticamente uniformes) no plano paralelo (e que contenha) o eixo do cilindro, causando a ruptura do corpo de prova por tração indireta. A velocidade de deslocamento recomendada para este ensaio é de 0,02 mm/s [TC-EBM-RILEM].

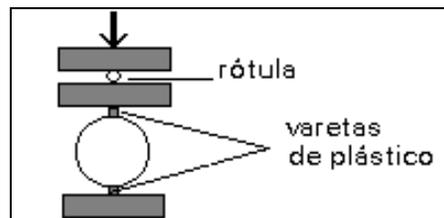


FIGURA 4.10- Ensaio de resistência à tração indireta em corpo de prova cilíndrico.

A carga é aplicada ao corpo de prova através de varetas de madeira de 1 cm a 1,5 cm de lado. Nos ensaios de adobes é preferível que estas varetas sejam de material plástico, que se acomodem convenientemente na zona de contato do corpo de prova com

a prensa, uma vez que em virtude da retração do material, nem sempre as superfícies dos corpos de prova são planas.

A resistência à tração do corpo de prova é dada por:

$$f_t = 2.F/(\pi.d.h) \quad (4.3)$$

onde:

F - força que provoca a ruptura

d - diâmetro do corpo de prova

h - altura do corpo de prova

O ensaio de tração indireta pode também ser usado para determinar a resistência à tração dos tijolos, conforme mostra a Figura 4.11.

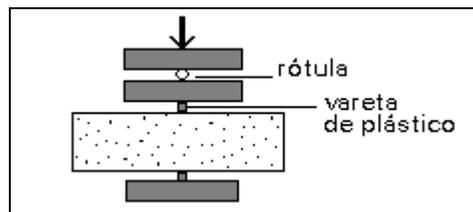


Figura 4.11 - Ensaio de tração indireta em tijolo de adobe.

A resistência à tração indireta no tijolo é dada por:

$$f_t = 2.F/(\pi.b.h) \quad (4.4)$$

onde:

F - força de ruptura (suficientemente afastada da extremidade do bloco)

b - largura do tijolo,

h - espessura do tijolo

Quando o solo é estabilizado com fibras, uma notável diferença no comportamento do cilindro ou do tijolo pode ser observada. No corpo de prova, mesmo após o aparecimento da fissura principal, o material é capaz de manter a carga elevada. As fibras unem a fissura, modificando totalmente o comportamento da terra tracionada após a fissuração. O modo de ruptura é completamente modificado pois mesmo havendo a fissura vertical, não há a separação total das duas metades do cilindro ou do tijolo (salvo para níveis de deformação bastante elevados).

Ensaio de resistência à compressão

Este ensaio pode ser realizado em corpos de prova cilíndricos (Figura 4.12) ou em tijolos (Figura 4.13). Em ambos os casos, recomenda-se colocar uma fina borracha de neoprene entre o corpo de prova e as placas da prensa visando eliminar o atrito entre a prensa e o corpo de prova. A velocidade de ensaio recomendada é de 0,02 mm/s.

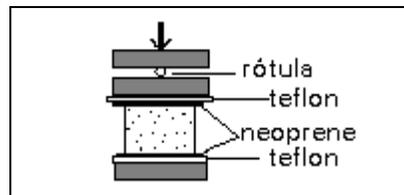


FIGURA 4.12 - Ensaio de compressão em corpo de prova de adobe.

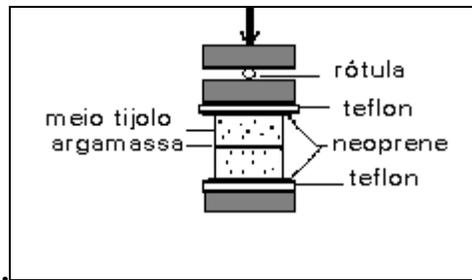


FIGURA 4.13 - Ensaio de compressão no tijolo de terra crua.

Determinação do módulo de elasticidade

Nas simulações numéricas do comportamento de paredes é necessário conhecer as propriedades elásticas do material, quais sejam, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson. O Laboratoire Geomatériaux, da ENTPE, sugere o uso de captosres de distância para a medição das deformações longitudinais e radiais conforme mostra a Figura 4.14. Os captosres consistem de uma fonte que emite uma corrente de Faucoult a qual é refletida por um pequeno alvo metálico. A variação de voltagem que ocorre quando a fonte se afasta ou se aproxima do alvo é transformada em variação de distância através de sistema de aquisição de dados conectado a microcomputador. Os alvos longitudinais são colados em pequenos varões que penetram no corpo de prova sendo fixados no orifício previamente feito com furadeira elétrica. Os alvos transversais são fixados com cola diretamente no corpo de prova. Com o conhecimento das deformações longitudinais e transversais, determina-se o módulo de elasticidade e o coeficiente de Poisson.

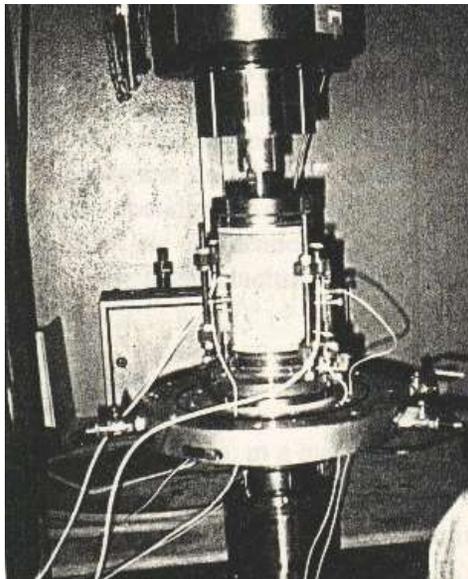


FIGURA 4.14 - Corpo de prova instrumentado para obtenção do módulo de elasticidade e do coeficiente de Poisson.

Durabilidade dos blocos de terra

Um método para estudar a durabilidade dos blocos de terra crua foi desenvolvido por Olivier *et al* [Olivier *et al*, 1995] e é apresentado a seguir. De acordo com este método, a durabilidade dos blocos é verificada através da sua absorção capilar. Para tanto, criou-se um dispositivo onde os corpos de prova ficam assentes em areia permanentemente saturada. A Figura 4.15 mostra o ensaio de absorção capilar em andamento onde pode-se notar a ascensão capilar da água através dos poros de corpos de prova. O ensaio consiste em se verificar o comportamento de corpos de prova após ciclos de absorção de água e secagem em estufa sob temperatura de 35° C. Os autores sugerem que esse ensaio é mais representativo para o estudo da durabilidade uma vez que, na prática, existe uma probabilidade muito maior de um tijolo ser submetido à absorção de umidade por capilaridade do que ser sujeito a imersão total.



FIGURA 4.15 - Ensaio de durabilidade por absorção capilar de água.

Procedimento de ensaio: tomando-se um lote de 9 corpos de prova curados e secos, os mesmos são numerados e três deles ensaiados à compressão para que se obtenha a resistência média do material seco, $f_{c\ sec}$. Os seis corpos de prova restantes são pesados e em seguida postos sobre a areia saturada por um período de 10 h. Após este período, são pesados novamente e três são ensaiados à compressão. Os corpos de prova restantes são postos em estufa (sob temperatura de 35° C), por um período de 14 h. Após este tempo, os CPs são pesados e novamente postos a absorver água por mais 10 h. O ciclo com duração de 24 horas (10 horas absorvendo água e 14 horas secando em estufa) é repetido mais três vezes quando então os corpos de prova são rompidos em compressão (106 horas após iniciado o teste).

Os resultados da variação de peso em relação ao peso seco são plotados na forma indicada na Figura 4.16. Os valores de resistência são também apresentados nessa figura dando uma idéia da estabilidade do material.

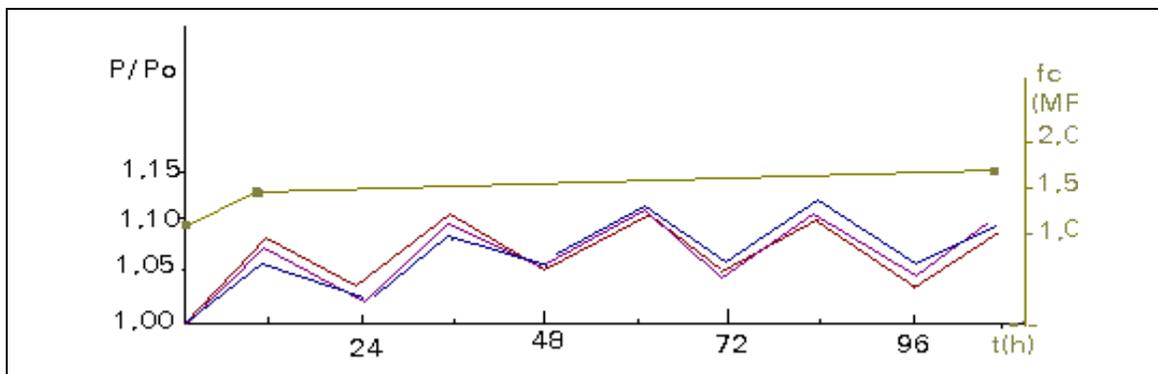


FIGURA 4.16 - Modo de exprimir o resultado do ensaio de absorção capilar.

Para tijolos estabilizados, pode-se verificar o decréscimo de resistência com o tempo de imersão do tijolo em água. A absorção d'água diminui a resistência visto que ela reduz o atrito entre os grãos. A Tabela 2 mostra um exemplo do teste de absorção realizado na Universidade Federal da Paraíba em tijolos estabilizados com cimento [Barbosa, 1996]. A resistência no estado seco de um grupo de tijolos estabilizados com 5% de cimento, variou entre 1,0 MPa e 1,9 MPa. Quando saturados por imersão, os tijolos apresentaram resistência à compressão entre 0,45 e 0,95 MPa.

TABELA 2 - Absorção de água em tijolos prensados estabilizados com 5% de cimento

tempo e imersão (h)	0,5	1	2	3	4	5	6	24
absorção %	6,4	7,5	8,4	8,9	9,2	9,3	9,6	10,2
tempo e imersão (dias)	1	2	3	14				
absorção %	10,2	10,6	10,8	11,1				

VI - A TÉCNICA CONSTRUTIVA COM TIJOLOS DE TERRA CRUA

As fundações das construções com terra podem ser em pedras assentes, de preferência, com argamassa de cimento. Uma cinta de concreto, de 20 cm de largura e 7 a 8 cm de espessura armada com um ferro de 6,3 mm, deve ser usada na parte superior da fundação. A face superior da cinta deve estar no nível do piso (Figura 4.17). Nas paredes internas, caso não se disponha de pedra suficiente, pode-se fazer uma vala de 30 cm de largura, com profundidade variando de acordo com o tipo de solo do local, e preenche-la com a mesma mistura solo-cimento com a qual foram fabricados os tijolos. A mistura deve ser compactada vigorosamente. Em seguida, sobre a cinta de concreto, coloca-se a primeira camada que em vez de tijolo, sugere-se que seja de concreto simples. Deve-se lembrar, neste momento, da posição das portas, onde esta camada é interrompida. A camada de concreto simples deve ser de 6 a 7 cm de altura e de 20 cm de largura nas paredes internas, e de 17 cm nas paredes externas. O objetivo é deixar um rodapé com 3 cm sacando do plano das paredes, de forma se possa protegê-las da ação de choques.

Uma vez pronta esta camada, coloca-se a primeira fiada de tijolos usando-se argamassa de cimento-areia, cimento-cal ou cimento-cal-areia. A quantidade de

aglomerante não precisa ser superior a 10 %. A água deve ser posta na quantidade que conduza a uma trabalhabilidade conveniente. Antes de se colocar a argamassa sobre o tijolo, convém molhá-lo com uma brocha de pedreiro. O nível, a verticalidade e o esquadro devem ser controlados como nas construções convencionais.

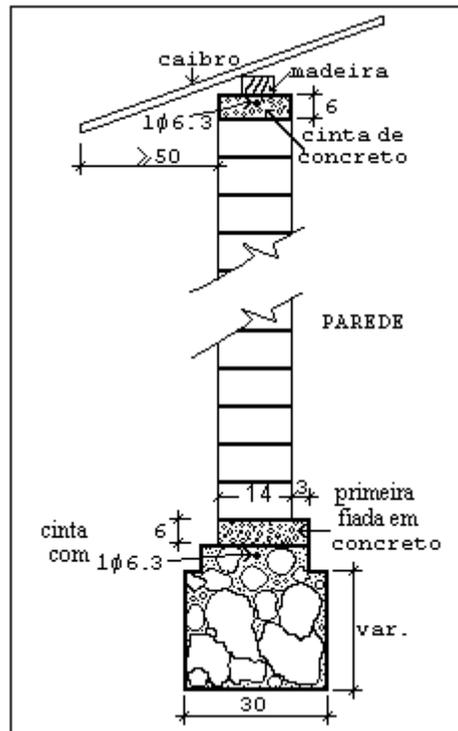


FIGURA 4.17 - Conjunto fundação, parede, cintamento.

No topo da parede, que corresponde à altura das portas e janelas, passa-se uma cinta de concreto armado com apenas um ferro de 6.3 mm (caso de construções de pequeno porte). A cinta passa por todas as paredes para “amarrar” a construção. Por sobre a cinta vem o madeiramento e cobertura. Deve-se deixar um significativo beiral, de forma a proteger o máximo a parede da ação das chuvas. Em pequenas construções sugere-se um beiral de, no mínimo 50 cm, em construções maiores, um beiral mínimo de 70 cm.

Se os tijolos forem prensados, o acabamento final das paredes é feito preenchendo-se os pequenos orifícios que podem ocorrer entre as fiadas de tijolo. Para tanto, pode-se usar argamassa de terra peneirada misturada com cimento e água. Procedendo-se a uma limpeza correta, nenhum revestimento é necessário. O aspecto final da construção resulta muito agradável, sendo a pintura uma opção do morador (ver Figuras 4.18 e 4.19 partes (a) e (b)]. Se os tijolos forem de adobes, as paredes podem apresentar um aspecto irregular. Recomenda-se, neste caso, um revestimento à base de terra-cimento, terra-cal ou terra-cimento-cal, devendo ser a terra ser finamente peneirada.

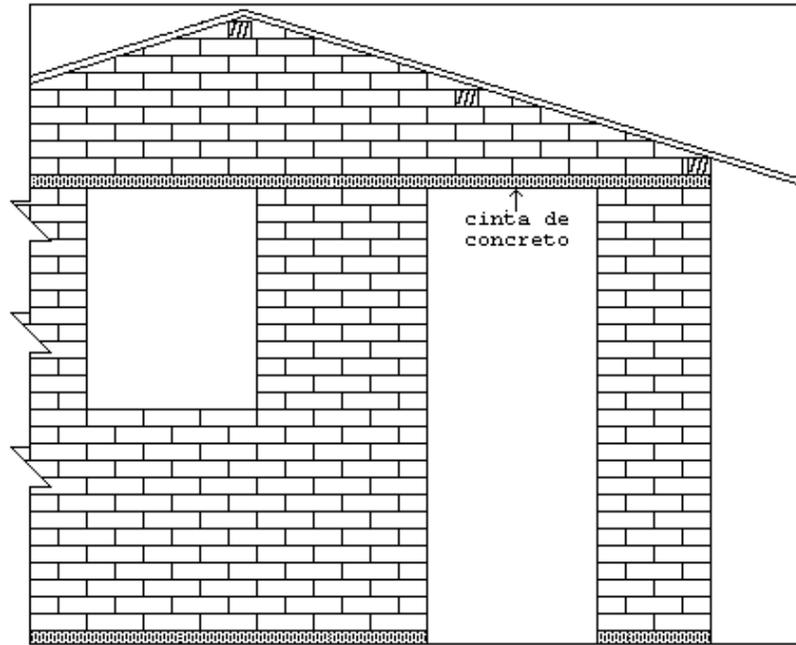


FIGURA 4.18 - Aspecto de casa com tijolos prensados de terra crua estabilizados com cimento.



FIGURA 4.19 (a)



FIGURA 4.19 (b)

FIGURA 4.19 - Casas de terra crua construídas na favela Cuba de Baixo em Sapé-Pb.

VII - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foram apresentadas considerações sobre o uso da terra crua com vistas a sua aplicação como material de construção. A partir das informações apresentadas, pode-se observar a grande potencialidade e viabilidade do seu uso na construção das diversas instalações agrícolas. O conhecimento das propriedades do material e da tecnologia de construção é de fundamental importância para que o emprego da terra crua possa ser feito adequadamente e para que se possa resgatar uma das técnicas mais antigas de construção. É preciso, no entanto, que se continue a estudar o material, os métodos de produção, as técnicas construtivas e as estruturas com terra (tais como arcos, cúpulas, etc.) com o objetivo de se normalizar procedimentos de ensaio e de dimensionamento.

VIII - REFERENCIAS

Barbosa, N.P. (1996), "Construção com Terra Crua - do Material à Estrutura", Monografia apresentada ao DTCC/UFPb no concurso para Professor Titular, 118pp.

Caputo, H.P. (1980), "Mecânica dos solos e suas aplicações", Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Vol. 1, Rio de Janeiro, 219pp.

Houben, H. e Guillaud, H. (1994), "Earth Construction - A Comprehensive Guide", Intermediate Technology Publications, London, 362pp.

Lambe, T.W e Whitman, R.W. (1979), "Soil Mechanics", John Wiley & Sons, New York, 553pp.

MB-33, "Ensaio de Compactação", Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

Mukerji, K. (1988), "Soil Block Presses", German Appropriate Technology Exchange, Eschborn, Alemanha.

NBR 6459, "Ensaio de Limite de Liquidez", Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

NBR 7180, "Ensaio de Limite de Plasticidade", Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

NBR 7181, "Ensaio de Granulometria por Peneiramento e Sedimentação", Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

Olivier, M. (1994), "Le materiau Terre - Compactage, Comportement, Application aux Structures en Blocs de Terre", These Doctorat, INSA, Lyon, Janeiro.

Olivier, M., El Gharbi, Z e Mesbah, A. (1995), "Proposition d'une Norme D'essai Pour les Blocs de Terre comprimées", Document provisoire de travail, Lab. Geomateriaux, ENTPE, Lyon, França.

Olivier, M., Mesbah, A. e Adam, W. (1989), "The Influence of the Mixing and the Type of Press on the Making of Compacted Earth Bricks", Third CIB RILEM Symposium on Materials for Low Income Housing, México, 6-10 Novembro.

Souza, S.M.T. (1993) "Tijolos de Terra Crua Reforçados com Fibras Vegetais", Tese de Mestrado, DEC/UFPb, Campina Grande, Dezembro.

Tolêdo Filho, R.D. (1997), "Natural Fibre Reinforced Mortar Composites: Experimental Characterisation", Ph.D Thesis, DEC-PUC-Rio/DEC-Imperial College, London, U.K., 472pp.

Tolêdo Filho, R.D., Barbosa, N.P. and Ghavami, K. (1990), "Applications of Sisal and Coconut Fibres in Adobe Blocks". Proceedings of the Second International RILEM Symposium on Vegetable Plants and Their Fibres as Building Material, Salvador, Brazil, Set. 17-21, pp. 139-149