

HENRIQUE THOMAZ MORETT

A IMPORTÂNCIA DA INSERÇÃO DOS SISTEMAS
CONSTRUTIVOS DE SOLO-CIMENTO NO PROCESSO
DE INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO

FAU / UFRJ

2003

A IMPORTÂNCIA DA INSERÇÃO DOS SISTEMAS
CONSTRUTIVOS DE SOLO-CIMENTO NO PROCESSO
DE INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO

HENRIQUE THOMAZ MORETT

FAU / UFRJ – Curso de Mestrado

CAMILO MICHALKA JR. - Orientador
Dr – Ing.

Rio de Janeiro

2003

**A IMPORTÂNCIA DA INSERÇÃO DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS DE
SOLO-CIMENTO NO PROCESSO DE INDUSTRIALIZAÇÃO DA
CONSTRUÇÃO**

HENRIQUE THOMAZ MORETT

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura/ FAU/UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre.

Aprovada por:

**Prof. Camilo Michalka Jr. - Orientador
Dr. – Ing.**

**Prof^a Angela Maria Gabriella Rossi
D. Sc.**

**Prof^a Maria Amália Amarante Almeida Magalhães
D. Sc.**

Rio de Janeiro

2003

Morett, Henrique Thomaz.

**A Importância da Inserção dos
Sistemas Construtivos de Solo-Cimento no
Processo de Industrialização da
Construção / Henrique Thomaz Morett. Rio
de Janeiro : UFRJ / PROARQ / FAU , 2003.**

iii, 90p. il.

**Dissertação M.Sc. –
Universidade Federal do Rio de Janeiro,
PROARQ / FAU.**

1. Sistemas Construtivos de Solo-
Cimento. 2. Processo de Industrialização.
3. Tese (Mestr. – UFRJ/PROARQ/FAU)
I. Título.

AGRADECIMENTOS

- **À todos os Docentes do PROARQ que tive a honra de conhecer e conviver durante todo o desenvolvimento do trabalho;**
- **Aos colegas de Mestrado;**
- **À engenheira, Célia Maria Martins Neves, M.Sc., do CEPED-BA;**
- **Ao PROTERRA;**
- **Ao professor João Batista Assis da PUC/MG;**
- **Ao arquiteto Paulo Montoro do ABCTerra;**
- **Ao engenheiro Haroldo Braune Collet pela importante colaboração durante a revisão do trabalho;**
- **À música de Pat Metheny e Lyle Mays, Marillion, Pallas e Pendragon que em muitas ocasiões foi “preciosa” fonte de inspiração;**

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

- **À minha mãe Nilza Thomaz Morett;**
- **Ao grande amigo José Luís Freitas;**
- **Ao meu Orientador Camilo Michalka Jr.;**

In Memoriam

Abelardo Augusto Thomaz

***Dedico este Trabalho a todos, que a todos os dias, se dedicam de Corpo,
Alma...e Coração à ARQUITETURA***

3.3.2 – Ensaio Laboratoriais e Empíricos (no Local)	45
3.3.3 – Resistência das Construções de Terra	54
4- SISTEMAS CONSTRUTIVOS DE TERRA	
4.1 – Tradicionais	58
4.1.1 – Taipa de Pilão	58
4.1.2 – Adobe	60
4.1.3 – Taipa de Mão ou Pau-a-Pique	62
4.1.4 – Outras Técnicas Construtivas	64
5- O SOLO-CIMENTO	
5.1 – O Solo-Cimento	65
5.1.1 – O Cimento	66
5.1.2 – Critérios para Dosagem da Mistura de Solo-Cimento	73
5.1.3 – Modos de Utilização e Aplicação	78
5.2 – Métodos Racionalizados para Planejamento, Produção e	
Execução de Sistemas Construtivos de Solo-Cimento	85
5.2.1 – Princípios Básicos da Industrialização	85
5.2.2 – Equipamentos para a Produção Semi-Industrializada e	
Industrializada de Tijolos de Solo-Cimento	89
5.2.3 – A Energia Incorporada na Fabricação de Componentes	
de Solo-Cimento	105
5.2.4 – Procedimentos para a Execução de Alvenarias	
Racionalizadas de Tijolos de Solo-Cimento	110
5.2.5 – A Autoconstrução Racionalizada como Ferramenta	
Aplicada na Execução de Sistemas Construtivos e	
Solo-Cimento	117

6- ESTUDO DE CASO	
6.1 – Parâmetros para Análise das Propriedades	
Físicas-Mecânicas de Tecnologias de Solo-Cimento	122
6.1.1 – Critérios para Dosagem da Mistura de Solo-Cimento	123
6.1.2 – Resistência Estrutural	125
6.1.3 – Desempenho Térmico	130
6.1.4 – Critérios Dimensionais	132
6.1.5 – Sistema de Acoplamento	134
6.2 – Tecnologias de Solo-Cimento	137
6.2.1 – Técnica Construtiva de Painéis de	
Solo-Cimento / CEPED-BA	137
6.2.2 – Técnica Construtiva de Alvenaria de Tijolos de	
Solo-Cimento / TIJOLITO	147
6.2.3 – Técnica Construtiva de Alvenaria de Tijolos de	
Solo-Cimento Produzidos por Prensas Manuais / SAHARA	149
6.2.4 – Técnica Construtiva de Alvenaria de Tijolos Prensados	
Idealizada pelo Prof. Mattone / Falcoltà de Architettura, Politécnico	
di Torino e a Universidade Federal da Paraíba	152
6.3 – Análise das Tecnologias de Solo-Cimento	156
6.3.1 – Painéis de Solo-Cimento – CEPED/BA	156
6.3.2 – TIJOLITO / Construtora ANDRADE GUTIERREZ	174
6.3.3 – Tijolos de Solo-Cimento Produzidos pelas Prensas	
SAHARA	187
6.3.4 – Tijolo Prensado Idealizado pelo Prof. Mattone /	

Falcoltà di Architettura, Politécnico di Torino e a	
Universidade Federal da Paraíba	199
6.4 – Considerações Gerais	206
6.4.1 – Tabelas	206
6.4.2 – Análise dos Resultados	218
7 – CONCLUSÕES	
7.1 – Conclusões Finais e Recomendações	222
8 – BIBLIOGRAFIA	230
9 – GLOSSÁRIO	237
10 – ANEXOS	
10.1 – ANEXO 1	240
10.2 – ANEXO 2	242

1. INTRODUÇÃO

1.1 – Um Panorama Geral sobre os Processos de Produção na Construção Civil no Brasil

A carência habitacional no Brasil é hoje um dos maiores desafios sociais de nosso tempo. Um amálgama de vários fatores contribui para a complexidade da discussão: políticos, tecnológicos, econômicos e sociais.

Soluções de caráter tecnológico podem contribuir para viabilizar a construção de habitações a custos menores. Os processos de produção na construção civil podem ser classificados, do ponto de vista tecnológico, em quatro categorias distintas: artesanal, tradicional, semi-industrializado e industrializado.

Na primeira a maioria dos componentes da construção é produzida no local da obra, por meio de materiais brutos (não manufaturados) disponíveis na própria região como pedras, terra e madeira. São de baixo impacto ambiental, quando utilizados de forma adequada e moderada. Baixo consumo energético, pois não necessitam de queima em fornos e equipamentos sofisticados para a sua produção. Normalmente não há qualquer controle dimensional organizado. É utilizada intensa mão-de-obra não especializada. É comum não haver preocupação com a padronização de elementos. Os sistemas construtivos de terra crua mais rústicos como pau-a-pique, taipa de pilão e adobe pertencem a esta classificação.

Na segunda categoria há a reunião de elementos produzidos no canteiro de obra, com materiais e componentes fornecidos pela indústria de materiais de construção. Este processo construtivo caracteriza-se pela a conjunção de métodos construtivos artesanais e de componentes industrializados, com o uso ainda intenso de mão de obra semi-especializada. Muitas vezes um único profissional executa mais de uma tarefa durante a obra, para as quais não está plenamente qualificado. Neste processo construtivo o controle dimensional é muito precário. Além disso, não há a preocupação significativa com a padronização dos elementos produzidos na obra, bem como com a correlação dimensional¹ com os componentes fornecidos pela indústria da construção.

A construção civil no Brasil ainda adota de forma generalizada, métodos tradicionais de construção, utilizando-se de uma grande quantidade de mão-de-obra não especializada, materiais industrializados sem padronização, e mecanização

¹ Ver Glossário p. 237.

parcial para operações mais pesadas na obra. A construção tradicional gera hoje altos índices de custos para o setor. Um dos fatores agravantes do problema é o alto custo do material empregado aliado ao desperdício dentro do canteiro de obra.

Durante a execução de uma edificação chega-se até a um terço do material adquirido desperdiçado, sendo, portanto removido do canteiro ou utilizado como aterro. O entulho é composto de sucata, sobras de madeira e de materiais de acabamento. Pode, por causa da falta de racionalização, tornar-se mais caro do que o efetivamente utilizado, principalmente pelos inúmeros manuseios e transportes adicionais.

O progresso técnico é um fator relevante para a melhoria da produtividade na construção. Permite ganhos de produtividade através da substituição de um fator de produção obsoleto por outro mais eficiente para as condições solicitadas. Em um segundo momento, a melhoria da produtividade é obtida mediante a eliminação de desperdícios dentro da obra (ROSSO,1980).

Rosso destaca ainda os seguintes fatores prejudiciais para este processo construtivo:

- Espessuras exageradas para os revestimentos, oriundos do assentamento irregular de uma alvenaria;
- Erros relacionados ao projeto, principalmente de imprecisão e deficiências gerando retrabalho durante a execução da obra;
- Cortes e rasgos na alvenaria devido à falta de planejamento e coordenação das operações;
- Ajustes e acertos tão comuns, devido à falta de coordenação das medidas;
- Os consumos excessivos de materiais devido às falhas de concepção de projeto e prognósticos equivocados sobre as estimativas de gastos;
- A falta de pesquisa tecnológica;
- A falta de controle do processo;

Estes fatores entre outros contribuem para o elevado índice de custo da construção no Brasil.

A produção semi-industrializada é desenvolvida principalmente em cima da organização do canteiro de obras, racionalizando os métodos e processos. Ocasionalmente são utilizados métodos de pré-moldagem ou pré-fabricação de alguns de seus componentes visando a economia de materiais e mão-de-obra.

Por último, o processo industrializado é caracterizado por componentes padronizados produzidos fora do canteiro de obra. A execução da obra consiste numa operação de montagem. A industrialização alcança os mais altos níveis de padronização, abrangendo várias etapas do processo construtivo. O controle dimensional é pleno.

As construções industrializadas são caracterizadas, principalmente, pela adoção de procedimentos baseados em componentes de fábrica, ou componentes construtivos funcionais fabricados em série, possibilitando a minimização do prazo de execução e diminuindo o número de etapas na obra. Obviamente, é necessária uma reestruturação durante a fase de projeto e de execução para adequar as necessidades do processo industrializado (RIBEIRO, 2002).

O desperdício de materiais é quase nulo, devido à correlação dimensional e a adequada acoplagem dos componentes industrializados, não necessitando de eventuais cortes de material, tão comuns em processos construtivos tradicionais. A mão-de-obra é especializada e bastante reduzida. O processo industrial pode, entretanto, conviver com os processos artesanais. Um dos requisitos principais exigidos para tal é a consideração das questões dimensionais.

Os sistemas construtivos de solo-cimento podem coexistir nas quatro categorias relacionadas anteriormente desde que se adequem as exigências e as necessidades de cada processo construtivo.

Podem ser tratados como artesanais quando utilizadas técnicas tradicionais para a produção e execução de sistemas construtivos de alvenaria ou paredes monolíticas, como o adobe ou a taipa de pilão.

São considerados convencionais quando podem conviver simultaneamente com outros componentes e elementos da construção, desempenhando uma função específica (vedação) dentro do contexto da edificação.

O caráter semi-industrializado e industrializado, referente às duas categorias posteriores, é relacionado aos processos de planejamento, produção e execução dos componentes e do sistema de construtivo de solo-cimento. Estes poderão ser parcialmente industrializados (semi-industrializados) através da utilização de equipamentos manuais ou automatizados na própria obra para a produção (pré-fabricada) de determinados componentes; como também, por meio da adoção de procedimentos racionalizados e sistematizados de planejamento, produção e execução.

Na industrialização dos sistemas construtivos de solo-cimento, refere-se a possível automatização de grande parte do processo de produção e industrialização

dos componentes, a especialização da mão-de-obra, sistematização e ordenação do processo executivo, racionalização e a inter-relação mútua entre os processos de planejamento, produção e execução da edificação através da adoção de critérios dimensionais comuns e correlacionados.

1.2 – Os Sistemas Construtivos de Solo-Cimento: Uma Solução Sustentável para Construção Civil

Os sistemas construtivos de solo-cimento apresentam-se como mais um recurso na busca de soluções para minimização de custos da construção, devido à utilização de matéria-prima abundante e de baixo custo (solo), facilidade de produção dos componentes (tijolos, blocos e painéis) e execução das técnicas construtivas.

O uso de sistemas construtivos que utilizem a terra como matéria prima é de grande importância frente aos desafios que os países menos desenvolvidos enfrentam diante do elevado déficit habitacional. É sempre previsível a atitude inicial de solucionar o problema da habitação através da aquisição de novas tecnologias, uma tentativa de produção em massa com menores custos operacionais. Na Europa do pós-guerra, alguns países que almejavam solucionar seus problemas habitacionais rapidamente optaram pela industrialização da construção.

Os procedimentos industrializados da construção poderão coexistir tanto com os artesanais e com os tradicionais, proporcionando soluções alternativas para cada caso em particular a ser estudado.

Mesmo que haja a redução de custos na produção industrializada de habitações, é necessário que seja considerado o balanço de produtividade no quadro geral da sociedade, como conseqüências sociais e demandas de caráter mais abrangente e emergencial que seriam seguramente afetadas.

De acordo com dados das Nações Unidas, cerca de 50% das habitações construídas nas grandes cidades da América Latina, foram erguidas por mecanismos de autoconstrução ou ajuda mútua, utilizando-se dos mais diversos materiais, provenientes muitas vezes dos desperdícios nas grandes cidades (Foto 1.1) ou de recursos naturais existentes (materiais usados, madeira, zinco, taipa, papelão, adobe, etc).

A produção cultural contemporânea, na qual a arquitetura está inserida, a todo o momento vislumbra novos horizontes e perspectivas, como também enfatiza o resgate das tradições. No contexto deste resgate, a arquitetura de terra apresenta-se

como “possível” fator de sustentabilidade em relação à carência habitacional dos países emergentes e pobres.

O arcabouço de edificações históricas preservadas até os tempos atuais em muitos países demonstra a viabilidade do material empregado, e das tipologias dos sistemas construtivos e arquitetônicos. A grande diversidade de técnicas de arquitetura de terra somada a novas abordagens tecno-científicas possibilitam soluções mais adequadas de produção, intercambialidade com outras técnicas construtivas, métodos racionalizados de estocagem de materiais e componentes, sistematização do processo construtivo, desenvolvimento de projetos e tipologias arquitetônicas específicas, resultando na redução de custos associada ao incremento de qualidade, principalmente em construções de baixo custo.

Para Rosso é possível a aplicação de conceitos de racionalização ao método tradicional. Este processo evolutivo deverá acontecer em etapas até alcançar um processo a nível industrial, numa aceção mais radical do termo. O processo de racionalização deve e pode agir sobre a edificação/produto com a edificação/processo (ROSSO, 1980).

A construção industrializada se caracteriza também em aproveitar e tirar partido da intercambialidade entre as diversas soluções existentes no panorama da obra, independente do grau tecnológico de desenvolvimento, que forneçam subsídios para o aumento da qualidade da obra e da construção em todos os seus aspectos. É importante ressaltar que, para determinados casos, os sistemas construtivos artesanais ou tradicionais poderão ser mais viáveis sob o ponto de vista técnico e econômico.

Uma casa pode ser construída com materiais cerâmicos, pedra, madeira, terra, cimento e um percentual elevado de mão-de-obra, quase toda sem especialização. As obras de âmbito mais complexo, como uma ponte e barragens, se constroem com concreto, aço, e equipamentos que exigem uma mão-de-obra especializada.

Novos recursos tecnológicos muitas vezes trazem magníficos e custosos equipamentos, com a utilização de matérias-primas de aplicação mais nobre requerendo uma mão-de-obra especializada e conseqüentemente gerando um baixo índice de empregos para a construção.



Foto 1.1 – Habitação provisória construída com restos de materiais diversos.
(Acampamento de refugiados – Sebaco / Nicarágua).

A importância dos sistemas construtivos de solo-cimento para o Brasil, por exemplo, se deve ao fato de possibilitar recursos que viabilizem a minimização do custo da construção, proporcionando condições para as populações carentes de a utilizarem. As tecnologias de solo-cimento são de fácil domínio técnico e não exigem um elevado grau de conhecimento especializado da mão-de-obra.

Desta forma, as iniciativas conjuntas de comunidades organizadas através de regimes de mutirão (autoconstrução), são “bem-vindas” para o uso destas tecnologias proporcionando condições de menores custos para a execução, tornando a construção mais econômica. Mas a orientação técnica durante todo processo é de suma relevância para a eficiente execução da construção.

Entretanto é importante salientar que, para um crescente desenvolvimento, aperfeiçoamento e difusão dos sistemas construtivos de solo-cimento é necessário que este escopo tecnológico esteja, cada vez mais, inserido dentro de um contexto de industrialização.

1.3 – Objetivos

Os objetivos gerais deste trabalho são:

Identificar e relacionar, após o estudo das diversas tecnologias de solo-cimento, os fatores que precisam ser considerados para que estas tecnologias e a sua industrialização possam conviver adequadamente, proporcionando condições para o seu aperfeiçoamento e a difusão da sua utilização.

Analisar questões relevantes que dificultam o desenvolvimento de critérios científicos mensuráveis de análise (a partir de parâmetros pré-estabelecidos), de forma a propiciar condições de análise comparativa entre as tecnologias de terra, diferentes materiais e técnicas, bem como, a aplicação intercambiável entre estas na edificação em diferentes contextos.

1.4 – Metodologias

A seguir é apresentado, de forma sucinta, a estrutura metodológica aplicada durante a pesquisa:

- 1) Revisão bibliográfica:
 - Abordagem do panorama geral sobre os processos de produção;
 - Levantamento histórico dos sistemas construtivos de terra crua no Brasil e entre outros países;
 - As atuais iniciativas e interesses de entidades, centro de pesquisas e da construção civil em geral sobre os sistemas construtivos de terra crua;
 - Estudo dos sistemas construtivos tradicionais;
 - Estado da arte;
- 2) Estudo das propriedades da terra como matéria-prima e suas características quando utilizada como material de construção;
- 3) Estudo e análise das propriedades físicas e químicas relacionadas à mistura de solo-cimento;
- 4) Estudo e análise sobre metodologias e procedimentos racionalizados para a inserção gradativa e o aperfeiçoamento de processos industrializados nos sistemas construtivos de solo-cimento;

- 5) Estudo de caso de 4 tecnologias de solo-cimento classificados em 2 sistemas construtivos diferentes: painéis e alvenaria;
- 6) Análise das tecnologias de solo-cimento;
- 7) Tabulação e análise de resultados conclusivos;
- 8) Conclusões finais e recomendações;

2- ABORDAGEM HISTÓRICA SOBRE ARQUITETURA DE TERRA

2.1 – Um Sistema Construtivo Milenar

O interesse do homem antigo pela construção de moradias com terra surgiu no momento em que os abrigos oferecidos pela natureza, não respondiam mais aos seus anseios de conforto e segurança. As paredes e muros primitivos eram construídos em blocos de pedras, montados e alinhados. Em regiões, onde não havia pedras em abundância, os muros eram erguidos com a ajuda de outros materiais disponíveis no local, como a terra e a madeira (NEVES, 2001).

Através de evidências arqueológicas constatou-se, que o uso da terra na construção data desde o final do período Neolítico. A utilização da terra como material de construção é uma expressão marcante das possibilidades de aplicação dos recursos naturais abundantes, na convivência do homem com a natureza. Os povos antigos descobriram esta disponibilidade e souberam utilizá-la da melhor forma possível (NEVES, 2001).

Muitas construções erguidas no passado ainda se mantem preservadas até os dias de hoje, mesmo com a ação erosiva de ventos e chuvas. A Grande Muralha da China é um dos maiores exemplos de construções de terra erguida e preservada até os dias de hoje (Foto 2.1). Em quase toda a Mesopotâmia, na Assíria e no Egito foram utilizados blocos de adobe pela primeira vez para a construção de arcos e domos (LEITÃO, 1993).

Em diversas partes do mundo a construção de terra esteve presente, e em virtude de fatores técnicos e culturais foram sofrendo adaptações a fim de atender melhor as necessidades do homem e de seu ambiente construído. Ao longo do tempo, os acontecimentos históricos de cada época permitiram o intercâmbio dos inúmeros processos construtivos de terra entre as diversas regiões do mundo (Foto 2.2).

O aperfeiçoamento das técnicas construtivas variou desde os adobes, moldados de uma mistura plástica de terra e água, aos adobes melhorados com asfalto natural, como no caso das construções na Babilônia e Assíria. Os adobes com palha e bambu foram bastante utilizados no antigo Egito para reduzir o efeito de retração (LEITÃO, 1993).



Foto 2.1 – Muralha da China.



Foto 2.2 – Aqueduto romano construído com técnica de terra crua.

Os romanos introduziram a técnica de construção com terra na Península Ibérica, que mais tarde foi enriquecida pelos árabes. Publicações que datam de 1870,

citam a existência de fortificações nos arredores de Valencia (Espanha), construídas em estruturas de terra há mais de dois mil anos (NEVES, 2001).

Foram utilizadas em países como Peru, México e no Sudoeste dos Estados Unidos, regiões mais favorecidas por suas características de clima quente e seco. As ruínas ainda existentes comprovam a grande utilização desta técnica neste continente. Em Joya de Céren, El Salvador, foi encontrada uma edificação de taipa que fora coberta de cinzas vulcânicas em 600 DC (NEVES,2001).

A técnica foi difundida nos Estados Unidos, onde um dos primeiros edifícios foi o Palácio dos Governadores, em Santa Fé, Novo México, em 1609. Próximo à mesma data, foi construído o Convento de São Francisco, na cidade Argentina de Santa Fé, concluído em 1695. Entretanto devido a problemas de abalos sísmicos que foram ocorrendo ao longo do tempo, muitas das construções do período colonial não resistiram até os tempos atuais (LEITÃO,1993).

No ano de 1789, já na era moderna, o arquiteto francês François Cointereaux desenvolveu uma prensa mecânica patenteada com o nome de “la crecise” também denominada de “nova taipa”, que produzia tijolos de terra crua comprimidos para construções urbanas e rurais (LADAGA,1993).

Em 1806, S.W. Johnson Brunswick, Nova Jersey, Estados Unidos, escreveu um dos primeiros livros sobre terra compactada. Na França e Alemanha, no início do século dezenove, alguns livros e textos de construção são publicados. Os primeiros estudos para a formulação de tecnologias de construção com terra ocorreram inicialmente na Rússia em 1870, quando foi criada em Nikolsk uma escola para ensino de métodos de construção de terra (NEVES, 1984).

Os avanços do setor industrial da construção civil com o surgimento de novas tecnologias construtivas e materiais mais duráveis foram substituindo gradativamente as técnicas artesanais. As técnicas construtivas de terra, que serviram aos povos antigos para a construção de suas habitações durante grande parte da história da humanidade, foram sendo cada vez menos utilizadas nas grandes obras públicas e privadas, onde os novos materiais ditavam novos padrões e conceitos estéticos.

Entretanto, as técnicas construtivas foram preservadas entre as populações menos favorecidas economicamente, devido aos custos elevados da construção no mercado convencional, sempre guiados pelos índices altos dos materiais provocados pela demanda nas outras faixas de renda. Em áreas carentes nos centros urbanos, o uso da terra sempre foi limitado devido principalmente a indisponibilidade de local adequado para a sua extração e manuseio. Entretanto, foram sendo utilizados outros materiais não-convencionais mais disponíveis nas cidades, para a construção de habitações como pedaços de tábuas, caixotes, papelão, latas, plásticos, etc.

Durante o século XX, principalmente nos períodos de escassez de materiais e déficits habitacionais², a técnica foi resgatada e aperfeiçoada em muitos países da Europa logo após as duas primeiras guerras. Segundo a Cement and Concrete Association, o solo-cimento foi descoberto por um engenheiro inglês, H.E. Brook-Bradley, que utilizou o material no tratamento de estradas e pistas para veículos puxados a cavalo, ao sul da Inglaterra (BAUER, 1985).

Nos Estados Unidos a utilização do solo-cimento iniciou em 1917, através do engenheiro T.H. Amies que o usava nesta época, e por este motivo foi conhecido com o nome de *soloamies* (BAUER, 1985).

A Portland Cement Association – PCA, em 1935, tendo em vistas os resultados promissores das pesquisas, que até então vinham sendo, realizadas sobre o comportamento das misturas compactadas de terra e cimento, começa a investir em um intenso programa de pesquisas visando a sua utilização como material de construção em estradas. Em laboratórios do PCA desenvolveram-se importantes trabalhos que definiram critérios básicos de dosagem que ainda estão em uso até os dias de hoje (NEVES, 1984).

No ano de 1936, é publicado nos Estados Unidos o primeiro de três importantes trabalhos de Ralph L. Patty. Patty iniciou no South Dakota Experimental Station estudos de novas soluções mais científicas de experimentação para a construção com terra compactada, realizou diversas investigações e pesquisas durante dez anos, construiu muros de provas, investigou as características do material e estudou revestimentos e pinturas para a terra compactada (NEVES, 1984).

Em meados do século XX, Le Corbusier, em 1941, publica a obra “Les Murondins”, onde se dedica inteiramente a uma proposta de reabilitação e racionalização da taipa como alternativa para a resolução do déficit de materiais de construção, ocorrido depois da segunda grande guerra (LADAGA, 1993).

Em 1941, o engenheiro Elbert Hubbel construiu silos, casas para índios e uma grande escola. Durante o mesmo ano, foi convidado pelo Bureau of Standards a trabalhar em um projeto em que se investigavam propriedades estruturais e térmicas de uma série de materiais de construção, dentre os quais estava incluída a terra compactada (LADAGA, 1993).

Estas investigações e experiências realizadas constituem as primeiras análises sobre o comportamento estrutural de paredes de terra compactada, solo-cimento compactado, blocos de solo-cimento e adobes melhorados com asfalto. Estes

² Ver Glossário p. 238

resultados demonstram o eficiente desempenho dos materiais de terra crua, principalmente nas paredes monolíticas de terra e solo-cimento.

O conhecido arquiteto norte-americano Frank Lloyd Wright, realizou um interessante projeto nos Estados Unidos, apesar de não ter sido executado. Tratava-se de casas para um grupo de operários de uma fábrica em Detroit. A proposta do projeto era de construir as paredes externas da casa em taludes, simplificando o uso das formas que só seriam necessárias e utilizadas para as paredes internas (NEVES, 1984).

O arquiteto francês Michel Luickx, no ano de 1943, edifica em taipa o hospital regional da vila de Adrar no Sahara Argelino, constituindo um dos exemplos mais importantes de construção pública em terra no século passado (LADAGA, 1993)

No Brasil, durante os anos 40, iniciou-se algumas experiências pela ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), como uma construção com 42 m² para uma casa de bombas em Santarém, no Pará, algumas casas residenciais em Petrópolis e um hospital em Manaus, este com uma área de 10.800 m², com capacidade para 432 leitos, terminado em 1950 (NEVES, 1984).

Em paralelo à experiência brasileira, o Instituto del Cemento Portland Argentino – ICPA realizou uma série de publicações divulgando o uso correto dos sistemas construtivos de solo-cimento para a construção de casas. Foram ainda construídos pelo Ministério da Agricultura, silos em solo-cimento para armazenar um milhão de toneladas de grãos, além de uma casa na Exposición de Ganaderia de la Sociedad Rural Argentina, concluída em 1943. Este primeiro período de pesquisas desenvolvidas sobre terra compactada, finaliza na década de 1940, com o importante livro de Merrill (The Rammed-Earth House), publicado em 1947 (NEVES, 1984).

Durante a década de 50, os programas mais importantes de investigações de construções com terra que se tem notícias foram realizados em Israel, através do Ministério do Trabalho daquele país, com a participação da Administração de Ajuda Técnica das Nações Unidas e o do CINVA – Centro Interamericano de Vivenda y Planeamiento, estabelecido em 1951, em Bogotá, Colômbia, que teve ainda a participação da Organização dos Estados Americanos – OEA (NEVES, 1984). O trabalho do CINVA realizado na Colômbia teve grande ênfase nas construções com blocos de solo-cimento, para o qual foi desenvolvido por esta entidade um modelo bem simples de prensa manual, conhecida pelo nome de CINVA-RAM. Máquinas similares já haviam sido desenvolvidas na África do Sul, em Johannesburg, conhecidas comercialmente por “Landcrette” e “Ellson” (NEVES, 1984).

A “Estación Experimental de Vivendas” da Universidad Catolica de Chile, realizou em 1952 a construção de duas casas experimentais, através de um programa

de investigação em solo-cimento reforçado com fibras vegetais, arame farpado, ferro redondo, etc (NEVES, 1984).

Durante o ano de 1962, foi construído no Marrocos, na cidade de Marrakech, um conjunto de 2.700 habitações utilizando tijolos de terra estabilizada. Essa experiência serviu de modelo para que em 1967, Masson e Jean Hensens construísem na cidade de Ouarzazate, um bairro residencial em taipa com um sistema de formas metálicas que formavam o molde completo da casa (LADAGA,1993).

Em Recife, no ano de 1963, foi desenvolvido o projeto Cajueiro Seco, onde se pretendia executar casas de taipa com painéis pré-moldados de madeira, sendo também desenvolvido, durante a mesma época na Bahia, projeto em taipa pelo arquiteto Walter Gordilho (NEVES, 1984).

Em 1970, o arquiteto egípcio Hassan Fathy, criador no Cairo do Institut International de Recherche sur les Technologies Appropriées (Foto 2.3 e Foto 2.4), publica a obra “Gourna: uma história de duas cidades” onde fala sobre a sua experiência de construção com terra no Egito, e é traduzida para o francês com o título “Construir com o Povo” (FATHY,1980).

Durante a década de setenta, pesquisadores da ONU (Organização das Nações Unidas) estudaram novos critérios de dosagem para a mistura de solo-cimento, técnicas de compactação³ e prensagem⁴.



Foto 2.3 – Edificações de terra crua. Nova Gourna / Egito.
(Arquiteto Hassan Fathy)

³ - ⁴ Ver Glossário p. 237 e 238.



Foto 2.4 – Edificações de terra crua. Nova Gurna / Egito.
(Arquiteto Hassan Fathy)

Os resultados destas pesquisas foram aplicados em construções do programa de desenvolvimento das Nações Unidas (The United Nations Development Programme) em comunidades de diversos países pobres (BADC,1985).

O uso da terra como material de construção tem sido muito difundido para a fabricação de adobes em países como o México, devido principalmente ao conhecimento trazido pelos povos indígenas e colonizadores espanhóis (Foto 2.5 e Foto 2.6). As crises energéticas que se sucederam durante a década de setenta, também estimularam as construções com o adobe (BADC,1985).

Em 1981, na França, foi organizada uma importante exposição pelo arquiteto belga Jean Dethier, no centro George Pompidou em Beauborg, intitulada de “Down to Earth”. Durante a exposição foram mostrados exemplos de construções de terra em 34 países. Esta importante exposição foi apresentada em diversos países europeus, África, Estados Unidos e América do Sul. E visitada por um público estimado em dois milhões de pessoas (BADC,1985).

Os novos conceitos de arquitetura sustentável e de baixo impacto ambiental tem incentivado a utilização das tecnologias de terra, devido às características

intrínsecas do material. O estágio atual de aperfeiçoamento das tecnologias de terra se deve principalmente na associação com outras técnicas construtivas e materiais como o aço, concreto e madeira. Os blocos prensados de solo-cimento tem sido a técnica mais difundida e utilizada, pela facilidade de se obter as máquinas de prensagem, que foram desenvolvidas e são fabricadas comercialmente em muitos países. Apesar dos blocos serem obtidos a menor custo, existe a limitação de exigir na construção a mesma mão-de-obra que nas construções convencionais.

Inúmeros centros de pesquisas, universidades, profissionais técnicos e construtores, vem realizando importantes pesquisas e contribuições para o desenvolvimento das técnicas construtivas de solo estabilizado.

Dentre os diversos centros de pesquisas de arquitetura de terra, destaca-se a atuação do CRATERRE, situado em Grenoble, França. No início dos anos oitenta, diversos projetos experimentais foram desenvolvidos. O projeto mais expressivo realizado pelo CRATERRE foi à construção de 94 vilas utilizando tecnologias de terra, na região de Prajinburi, Tailândia. Este projeto foi executado durante os anos de 1983 a 1989.



Foto 2.5 – Construções em adobe realizadas pelo povo indígena Pueblo.

Novo México / Estados Unidos.

(A implantação do conjunto das edificações sob a grande “laje” rochosa, tem como objetivo a proteção solar nos períodos do ano de maior incidência e abrigo das intempéries, chuva e vento).



Foto 2.6 – Edificações em adobe. Novo México / Estados Unidos.

Outro relevante projeto realizado pela instituição foi à construção de 72 habitações no novo bairro de l'Isle d'Abeau situado entre as cidades de Lyon e Grenoble (Fotos 2.7 a 2.10). O projeto foi elogiado por utilizar técnicas novas e tradicionais de terra (BADC,1985).

No Brasil, as importantes contribuições atuais para o aperfeiçoamento das tecnologias de terra se deve principalmente à utilização do solo-cimento. Centros de pesquisas como o CEPED – BA (Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Bahia), vem realizando importantes trabalhos utilizando a técnica construtiva de painéis de solo-cimento, sob a coordenação da engenheira e pesquisadora Célia Neves. No mês de setembro de 2002, foi realizado na cidade de Salvador, Bahia, o primeiro SIACOT (Seminário Ibero-Americano de Construção com Terra). O evento contou com a participação de arquitetos de diversos países.

Outra importante entidade que promove e incentiva a utilização da arquitetura de terra é o ABCTerra, Associação Brasileira dos Construtores com Terra. Fundada em 23 de abril de 1997, em São Paulo, é uma organização não-governamental que visa divulgar, incentivar e promover o desenvolvimento da arquitetura com terra no Brasil. Através de pesquisas, capacitação técnica, execução de trabalhos e montagem de acervo de documentação. O professor e pesquisador da COPPE – UFRJ, Francisco Casanova é um importante profissional que tem contribuído com o seu trabalho para o aperfeiçoamento e difusão dos sistemas de alvenaria de solo-cimento no Brasil e em outros países. Com diversas contribuições em programas de habitações populares em favelas e bairros periféricos do Rio de Janeiro, o prof. Francisco Casanova teve o seu trabalho reconhecido recentemente pela UNESCO.

Devido à crescente demanda habitacional nas grandes cidades, principalmente nos países em desenvolvimento e para as faixas de mais baixa renda, os governos se

vêm cada vez mais pressionados pela necessidade de adotar técnicas alternativas ao uso de materiais convencionais.



Foto 2.7 – Edificações de terra crua realizadas com a utilização de técnicas construtivas mistas (CRATERRE). l'Isle d'Abeau - Grenoble / França.



Foto 2.8 – Edificações de terra crua realizadas com a utilização de técnicas construtivas mistas (CRATERRE). l'Isle d'Abeau - Grenoble / França.



Foto 2.9 – Edificação de terra crua realizada com a utilização de técnicas construtivas mistas (CRATERRE). l'Isle d'Abeau - Grenoble / França.

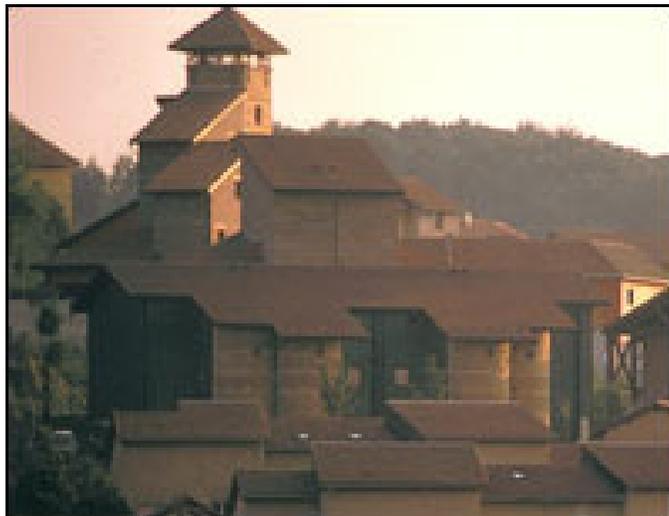


Foto 2.10 – Edificações de terra crua realizadas com técnicas construtivas mistas (CRATERRE). l'Isle d'Abeau - Grenoble / França.

A revitalização atual do uso das tecnologias de solo⁵ estabilizado se deve a três importantes razões. A primeira refere-se à iniciativa de um grupo restrito que,

⁵ Ver Glossário p. 239

“despertado” pelas qualidades do material, baixo impacto ambiental, tradição cultural e estética (material exótico e incomum), utilizam as diversas tecnologias de terra na construção. A segunda razão é motivada pelas iniciativas próprias das populações e comunidades de países pobres (países africanos, sul-americanos...). Em virtude da falta de recursos financeiros suficientes para a utilização dos materiais convencionais, recorrem às tecnologias de terra, como alternativa econômica viável para a construção de moradias. E por último, as iniciativas governamentais de alguns países e governos, preocupados com a necessidade de redução da demanda habitacional em países pobres ou em seus próprios países, utilizam as tecnologias de terra para maximizar a produção de construções de baixo custo.

2.2 – Arquitetura de Terra no Brasil Colonial: Aspectos de uma Tradição Local.

“A arquitetura regional autêntica tem as suas raízes na terra; é produto espontâneo das necessidades e conveniências da economia e do meio físico e social e se desenvolve, com tecnologia a um tempo incipiente e apurada, à feição da índole e do engenho de cada povo; ao passo que aqui a arquitetura veio já pronta e, embora beneficiada pela experiência anterior africana e oriental do colonizador, teve de ser adaptada como roupa feita, ou de meia-confecção, ao corpo da nova terra”.

(LUCIO COSTA, 1980, p. 11).

A colonização da América pelos portugueses e espanhóis, possibilitou o intercâmbio entre as técnicas nativas e as trazidas pelos colonizadores e africanos. Esta união de conhecimentos possibilitou o surgimento de numerosas combinações entre os diversos processos construtivos. No Brasil, as técnicas construtivas de terra muito utilizadas pela nossa arquitetura colonial (Foto 2.11), foram trazidas seguramente pelos portugueses e africanos, já que não foram comprovadas evidências de que o índio a tenha empregado na construção de suas moradias. Trazida no período colonial pelos portugueses, a taipa de pilão consistia em utilizar uma mistura de argila, areia e água para formar as paredes através do seu apiloamento em camadas, dentro de uma forma de tábuas, já com a espessura desejada, até formar uma massa coesa e compacta. Difundiu-se em todo o Brasil, principalmente pelo movimento bandeirista, mas caracterizou especialmente as construções no Planalto Paulista e no interior de São Paulo, distante dos materiais usados no litoral (pedras, óleo de baleia) ou dos trazidos pela metrópole.

Nos dois primeiros séculos, a preferência de cada região por um determinado processo construtivo foi se definindo. A taipa de pilão, encontrando terreno propício, fixou-se principalmente em São Paulo, enquanto que a alvenaria de tijolos foi mais empregada em Pernambuco e na Bahia. O adobe, como era comumente conhecido este tipo de tijolo, era moldado em formas de madeira, e depois de desenformado era secado ao sol, sem sofrer qualquer tipo de processo de queima. No relevo acidentado de Minas Gerais, caracterizado pelo “traçado” das ruas acompanhando as cumeadas dos morros e as construções despencando pelas encostas, a solução mais difundida foi o pau-a-pique sobre os baldrames. A técnica construtiva de pau-a-pique consistia em adotar uma trama reticular feita de sarrafos de madeira, como suporte para o preenchimento de uma mistura de terra bem argilosa e palha ou fibras vegetais. Já no Rio de Janeiro, as técnicas construtivas de cantaria (paredes ou muros de pedras) foram mais utilizadas pela abundância das jazidas de granito. A taipa de pilão era mais encontrada em regiões onde a extração de pedra era escassa. Foi amplamente empregada em todo o Brasil, principalmente no litoral, desde os muros de taipa grossa de defesa, à casa forte de taipa de pilão construída por Caramuru na Bahia, em 1540. Esta construção é considerada a primeira arquitetura mais duradoura levada a efeito no Brasil, até às grandes igrejas do interior de Minas Gerais.

Em igrejas de Minas Gerais também se encontra a taipa de pilão, como nas demais construções religiosas mais antigas ou em residências. Nestas, porém, o seu uso foi bem mais restrito, aparecendo mais no norte do estado, possivelmente por sua maior proximidade com a Bahia. Na região central do ouro aparece apenas nas igrejas, talvez pela dificuldade do seu uso em terreno acidentado, exigindo sempre a terraplenagem⁶ prévia e pela facilidade do emprego de outros materiais, como a madeira e a pedra.

⁶ Ver Glossário p. 239.



Foto 2.11 – Edificação construída com a utilização de técnica construtiva de terra crua. Minas Gerais / Brasil.

2.3 – Técnicas Construtivas de Terra Empregadas na Construção de Igrejas em Minas Gerais

As estruturas das igrejas eram feitas em esteios de madeira, fincadas no solo, com a ponta carbonizada e ligados entre si por baldrames e vigas. Para os fechamentos era utilizado a taipa de sebe ou pau-a-pique que consistia em paus roliços cravados no baldrame e fixados na viga superior com varas atravessadas horizontalmente. O barro⁷ e o pedregulho eram aplicados entre os paus, para corrigir as irregularidades e dar melhor acabamento. A argamassa de cal era utilizada como revestimento final da parede (Foto 2.12).

O madeiramento convencional utilizado na cobertura era constituído por tesouras, frechais, caibros, cachorros, etc. Também era empregada nas paredes a taipa de pilão, alvenaria de pedra argamassada ou adobe como soluções alternativas. A topografia acidentada de Minas Gerais possibilitou a predominância do sistema de taipa de mão (pau-a-pique) sobre o de taipa de pilão, por ser mais fácil a sua utilização. A alvenaria de pedra era também difundida e utilizada junto às taipas (de

⁷ - ⁸ Ver Glossário p. 237 e 238.

pilão e de mão) e com adobes desde a colonização. A técnica sobre o melhor barro a ser empregado foi repassada ao longo do tempo pelos artesãos que a praticavam, através de uma tradição oral. Infelizmente, muitos destes métodos não foram conservados com detalhes. Entretanto, sabe-se que deveria incluir determinada mistura de terra com areia e argila para obter maior aglutinação e menor possibilidade de desintegração, como também evitar o surgimento de trincas e fissuras na parede. Eram utilizados como estabilizantes⁸ ao barro, o estrume de gado com fibras vegetais ou mesmo a crina animal, todos estes materiais visando armar o barro com uma trama interna. Havia ainda a tradição de misturar ao barro o sangue de boi como aglutinante. A espessura das paredes de taipa de pilão, comumente empregada, variava de 0,40 a 0,80 m. Em determinados casos, onde era necessário vencer grandes alturas, as espessuras das paredes eram maiores. Em alguns casos raros, as paredes recebiam um reforço estrutural com peças de madeira dispostas longitudinalmente, com a distância comumente utilizada entre as peças de 0,60m a 1,00m, proporcionando uma armação para o barro e uma maior estabilidade estrutural da parede.



Foto 2.12 – Igreja construída com técnica construtiva de terra crua. Minas Gerais / Brasil.

Estas peças ainda eram utilizadas como vergas dos vãos, em suas alturas próprias. É possível encontrar em algumas paredes, peças de madeira colocadas transversalmente (sem função estrutural), utilizadas como travejamento dos taipais durante a construção e deixados como elementos perdidos. Os orifícios deixados quando são feitas as retiradas das peças de madeira eram conhecidos como cabodás.

Existem construções de taipa de pilão onde o barro não é peneirado e é misturado propositalmente com pedregulhos maiores e menores, resultando uma massa com o aspecto de concreto. As pedras podem ser recolhidas em um rio próprio (“in natura”) ou do próprio local da obra como no caso de Diamantina, onde o cascalho miúdo é usado com o nome de “cristal podre” ou piruruca. Este tipo de taipa é conhecido como de “formigão”.

3- A TERRA COMO MATÉRIA-PRIMA

3.1 – A Terra, Material de Construção

Bardou define a expressão “Arquitetura de Terra” como sendo o conjunto de edifícios construídos em terra crua, sem utilizar processos de cozimento para a produção de tijolos de alvenaria e paredes monolíticas (BARDOU, 1979).

As diferentes tecnologias construtivas que usam terra como material de construção se agrupam em três tipologias arquitetônicas distintas:

- **Arquitetura na Terra:** técnicas de construção que usam terra não processada ou “arquitetura primitiva”, que se refere a moradias escavadas em terrenos e encostas.
- **Arquitetura de Terra:** técnicas de construção que usam terra processada. adobe não estabilizado, semi-estabilizado e estabilizado.
- **Arquitetura com Terra:** técnicas mistas de construção que combinam estruturas portantes com terra, erguidas com outros materiais, como a madeira, o aço, pedra, estruturas de concreto, etc. (Fotos 3.1 a 3.4).

A terra como material para a construção pode ser usada basicamente de dois modos: embebida em água, formando uma massa plástica (argamassa de solo); ou uma mistura úmida de terra e água, compactada ou prensada. A eficiência do material pode ser ainda melhorada, adicionando pequenas dosagens de produtos estabilizantes, como a palha, o cimento, emulsões asfálticas, a cal, entre outros. Esses produtos permitem um melhor desempenho mecânico e maior impermeabilidade do material a ser empregado.

A composição do solo irá variar de região para região, e também, em virtude da profundidade em que for extraído e das diferentes camadas que o integram. Entretanto, é possível afirmar que o solo é composto basicamente de areia e argila em proporções variadas. O conhecimento das proporções de areia e argila é de fundamental importância na adoção da técnica construtiva de solo-cimento.

A utilização da massa plástica de solo, solo compactado e o solo prensado é vasta, podendo ser empregada na construção de fundações, paredes, pisos e tetos.

As técnicas construtivas se desenvolvem a partir de três processos básicos de manuseio da terra:

- Massa plástica para a fabricação de adobes e material de enchimento de entramados;
- Solo compactado (técnicas de apiloamento) para fabricação de tijolos por compactação, construção de fundações, paredes e muros monolíticos;
- Solo prensado para fabricação de tijolos e telhas por meio de prensas manuais ou hidráulicas;

Os solos são classificados em função das propriedades dos grãos que o compõem como cor, forma, textura superficial, granulometria, plasticidade, composição química e das propriedades do solo como um todo, grau de umidade, massa específica aparente, permeabilidade.



Foto 3.1 – Arquitetura com terra (utilização da técnica de terra crua em interface com outras técnicas construtivas de diferentes materiais como o aço e a madeira). Ranelagh – Tasmania / Austrália.



Foto 3.2 – Arquitetura com terra. Ranelagh – Tasmania / Austrália.



Foto 3.3 – Arquitetura com terra. Ranelagh – Tasmania / Austrália.



Foto 3.4 – Arquitetura com terra. Ranelagh – Tasmania / Austrália.

Exemplo de solução arquitetônica e estrutural, em forma de pórtico com pérgula, onde pilares de terra crua são utilizados como solução estrutural para a sustentação de vigas metálicas em perfis “I”, que servem de apoio para a pérgula em madeira.

3.2 – Composição e Propriedades da Mistura de Terra

3.2.1 – Proporção de Argila e Areia

A terra é produto do intemperismo das rochas da crosta terrestre. Este processo ocorre fundamentalmente através da pulverização das rochas provocadas por movimentos glaciares, da água e vento, pela expansão e contração térmica das rochas ou pela expansão da água congelada nas fendas das rochas. Alguns ácidos orgânicos presentes nas plantas podem provocar reações químicas junto com a água e o oxigênio, provocando também o intemperismo das rochas. A composição e a variedade das propriedades do solo dependerá do lugar de onde será extraído.

A constituição das propriedades da mistura de terra permite uma coesão interna, onde a argila age com a função de argamassa, enquanto a areia age como um esqueleto interno, tomando como exemplo o tijolo de terra pelas suas propriedades

coesivas, é indispensável uma quantidade mínima de argila na estrutura de terra. A capacidade da argila de variar de volume em função da proporção de água cria alterações importantes no material, proporcionando a aglutinação dos componentes da mistura. A porcentagem de solo argiloso deve ser limitada no tijolo de terra, inferior a 50%. E a proporção de areia deverá ser superior a 50%. O comportamento de um tijolo de terra em presença da água dependerá das propriedades mineralógicas e químicas de sua constituição, em particular da argila. O índice de plasticidade de um solo permite caracterizar o seu comportamento em presença da água. Os solos, quando em contato com a água, apresentam uma fase elástica e outra plástica. A predominância de uma fase sobre a outra dependerá da intensidade das forças aplicadas sobre o solo e o grau de umidade presente. O solo é um material que pode passar do estado líquido para o plástico e do plástico para o sólido por uma simples variação de umidade.

O índice de plasticidade, tal como se define em Mecânica dos Solos, é a diferença entre o conteúdo de água em que o solo apresenta uma consistência líquida “tipo” (ideal), e o conteúdo de água que o solo deverá apresentar para ter uma consistência plástica “tipo” (ideal). Quanto mais elevado o índice de plasticidade de um tijolo de terra, maior será o seu aumento de volume por umedecimento e a retração por secagem. Os experimentos buscam encontrar as quantidades de agregados e aditivos ideais para aumentar a resistência das misturas às intempéries.

Os estudos incluem a preocupação em reduzir a condutividade térmica das misturas. Para aumentar a capacidade de isolamento térmico (que aumenta com a espessura maior do material utilizado), foi desenvolvida uma terra agregando minerais porosos tais como argila, vidro ou lava expandidas, e ainda pedra-pomes e palha. A qualidade da composição de terra é também um fator determinante para o eficiente desempenho do material.

Diferentes ensaios laboratoriais têm demonstrado que, semelhante ao tijolo convencional, a resistência à compressão e as propriedades mecânicas do tijolo de terra são proporcionais à compactação do material. Os solos de granulometria não uniforme permitem obter uma compactação mais eficaz que os solos de granulometria uniforme. Durante a compactação, as pequenas partículas são mais bem distribuídas entre os vazios das partículas maiores permitindo uma melhor coesão do material.

3.2.2 – Relação de Água e Mistura Ótima

A água é um componente importante que ativa as forças aglutinantes do barro. Existem três tipos diferentes de água no barro: água da cristalização (água estrutural),

água absorvida e água livre (água dos poros). A água da cristalização esta quimicamente interligada ao barro, e pode ser evaporada quando submetida a um aquecimento de 400^o a 900^oC. A água absorvida está contida e interligada aos minerais da argila. A água livre é a água que está presente nos poros do material.

A relação de água e mistura permite caracterizar o comportamento do solo em presença da água. A proporção de água ótima, **PAO**, para a mistura do tijolo de terra, é a quantidade de água necessária para lubrificar as partículas de solo e permitir o seu deslocamento no interior da massa. Se a proporção de água não for suficiente não permitirá o deslocamento. Quando a proporção de água for grande, a terra se umedece excessivamente e não apresentará coesão suficiente.

A **PAO** (proporção de água ótima) varia com a pressão da compactação. Quando a pressão aplicada aumenta, a **PAO** diminui. A **PAO** é geralmente inferior ao limite de plasticidade. A **PAO** depende da proporção de argila do tijolo de terra, e o comportamento desta argila em presença de água é responsável, portanto, pelas modificações de volume que o tijolo de terra é suscetível de sofrer em caso de modificação do grau de umidade.

3.2.3 – Estabilização do Solo

A estabilização de solo é um processo antigo utilizado por diversas culturas para tornar a mistura mais resistente ao intemperismo, sem comprometer a resistência mecânica. A cinza vulcânica, óleo animal ou vegetal e o betume são alguns exemplos de estabilizantes utilizados. A correção granulométrica a partir de dois tipos de solos de granulometria diferentes, é uma outra opção para se obter a estabilização da mistura.

Segundo Hogentogler (1937), para estabilizar um solo natural é necessário proporcionar-lhe características de resistência, de forma que seja possível suportar cargas e agentes externos sem deformações e alterações excessivas ou prejudiciais e sob qualquer condição climática (citado por LADAGA, 1993).

Existe uma relação crítica, em que as partículas de solo podem se movimentar e o conjunto não sofre mais expansão ou densificação. Uma porcentagem elevada de vazios conduz a solos instáveis e baixando esta porcentagem de vazios até atingir a porcentagem crítica, o solo torna-se estável. Considerando-se o solo constituído apenas de agregado graúdo (pedregulho) e agregado miúdo (areia), ou seja, o solo de tipo granular, a resistência mecânica desse solo depende apenas do atrito interno, não havendo coesão. Torna-se então necessário juntar, ao mesmo, um material com propriedades cimentícias, cuja função é manter as partículas unidas, fazendo com que

o solo tenha coesão. Esta substância cimentícia pode ser o cimento, agentes impermeabilizantes (betumes), ou ainda um material argiloso (BAPTISTA, 1986).

A granulometria, a umidade e o grau de compactação são fatores preponderantes para se atingir um grau adequado de estabilização da mistura. As técnicas de estabilização podem ser definidas em compactação, prensagem e a adição de materiais que tenham propriedades aglomerantes. Pode-se concluir então dois tipos distintos de estabilização, o primeiro devido as características:

- Granulométricas, teor de umidade e grau de compactação;

E o segundo tipo caracterizado pela:

- Adição de substâncias, denominadas estabilizantes;

Entretanto é importante ressaltar que para uma melhor eficiência da estabilização da mistura a ser utilizada como material de construção, deve ser utilizado os dois tipos em conjunto. Devido à permeabilidade e porosidade natural, o solo é vulnerável à ação da água. É possível limitar esta penetração da água limitando os espaços entre os grãos da composição da mistura de terra. As técnicas de compactação e prensagem têm este objetivo.

A argila contida no tijolo de terra sempre é suscetível de apresentar variações de volume no caso de modificação na proporção de água. Ciclos alternados de umedecimento e secagem, em particular, se traduzem por uma “expansão” e uma “retração” da argila, sendo capazes de criar desequilíbrios na massa do material. Para limitar as variações de volume do tijolo de terra, é necessário incorporar uma substância estabilizadora que permita melhorar o seu comportamento. Este estabilizante terá como objetivo unir as partículas do material entre si, impedindo que o tijolo absorva água, evitando assim, contrações ou variações exageradas do material. Existe uma grande quantidade de estabilizantes herdados pelas técnicas tradicionais e descobertos recentemente.

Para tornar a terra impermeável foram pesquisados outros aditivos, além de cimento e cal já conhecidos, o óleo de linhaça, o silicone, éster de ácido silícico e emulsão betuminosa, entre outros, foram utilizados com ótimos resultados. A simples reunião de cal e caseína, líquido extraído do leite animal é uma solução encontrada com resultados comprovados pelos pesquisadores.

Os estabilizantes se dividem em 4 categorias (Figura 3.1), segundo o efeito sobre as partículas do material (mistura) (BARDOU, 1979):

- Estabilização por cimentação;
- Estabilização por armação;
- Estabilização por impermeabilização;
- Estabilização por tratamento químico;

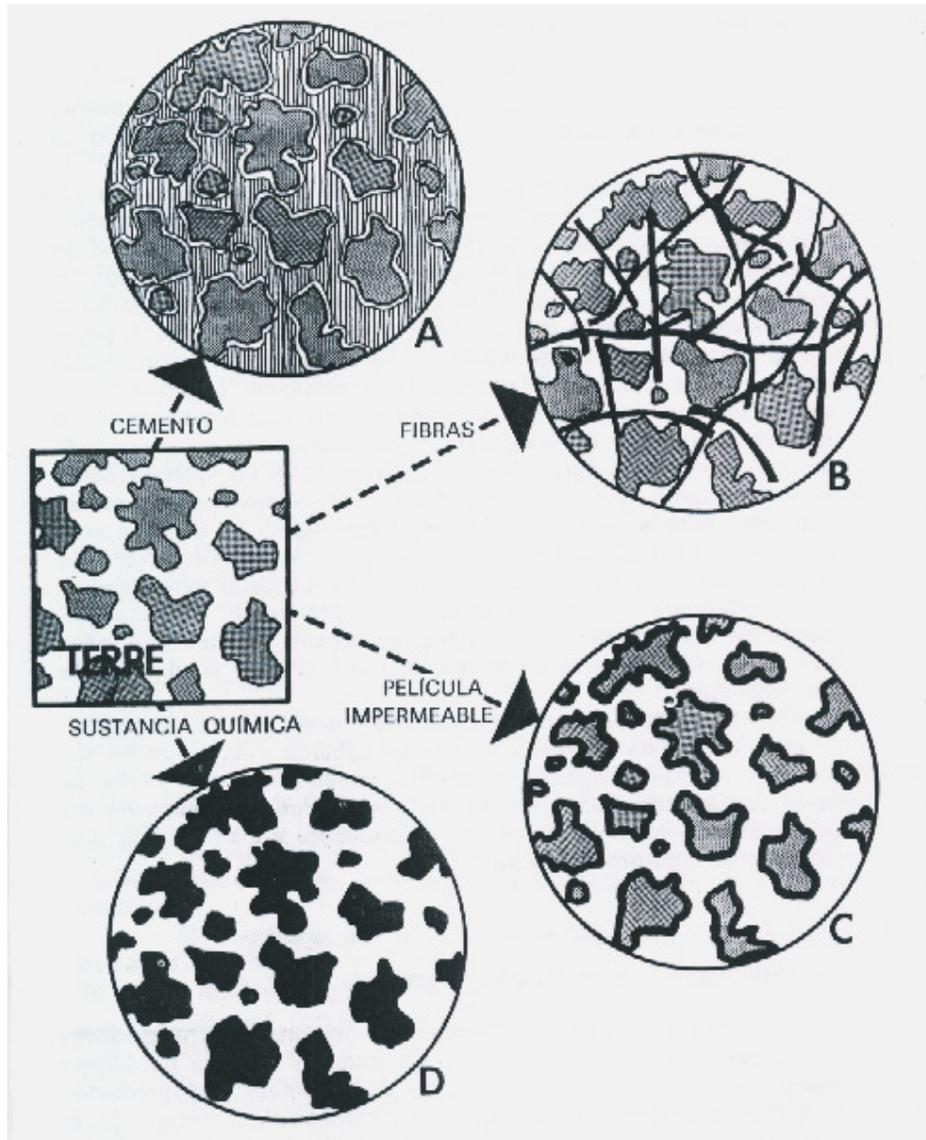


Figura 3.1 – Comportamento das partículas no interior da mistura de terra pela ação dos diversos métodos de estabilização.

A) Cimentação / B) Armação / C) Impermeabilização / D) Tratamento químico

Estabilização por Cimentação

Consiste em adicionar ao tijolo de terra uma substância capaz de unir os grãos de areia às partículas menores da mistura criando, uma coesão entre os grãos, combatendo as variações de volume da argila e a sua absorção de água.

O cimento (tipo Portland) é um dos principais estabilizadores. Quando adicionado à argila cria uma coesão interna que minimiza os efeitos de expansão e retração da argila na mistura. É necessária uma boa mistura a fim de evitar pequenas cavidades e coágulos provocados pela secagem rápida. A resistência é acrescida quando retarda o período de secagem do tijolo estabilizado, devendo resguardá-lo do sol por uma semana aproximadamente, para garantir a correta reação química entre o cimento e a água.

Outro produto de fácil obtenção também utilizado como um eficiente estabilizante, é a cal “viva” e “apagada”⁹. Possui uma boa resistência final e é mais utilizada em países pobres (custo menor comparado ao cimento).

A mistura de cal e cimento na mistura de solo é perfeitamente possível, permitindo aproveitar as vantagens respectivas, como mais tempo disponível para o processo de mistura e produção que a mistura de solo-cimento, e durante a secagem adquire resistência mais rápida que a mistura de solo-cal.

Estabilização por Armação

Consiste em agregar um material (grãos, fibras vegetais) que permita assegurar uma melhor consolidação dos elementos misturados na argila. Estes materiais funcionam como um “esqueleto interno” que aumenta a resistência imediata da mistura de terra. Entretanto há uma diminuição pequena da resistência final do tijolo seco. Este tipo de solução não protege totalmente a construção de terra crua das infiltrações de água. Em compensação assegura uma boa estabilidade (resistência) à ação da erosão (chuva e vento), em virtude da face externa do tijolo ser composta por um material resistente agregado na mistura de terra. Diversas técnicas tradicionais de terra crua caracterizam-se pelo uso deste tipo de estabilização (pau-a-pique, taipa de pilão e adobe), que ocasionalmente, podem causar problemas de resistência da mistura de terra com materiais locais.

O inventário de materiais que permitem armar a terra não é limitado e responde a todas as adaptações locais da técnica disponíveis na região. Os mais comuns e

⁹ Ver Glossário p. 237.

utilizados são: a palha seca cortada, fibras vegetais, fibras de folha de palmeiras, cascas de madeira, cortiças, etc.

É importante ressaltar que apesar da estabilização por armação ter a função de distribuir melhor os efeitos de retração e expansão próprios da mistura de terra na parede, não age diretamente sobre as propriedades químicas. Tendo uma característica mais de agregado pela sua ação mecânica na mistura do que propriamente química de estabilizantes, embora Bardou a classifique como estabilização por armação.

Estabilização por Impermeabilização

Este tipo de estabilização consiste em envolver as partículas de argila em uma capa impermeável para formar um composto estável e protegido da ação da umidade.

O material mais conhecido que assegura esta impermeabilização é o asfalto (betume). A utilização deste material remonta há vários milênios antes de Cristo. Apresenta-se na forma de um líquido pastoso, sendo necessário misturar com água ou com um solvente volátil. A capa de betume que fica em suspensão na água não apresenta mais que uma espessura de algumas micra. A mistura de terra conserva sua coesão, em compensação perde sua plasticidade, mas não permanece sujeita a indesejáveis variações de volume. A lubrificação das partículas de argila permite uma compactação mais eficiente.

Existem outros produtos impermeabilizantes utilizados nas técnicas tradicionais. O princípio é análogo, porém a sua eficácia é menor devido a pouca solubilidade de produtos, como o azeite de coco, as seivas de certas plantas, seivas de plantas oleosas, látex, azeites vegetais.

Estabilização por Tratamento Químico

Consiste em melhorar as propriedades da mistura de terra, adicionando substâncias capazes de formar um composto estável com os elementos da argila. Os produtos químicos a serem adotados variam segundo a composição da própria terra, sendo necessário uma análise prévia para determinar quais os elementos poderão reagir quimicamente melhor para atender às necessidades desejadas a serem alcançadas na mistura.

Em alguns casos, a estabilização à base de cal revela-se como uma estabilização química, mais que a cimentação. A cal poderá reagir com os silicatos e

aluminatos, presentes na argila, para formar um composto “pozolânico”¹⁰ estável, diminuindo a plasticidade da mistura de terra. Os silicatos de sódio, por exemplo, são produtos de baixo custo e muito eficazes. Outros mais rústicos e primitivos como o esterco bovino, que age como impregnante por ter amônia, em certos casos permitem alcançar resultados positivos.

Os estabilizantes são utilizados na preparação da mistura de terra, tanto para execução dos muros (terra comprimida, adobe) como para a realização de rebocos. Por exemplo, na fabricação de tijolos (compactados ou prensados) que necessitam de um período de armazenamento na obra, e diversas manipulações, tem sido preferível utilizar o cimento ou a cal para reduzir a sua fragilidade. A argamassa que serve como reboco de acabamento será mais eficaz se forem adicionados estabilizantes por armação (palha, fezes seca de gado) ou impermeabilizantes (vegetais oleosos, betume) (BARDOU,1979).

3.3 – Propriedades da Terra como Material de Construção

3.3.1 – Características Físico-Mecânicas

Resistência à Compressão

A resistência à compressão dos elementos feitos de terra, como blocos de terra e terra compactada variam geralmente de 5 a 50 kg/cm² (MINKE,1994). Entretanto é importante salientar que dependerá da quantidade e tipo de argilas do solo, como também da distribuição granulométrica de silte, areia e agregados maiores, métodos de preparação, quantidade de água e do método de compactação (dinâmica ou estática) a ser empregado. Existem ainda métodos de tratamento com aditivos para ainda melhorar a resistência à compressão da mistura.

Resistência à Tração (Coesividade)

A resistência à tração do barro em estado plástico é função da coesividade. A coesividade do barro depende da composição do solo: do conteúdo de argila e também dos tipos de minerais argilosos presentes, e quantidade de água presente.

¹⁰ Ver Glossário p. 238.

A resistência do barro à tração, em construções de terra, deve ser tratada com precaução, tendo em vista o fato do barro não ser resistente aos esforços de tração (MINKE, 1994).

A resistência à tração depende fundamentalmente do conteúdo de argila e do tipo de minerais da argila. A argila montmorilonítica tem uma resistência à tração mais alta que a argila caolinítica, por exemplo.

Compactação

A compactação do barro por força estática para incrementar a sua resistência à compressão, em geral, é menos eficiente do que compactar a mistura com forças dinâmicas (vibrações). Segundo Minke, a resistência à compressão da mistura está na estrutura laminar dos minerais presentes na argila e na atração elétrica entre as partículas ativadas, através da presença da água e sua movimentação no interior da mistura (MINKE, 1994). Isto significa que, ao ser comprimida a mistura em estado plástico, os minerais da argila estão em condições de união melhor e mais densos, alcançando assim, uma maior coesão e, ao secar, uma maior resistência à compressão. Quando um objeto pesado cai sobre o barro, ocasiona ondas que provocam vibrações em suas partículas. Esta, por sua vez, cria movimentos que permitem às partículas alcançar uma densidade maior. E havendo também uma quantidade “ótima” de água, os minerais da argila adquirem a capacidade de formar uma estrutura interna mais ordenada conduzindo a uma maior coesão e resistência à compressão. Esta quantidade de água adequada deve ser mensurada através de testes realizados em laboratório por ensaios de compressão.

Comportamento Térmico

O volume de ar alojado nos poros do material e o grau de umidade resultam em fatores determinantes para o bom conforto térmico da parede, uma vez que paredes com grande capacidade de armazenamento de calor (paredes espessas e materiais porosos) possibilitam um atraso na condução do calor acumulado para o interior da construção, e a conseqüente diminuição da amplitude térmica. Portanto, o grau de compactação da terra (porosidade), a espessura da parede e o grau de umidade do material terão influências significativas no conforto térmico no interior da construção.

Umidade do Material

O conforto térmico de uma edificação terá influência direta da temperatura do espaço interno, da temperatura do espaço circundante (entorno), do movimento do ar no interior e da umidade do ar. O teor de umidade do ar é um fator preponderante para o bem estar do usuário. O teor ideal de umidade do ar varia em torno de 50% a 70%. Valores menores podem causar danos prejudiciais à saúde como ressecamento das mucosas. A umidade relativa do ar acima de 70% propicia ambientes para proliferação de fungos e bactérias nocivas à saúde.

Conforme o tipo de material utilizado na construção, este poderá estabelecer condições de equilíbrio entre a umidade relativa do ar e o ambiente interno, tornando o ambiente favorável ao uso e o bem estar do usuário. Todos os materiais porosos, quando secos, possuem uma umidade característica denominada equilíbrio de conteúdo de umidade, que depende da umidade do ar do ambiente. Quanto maior for a umidade, maior a quantidade de água absorvida pelo material. Se a umidade do ar é reduzida, o material irá transferir umidade armazenada para o ambiente.

Materiais porosos tem a capacidade de absorver a umidade do ambiente e devolver oferecendo um equilíbrio de umidade para o ambiente interior. O conteúdo de umidade do material depende da temperatura e umidade do ambiente. O processo de equilíbrio de umidade do espaço interno está intrinsecamente relacionado com a velocidade de absorção e de transferência de umidade presente no material para o ambiente interno. Esta característica do material dependerá de suas propriedades físicas e químicas.

A terra utilizada como material de construção possui boas condições de equilíbrio de umidade interna para uma edificação em ambientes onde a umidade relativa do ar não permaneça na maior parte do tempo acima de 70%. Este fato está relacionado diretamente com o teor granulométrico que possibilita a existência de espaços internos e porosidades em sua superfície, os quais facilita a absorção, armazenamento e conseqüentemente a troca de umidade com o meio. E devido a sua baixa condutibilidade térmica, proporciona uma baixa velocidade de transferência de calor ao ambiente, permitindo estabelecer condições de equilíbrio entre a umidade do ar e o ambiente interno da edificação.

Aderência

Em tijolos de barro a aderência tem uma importância significativa. Esta dependerá da aspereza da superfície, das propriedades químicas de aderência do

material do componente e a argamassa, compactação e o grau de deformação do tijolo. Os tijolos de barro se unem por uma argamassa feita com a própria mistura, de espessura variável, conforme traço específico e o acoplamento do componente. Em painéis monolíticos, a aderência de uma camada a outra é feita pela escarificação da superfície superior da camada executada e pela aplicação de argamassa de solo-cimento entre as fiadas, como também pela própria compactação.

As propriedades de aderência dos materiais de solo-cimento com os revestimentos, pinturas e reparações devem ser analisados e previstos, a priori, sob aspectos de compatibilidade físicas e químicas entre os mesmos, antes da determinação do melhor acabamento a ser utilizado. Outro fator preponderante para estabelecer condições de aderência é o grau de diferença do coeficiente de dilatação entre os materiais, componente e revestimento. Diferenças consideráveis deste fator poderá ocasionar deslocamentos ou até mesmo o desprendimento do revestimento utilizado. Dependendo do tipo de revestimento a ser utilizado como acabamento, o grau de aspereza e porosidade da superfície do material terá influência relevante para determinar a qualidade da aderência do material a parede. Superfícies ásperas, em geral, facilitam a aderência de um material a outro por intermédio de uma argamassa de união.

Radioatividade

Medições de radiação de raios beta e gama realizadas mostraram que o barro possui valores menores, quando comparados ao concreto e o tijolo cozido. Em alguns ensaios realizados com tijolos com aditivos como a escória de fornos, o grau de radiação constatado foi maior pela presença do ferro (MINKE, 1994). O fato de a terra ser um material de baixa radioatividade ressalta as suas propriedades não poluentes e não prejudiciais à saúde.

3.3.2 – Ensaios Laboratoriais e Empíricos (no Local)

A verificação da composição do solo é fundamental para constatar se o solo é apropriado para uma aplicação específica. Os primeiros blocos de ensaios importantes necessários é relacionado com as características do material. Inclui as análises químicas de amostras extraídas na obra, sendo especialmente importante conhecer as porcentagens de silício, óxidos de cálcio, ferro, magnésio e matéria orgânica contida na amostra.

O solo extraído de uma profundidade menor de que 40 cm possui uma probabilidade maior de possuir matéria orgânica e húmus (produto da decomposição orgânica). Deve ser evitado, portanto, a utilização destes solos de camadas superficiais do terreno, por conter maior quantidade de matéria orgânica e possa apodrecer. Estes materiais contidos no solo utilizados na construção poderão provocar diversas patologias nas paredes, como trincas e fissuras, decorrentes de sua decomposição degenerativa.

Também é preciso conhecer a composição granulométrica em porções do material retidas em peneiras nos sucessivos testes, para conhecer a porcentagem de agregados (areia, pedras miúdas), argila e materiais orgânicos; que permitirá classificar o solo em função de sua granulometria, definindo com isso, por exemplo, se este se encontra dentro da faixa granulométrica que permite usar o cimento como estabilizante (Figura 3.2).

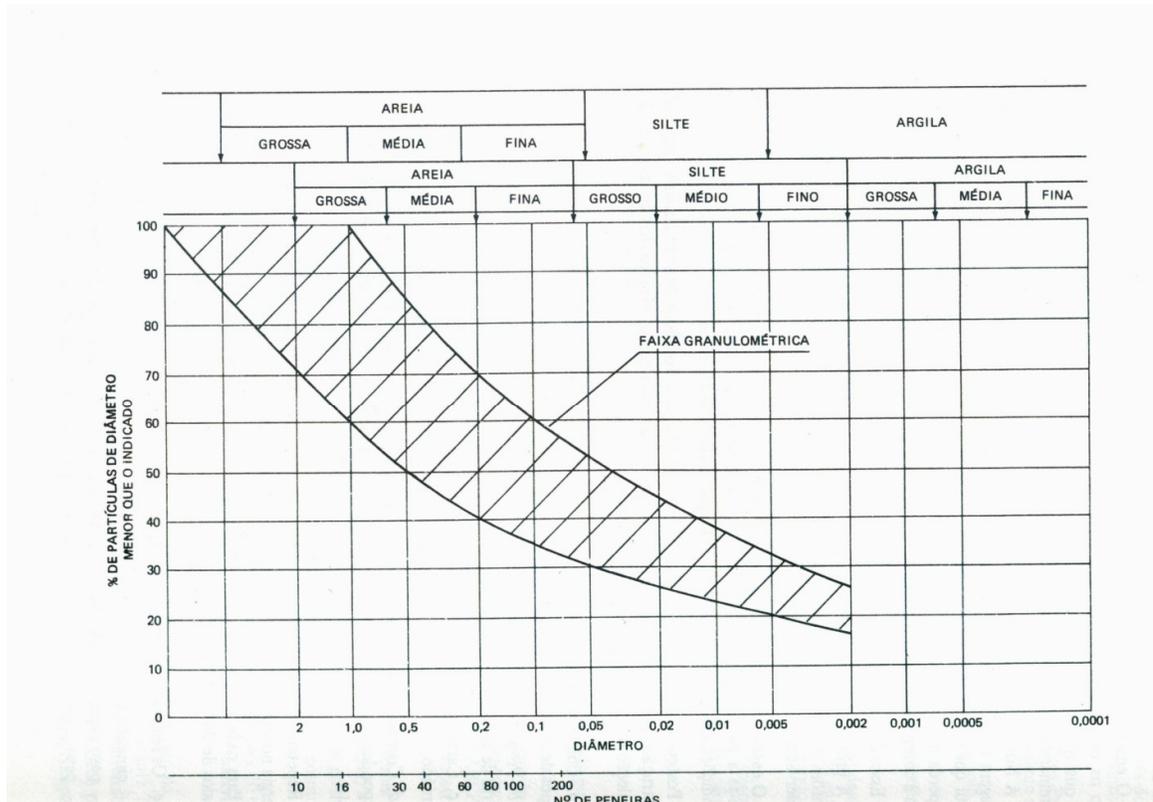


Figura 3.2 – Faixa granulométrica para utilização do solo com o cimento como estabilizante.

Para prever o comportamento das paredes de solo-cimento, é conveniente realizar ensaios de comportamento frente à variação de temperatura e umidade,

submetendo amostras dos componentes (pequenos painéis, blocos ou tijolos) a ciclos de saturação de água por imersão e secagem controlada. Esses ensaios permitem conhecer a absorção e a perda de água, que possam ocorrer por ascensão capilar pela ação de água por umidade, infiltração e secagem por evaporação na edificação. Muros de testes expostos as ações de intempéries e variações de temperatura, permitem prever o desempenho do material e da técnica construtiva para as condições climáticas de uma região (Foto 3.5)

Os principais agentes causadores de patologias em construções erguidas com os sistemas construtivos de solo-cimento são:

- Água
- Temperatura
- Vento

A água afeta, principalmente, as partes inferiores e superiores da parede, que não só deverão estar protegidas como também os encontros das paredes. A ascensão da água por capilaridade é baixa em paredes monolíticas, podendo atingir um valor aproximado de 40 cm, sendo tanto menor quanto maior for a porosidade da parede. A escolha de um solo para produções elevadas deve ser feito com o apoio de laboratórios especializados. Dentre os principais ensaios normatizados para serem realizados estão:

- Análise granulométrica do solo;
- Determinação da massa específica dos grãos do solo;
- Determinação do limite de liquidez (LL);
- Determinação do índice de plasticidade (IP);
- Determinação do pH;
- Determinação e quantificação da matéria orgânica;
- Determinação e quantificação da presença de sulfatos;
- Determinação de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio;
- Determinação da presença e tipo de argilominerais predominantes;
- Determinação da presença de sulfato de ferro;



Foto 3.5 – Muros de testes construídos utilizando várias técnicas e expostos as mais diversas condições climáticas. Fundação Navapalos / Espanha (a Fundação Navapalos promove pesquisas nas áreas de arquitetura de terra, bioclimática e construções de baixo custo).

É importante ressaltar que nem sempre é possível realizar a análise do solo com o apoio de laboratórios, por mais simples que possam ser os ensaios como o de granulometria por peneiramento e o de limites de consistência. Existem diversos ensaios empíricos para a verificação em campo. Entretanto os resultados obtidos não podem ser considerados finais sem uma base científica comprovável. Estes ensaios não permitem estabelecer parâmetros sobre determinadas especificações, mas apenas distinguir os solos mais viáveis de serem utilizados.

O primeiro destes ensaios possíveis de serem realizados em campo é o Ensaio da Caixa. Este ensaio tem como objetivo definir o nível de retração do material e constatar a viabilidade do seu uso no processo construtivo ou restauração. O solo é umedecido e depositado em uma caixa com dimensões estabelecidas e colocado para secar, posteriormente, na sombra, durante sete dias. Transcorrido o período de secagem, se o material não tiver retração superior a 2 cm e não apresentar trincas poderá ser utilizado (Figuras 3.3 e 3.4).

O Ensaio de Cordão é feito adicionando água a uma porção de terra seca. São feitos nas palmas das mãos cordões rolados. Esses cordões com diâmetro de 3 mm começam a se partir, e é feito então uma bola, que é submetida à pressão feita pelo polegar e o indicador (Figura 3.5). Através das características das amostras, por esse ensaio proposto pelo BNH/DEPEA, é constatado: cordão duro, só é possível quebrar a bola com muito esforço (solo ideal); cordão mole, a bola se fissa ou esmigalha com pouco esforço (solo razoável); cordão frágil, não é possível reconstituir a bola sem que ela se fissure ou esmigalhe (solo fraco) (ver tabela 3.1).

O Ensaio da Fita consiste em tomar uma porção de terra com a mesma umidade do ensaio de cordão, e fazer um cilindro do tamanho de um cigarro. Amassar o cilindro de modo a formar uma fita, com 3 a 6 mm de espessura e o maior comprimento possível (Figura 3.6). Fita longa de 25 a 30 cm feita sem dificuldade (solo ideal). Fita curta de 5 a 10 cm feita com dificuldade (solo fraco) (Tabela 3.1).

O Ensaio do Bolo consiste em pegar uma porção de terra bastante úmida e colocá-la na palma da mão. E em seguida golpear esta mão com a outra, de forma que a água saia para a superfície da amostra, dando-lhe um aspecto liso e brilhante. Depois pressionar o bolo com os dedos. A terra para o bom uso se caracteriza por uma reação rápida de afloramento da água na superfície da amostra com um número de golpes entre 5 a 10, e com a pressão dos dedos mais forte, o bolo é esmigalhado. A terra não adequada para a utilização possui uma reação lenta com 20 a 30 golpes para que a água aflore e a pressão dos dedos desforme o bolo (Tabela 3.1).

No Ensaio de Resistência Seca são feitas três pastilhas de terra bem úmida, com 1 cm de espessura e 3 cm de diâmetro. Após um período de secagem ao sol, de dois dias, cada pastilha é submetida à pressão feita pelo indicador e o polegar. Podendo constatar, posteriormente, que nas pastilhas de grande resistência seca há dificuldade em esmagá-las e quando é possível parte uniformemente. Nas de média resistência seca não é difícil partir a pastilha e, com algum esforço reduz os pedaços a pó. Nas de fraca resistência seca é muito fácil partir a pastilha e, ao partir, esta é reduzida a pó (Tabela 3.1).

Existe ainda, um teste de granulometria que permite identificar o teor de argila e areia presentes na composição do solo. A amostra é depositada em um frasco de vidro, com partes iguais de terra e de água; adiciona-se uma colher de sal e agita-se a mistura, que é colocada, em seguida, em repouso por duas horas. Após este período de repouso, há a separação em camadas do material precipitado. O solo que tiver pelo menos 50% de areia em sua composição será considerado adequado. Determinado o teor de areia presente na composição do solo, será possível estabelecer a dosagem de cimento que atenda as exigências de resistência à compressão e durabilidade.

Estes ensaios, segundo o CEPED-BA, não são totalmente eficazes tendo em vista que o teor de areia não é a única variável para estabelecer a dosagem da mistura de solo-cimento. Outros fatores como os limites plásticos, distribuição granulométrica e minerais argílicos influenciam na definição da dosagem da mistura (CEPED,1984).

Os testes empíricos procuram superar a dificuldade de realizar ensaios de laboratórios em empreendimentos de pequena escala. Em projetos de maior porte estes ensaios são mais justificáveis, uma vez que os dados obtidos nas análises de laboratórios possibilitam o maior controle de qualidade e a redução de custos na execução da obra.

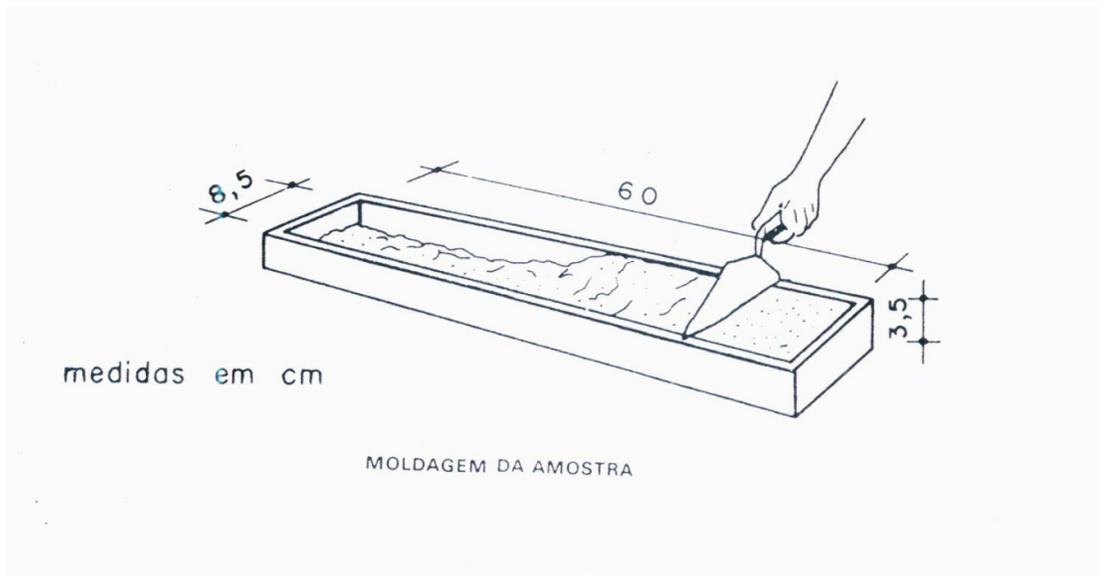


Figura 3.3 – Ensaio da Caixa. Moldagem da amostra.

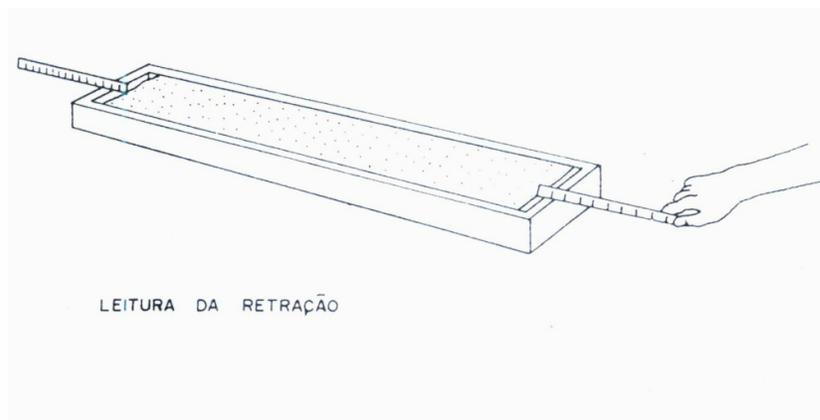


Figura 3.4 – Ensaio da Caixa. Leitura da retração da amostra.

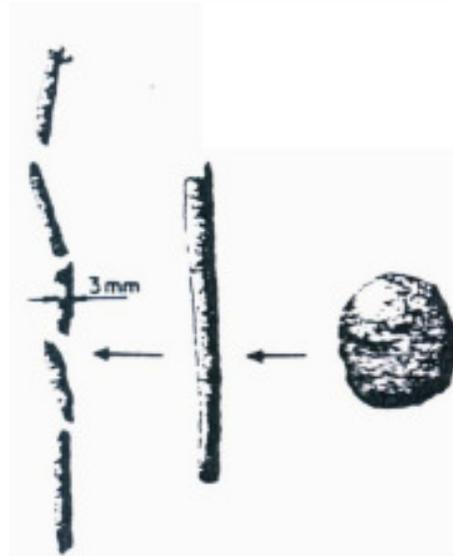
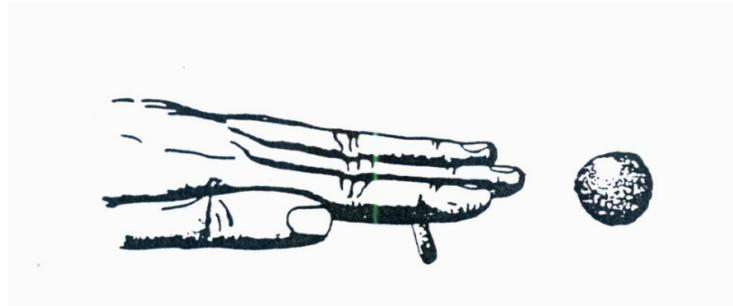


Figura 3.5 – Ensaio do Cordão.

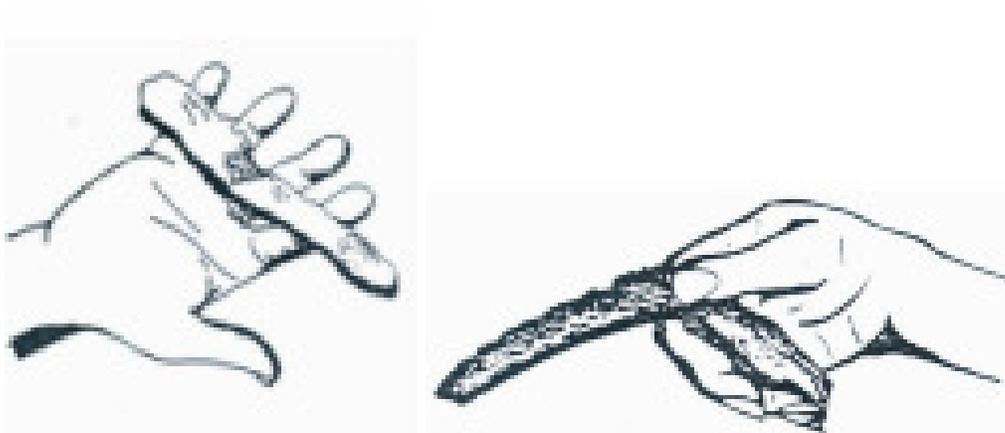


Figura 3.6 – Ensaio da Fita.

MÉTODOS QUALITATIVOS DE ESCOLHA DO SOLO						
Ensaio do Cordão	Ensaio da Fita	Ensaio do Bolo	Resistência Seca	Tipo de Solo	Possibilidades de Utilização	
Cordão frágil ou resistência nula	Fita curta ou não se consegue fazer a fita	Reação rápida a lenta, mas jamais muito lenta	Fraca a nula, geralmente nula	Areias finas, areias finas siltoras, areias finas argilosas, siltes argilosos	Solo prensado para tijolos, adobes com cimento, terra compactada com ou sem cimento	
Cordão frágil a semi-duro	Fita curta	Reação lenta a muito lenta	Fraca a média	Siltes	Utilização mais difícil que os solos anteriores, mas possível com o uso de cimento	
Cordão semi-duro	Fitas curtas a longas	Reação muito lenta ou não tem reação	Média a grande	Argilas com pedregulhos, argilas com areia e argilas silteosas	Possível de usar apenas para a terra compactada ou tijolo prensado, com cimento	
Cordão duro	Fitas longas	Não tem reação	Grande	Argilosas	Não deve ser usado	

Tabela 3.1 (CEPED, 1984)

3.3.3 – Resistência das Construções de Terra

A resistência das construções de terra diminui progressivamente na medida que aumenta a umidade relativa no interior das paredes. A umidade provoca a deteriorização de elementos de madeiras estruturais ou o apodrecimento de matéria orgânica adicionada durante a produção da mistura, ocasionando perdas de material e cavidades na parede. A deteriorização interna nas paredes pode provocar a degeneração progressiva da construção (Foto 3.6).

As partículas de cloreto de sódio higroscópicas trazidas pela água adicionadas durante a execução, pelo vento ou existentes na própria terra, podem provocar a aparição de eflorescências na superfície inferior das paredes de taipa, ocasionando a perda de material das paredes exteriores e desprendimento do revestimento exterior de proteção.

As construções de terra resistem bem em climas com temperaturas altas e baixas, porém são sensíveis as variações bruscas de temperatura. A fissuração das paredes poderá ocorrer em determinadas épocas do ano, onde as elevadas temperaturas durante o dia, e quedas bruscas durante a noite, superam o coeficiente de dilatação do material.

Devido à baixa resistência aos esforços de compressão e tração, em casos de se produzirem esforços diferenciais por sedimentação da parede ou recalque das fundações, as alvenarias de construções de adobe cedem de forma similar as convencionais de tijolo cerâmico (cozido). Entretanto, é importante ressaltar que esses efeitos são mais contundentes nas paredes de taipa. As paredes de taipa podem fissurar facilmente por possuírem maiores extensões, principalmente em superfícies de pequenas espessuras ou nos encontros de paredes e reforços estruturais. As trincas verticais em alvenarias e paredes monolíticas de terra apresentam com frequência larguras consideráveis. A sua análise deverá ser feita em função da composição do material.

A reparação das trincas dependerá de sua localização e dimensão. É importante que a mistura a ser utilizada para a reparação da trinca seja estabilizada com a composição e dosagem bem próxima da original. Esta análise poderá ser feita retirando amostras ao longo das paredes para estudo. Em casos onde existam patologias por recalques do terreno ou da fundação, com esmagamento de materiais por compressão e a aparição de trincas verticais em superfícies de grande altura e esbeltez, é necessário à execução de reforços estruturais.



Foto 3.6 – Patologia decorrente da ação erosiva provocada pela água de chuva incidente na parede, ocasionando o desprendimento e a perda de material.

A reparação das trincas dependerá de sua localização e dimensão. É importante que a mistura a ser utilizada para a reparação da trinca seja estabilizada com a composição e dosagem bem próxima da original (Foto 3.7). Esta análise poderá ser feita retirando amostras ao longo das paredes para estudo. Em casos onde existam patologias por recalques do terreno ou da fundação, com esmagamento de materiais por compressão e a aparição de trincas verticais em superfícies de grande altura e esbeltez, é necessário a execução de reforços estruturais.

A proteção superior das construções, através de avanços consideráveis de beirais possibilita uma proteção adequada à ação erosiva das chuvas. A ascensão capilar na base da construção deve ser controlada, principalmente quando existe uma diferença de nível entre o exterior e o interior da construção. Os materiais com uma estrutura porosa, como o barro, são capazes de armazenar e transportar água por ascensão capilar. Deste modo é possível a água mover-se de regiões de maior umidade para as de menor umidade ao longo da parede. Por estes motivos, é recomendado que as paredes e pisos das construções de terra sejam erguidos acima do nível do solo, para uma melhor proteção da umidade nas paredes e evitar riscos de infiltrações.



Foto 3.7 – Aplicação de argamassa de cal hidráulica na parede para restauro de emboço.

4- SISTEMAS CONSTRUTIVOS DE TERRA TRADICIONAIS

4.1 – Tradicionais

Os diversos métodos construtivos que usam terra crua são variações de três métodos construtivos básicos:

- Taipa de pilão
- Adobe
- Taipa de mão ou pau-a-pique (taipa de sébe)

4.1.1 – Taipa de pilão

A taipa de pilão, como é conhecida no Brasil e Portugal, “tapial” ou “apisonado” em outros países ibero-americanos, são paredes monolíticas construídas no próprio local da obra. Trazida para o Brasil pelos portugueses, durante o período colonial, já vinha sendo utilizada em muitos outros países, como França, EUA, Marrocos, China e Japão. No Brasil muitos casarões, mosteiros e igrejas resistem à ação do tempo e estão conservados há mais de 250 anos. Nas últimas décadas, a técnica de taipa de pilão tem sido aperfeiçoada, adquirindo novas versões com tecnologias atualizadas permitindo a execução de uma construção com maior estabilidade e acabamento, além da redução da mão-de-obra (Foto 4.1).

A taipa de pilão consiste em utilizar uma mistura de argila, agregado (seixo rolado) e água para formar as paredes através do seu apiloamento em camadas, dentro de uma forma de tábuas, até formar uma parede monolítica. Raramente são incluídos reforços longitudinais de madeira na parede. A técnica utilizada para a sua execução consiste em armar formas de madeiras paralelas, chamadas de taipais, (comum nos dias de hoje para a confecção de estruturas de concreto) mantendo a correta posição por meios de travessas e paus a prumo. No seu interior é colocado o barro preparado e já bem amassado, em camadas na largura das tábuas. Em seguida o barro é comprimido a pilão ou com auxílio dos pés, obtendo-se assim uma maior consistência da massa.



Foto 4.1 – Casa construída utilizando a técnica construtiva de taipa de pilão. Campinas – São Paulo / Brasil.

Os taipais vão sendo sobrepostos, e cada fiada prolonga-se por toda a extensão da parede ou por toda a extensão da periferia da construção erguendo assim, de forma homogênea, as paredes da construção. As paredes erguidas com as técnicas de terra, sem a adição de algum estabilizante, geralmente apresentam pouca resistência às intempéries, principalmente às chuvas. Para minimizar tais efeitos, são adotadas algumas técnicas que garantem a durabilidade da construção. A execução de camadas impermeabilizantes entre a fundação e a parede, e a proteção das fachadas com beirais largos são alguns recursos de proteção utilizados.

4.1.2 – Adobe

Técnica construtiva que consiste em moldar o tijolo cru em uma forma de madeira e, posteriormente, (depois de desenformado) secá-lo, sem que haja a queima do mesmo em forno (Foto 4.2). A mistura é composta de terra com água e preparada até obter uma mistura plástica moldável, podendo ainda ser acrescentado estabilizantes como a cal, a areia ou o cimento, em proporções reduzidas em comparação com o teor de argila do solo.

O adobe não é submetido a processos de cozimento durante a sua confecção, diferenciando dos tijolos cerâmicos convencionais. Ao longo do tempo, esta técnica foi se adequando às novas soluções, como a adição de outros materiais, propiciando melhoras significativas em seu desempenho e protegendo as superfícies exteriores da ação das intempéries. A impermeabilidade do adobe foi melhorada, empiricamente, através da adição de asfalto natural com a mistura de barro e água. A retração foi reduzida com a adição de palhas, solos foram testados para a obtenção de uma granulometria mais adequada e a mistura foi compactada e prensada para conseguir blocos mais resistentes.

O processo de execução de uma alvenaria de terra é semelhante ao da alvenaria convencional. Os componentes são unidos por meio de argamassa de consistências e plasticidades adequadas, formando a parede ou o muro alinhados e em prumo. Para garantir uma eficiente amarração dos componentes na alvenaria, as juntas verticais são alternadas em cada fiada horizontal.

4.1.3 – Taipa de Mão ou Pau-a-Pique

Também conhecida como taipa de mão ou pau-a-pique no Brasil, é denominada “quincha” na Argentina e “bahareque” em outros países sul americanos. Esta técnica de construção classificada como entramado, se caracteriza pela combinação de madeira, bambu, varas, palha, fibras, solo, e eventualmente estabilizantes. Em função da variedade de dimensões e materiais empregados na trama, alguns especialistas propõem a classificação de técnica mista com denominações variadas. É provavelmente uma das técnicas construtivas de terra mais antiga ainda utilizada. Esta técnica é muito usada para a construção de paredes de divisórias internas em construções de adobe.



Foto 4.2 – Produção de adobes. Visconde de Mauá – Rio de Janeiro / Brasil.

Utilizada em diversos climas, a técnica do pau-a-pique é encontrada em regiões com temperaturas elevadas até as mais baixas como a da cidade de Cuenca, no Equador, e em altitudes desde o nível do mar até as elevadas nas montanhas dos Andes. Em algumas regiões da América Central e América do Sul sujeitas a abalos sísmicos, as construções de pau-a-pique apresentam bom desempenho.

A técnica consiste em uma trama com sarrafos de madeira, em que os espaços são preenchidos com uma mistura de terra muito argilosa e palha ou fibras vegetais, até completar todo o fechamento. A pedra de pequenas dimensões é usada como agregado para contribuir como enchimento da parede. A massa de enchimento produz uma retração

acentuada pela heterogeneidade do material, exigindo um revestimento após a secagem para corrigir o efeito desagregador. Se este revestimento não possuir uma espessura suficiente para reparar e cobrir a massa plástica aplicada na trama, podem ocorrer fissuras decorrentes da degeneração do material vegetal utilizado como aglutinante (palha) (Foto 4.3).

O maior inconveniente desta técnica está na durabilidade das construções, em virtude principalmente do apodrecimento da madeira utilizada na trama. O tempo médio de durabilidade de uma casa de pau-a-pique na Bahia é de três a cinco anos

aproximadamente, embora existam casas com varandas a toda volta que as paredes, por estarem protegidas, possuem maior resistência e durabilidade.



Foto 4.3 – Casa de pau-a-pique (construção rústica rural). Visconde de Mauá – Rio de Janeiro / Brasil.

Esta técnica possui algumas restrições de uso em determinadas regiões de clima árido (Região Nordeste do Brasil), devido à constatação de casos de proliferação e alojamento de insetos em cavidades ao longo da parede, principalmente o “barbeiro” transmissor da doença de Chagas. Estas cavidades são causadas pela deteriorização do material vegetal (palha ou fibras vegetais) ou da própria madeira utilizada na trama.

4.1.4 – Outras Técnicas Construtivas

Segundo dados fornecidos pelo engenheiro Ângelo Murgel em artigo escrito (CEPED, 1985) são citadas ainda outras três técnicas primitivas de construção com terra:

Barroca

São erguidas paredes pela superposição de camadas de solo argiloso e plástico, sem a utilização de moldes ou formas, sendo a sua forma feita com o corte à faca, aparando e ajustando as suas arestas antes da secagem completa.

Tijuco

Esta técnica consiste no empilhamento de placas de barro, formadas pela secagem de terrenos argilosos.

Torrões

Técnica construtiva de uso rural bastante difundida no Rio Grande do Sul. As paredes da construção são erguidas pela superposição de blocos de terra cortados diretamente da camada superior do solo. Estes blocos cortados são armados naturalmente pela trama radicular de gramíneas e são empilhados para formarem as paredes da edificação.

5- O SOLO-CIMENTO

5.1 – O Solo-Cimento

A mistura de solo-cimento é constituída de solo, cimento e água que, ao ser submetida à compactação adquire características de resistência mecânica e estabilidade para a construção de edificações.

Existe uma vasta pesquisa realizada sobre a estabilização de solos com cimento, utilizados na construção de bases e sub-bases para estradas. Entretanto existem poucos dados e critérios de dosagem para uso na construção de paredes. A diferença na utilização do material para determinado uso está justamente no tipo de solicitação do material.

Critérios mais comuns de dosagem muitas vezes não consideram o tipo de solicitação a que o material estará submetido, ou se baseiam em ensaios não sistematizados. Os esforços nas estradas são de natureza mais dinâmica e as condições de abrasão mais severas. Durante a construção de paredes, as exigências que estarão submetidas referem-se a homogeneização do material que será aplicado, resistência à esforços estáticos de compressão, maior durabilidade, impermeabilidade e baixa condutibilidade térmica.

Dentre todos os aglomerantes existentes, o ligante hidráulico denominado cimento portland é o recurso mais utilizado para a estabilização da mistura de solo. Durante o processo de mistura da massa é adicionado o cimento e água em proporções analisadas e determinadas previamente, em ensaios laboratoriais de resistência e durabilidade, originando a mistura conhecida como solo-cimento.

Por ser um elemento de maior proporção na mistura do solo-cimento, o solo deve ser escolhido de forma a possibilitar o uso de menor quantidade de cimento. Existe uma diversidade de tipos de solos, com exceção dos orgânicos, que podem ser estabilizados com cimento. A porção de grãos finos na mistura de solo-cimento é fundamental para possibilitar uma consistência inicial, logo após a compactação, quando as reações de endurecimento do cimento ainda não se iniciaram.

A adição do cimento ao solo possibilita alcançar parâmetros eficientes para a manipulação da mistura na produção e utilização como material de construção. Dentre as principais características decorrentes do uso de cimento no solo destacam-se:

- Estabilização das variações volumétricas decorrentes da absorção e perda da umidade;

- Não há deterioração quando submerso em água;
- Possui resistência à compressão comparável ao tijolo cerâmico;
- Possui durabilidade quando exposto às intempéries;

Importantes pesquisas tem sido realizadas com o intuito de aproveitar os resíduos industriais e adicioná-los na mistura de solo-cimento, para minimizar as porcentagens de cimento e solo na composição final.

O programa de Engenharia Civil da COPPE (UFRJ – Brasil), vem realizando importantes pesquisas sobre a viabilidade de utilizar os rejeitos industriais e minerários na estabilização dos solos.

5.1.1 – O Cimento

O Cimento Portland, como é comumente conhecido, é o produto originário da pulverização de *clinker*¹¹ que é composto basicamente de silicatos hidráulicos de cálcio, sulfato de cálcio natural, e eventualmente é adicionado certas substâncias que alteram suas propriedades ou facilitam o seu manuseio. Os componentes fundamentais do cimento Portland são a cal, a sílica, a alumina e o óxido de ferro. O *clinker* é um produto de natureza granulosa, resultante da calcinação da mistura dos materiais citados, até uma temperatura de fusão inicial.

A análise química dos cimentos Portland é realizada através da determinação das proporções de óxidos presentes. As propriedades do cimento são constatadas pelas proporções dos silicatos e aluminatos, determinadas a partir da análise em óxidos. Este processo de análise das propriedades do cimento é conhecido como a determinação da composição potencial do cimento. A importância da análise das proporções dos compostos presentes no cimento, reside na correlação existente entre estes e as propriedades finais do cimento e do concreto.

As propriedades físicas do cimento Portland são analisadas sob três aspectos importantes:

- Características do produto no seu estado natural em pó;
- Mistura de cimento e água (pasta);
- Mistura da pasta (cimento e água) com agregado fino padronizado (argamassas);

¹¹ Ver Glossário p. 237.

- Mistura da pasta com agregados finos e graúdos padronizados (concretos);

As propriedades das pastas, argamassas e concretos são classificadas de acordo com o seu comportamento característico para utilizações específicas.

Granulometria

O tamanho dos grãos é um fator que contribui para a hidratação do cimento, como também influencia na qualidade das pastas, argamassas e dos concretos. O teor granulométrico do cimento é determinado naturalmente durante o processo de fabricação para o controle de qualidade do produto, como também, nos ensaios de recepção do cimento, quando deve atender as especificações determinadas ao uso devido. Ensaios de retenção de amostras em peneiras normatizadas permitem o controle da finura do cimento e determinar a sua melhor utilização. Quanto menor for o tamanho dos grãos, maior será a resistência do cimento, principalmente na primeira idade. Há o aumento da impermeabilidade, trabalhabilidade e coesão do concreto, diminuindo a perda de água e outros tipos de segregação. O termo trabalhabilidade aplicado ao cimento refere-se ao estado em que o cimento oferece maior ou menor facilidade para manuseio como concretos frescos ou argamassas; e o termo utilizado para designar a perda de água que acontece devido à diferença de densidades entre o cimento e água (utilizada para a hidratação) é denominado *exsudação*.

A exsudação é um fenômeno de segregação que ocorre nas pastas de cimento. Os grãos de cimento por serem mais pesados que a água que os envolve durante a hidratação, são forçados a uma sedimentação por gravidade. Conseqüentemente há um afloramento do excesso de água, que é impelido do interior para fora da mistura. Este fenômeno ocorre antes do início da pega é considerado uma forma de segregação, pois prejudica a uniformidade, a resistência e a durabilidade dos concretos. O índice granulométrico do cimento influi na diminuição ou aumento da exsudação, devido ao fato da redução dos espaços intergranulares provocar o aumento da resistência ao percurso ascendente da água.

A Cura

A cura do cimento compreende ao processo de transformação (evolução) das propriedades mecânicas da pasta de cimento durante a fase inicial de endurecimento. São mudanças contínuas essencialmente de caráter físico, conseqüências de um

processo químico de hidratação. Durante a hidratação do cimento, os grãos de cimento que se encontram de início suspensos vão se aglutinando aos poucos entre si, por efeito de floculação¹², possibilitando a construção de uma estrutura interna sólida, responsável pela estabilidade geral do cimento denominada “pega”. A pega é um fenômeno pelo qual uma cal ou um cimento adere aos agregados a que serve de aglomerante, dando início, mais ou menos rapidamente, ao processo de endurecimento da argamassa ou do concreto assim formado (AURÉLIO,1999). A hidratação contínua em tempos determinados (cura) do cimento irá proporcionar o seu endurecimento final, atingindo assim as suas propriedades mecânicas definitivas.

A pega e a cura do cimento constituem duas etapas distintas durante o processo de hidratação. A pega se dá no início da fase de hidratação do cimento, já a cura é caracterizada por um espaço de tempo contínuo após a fase inicial de pega até o começo da fase final de endurecimento. Após um determinado tempo da mistura o processo de pega alcança um estágio onde a pasta não é mais trabalhável, não oferecendo condições de remistura. Este período de tempo é adequado para as operações de manuseio das argamassas e concretos. Posteriormente a esta fase o material deverá permanecer em repouso na posição definitiva para permitir o desenvolvimento do processo de cura, e posteriormente, a fase final de endurecimento.

O critério adotado para regular o tempo de pega do cimento depois de transcorridos uma hora do início da mistura, deve ser estabelecido tendo em vista a finalidade de aplicação a que se destina o material. Neste período são realizadas as operações de manuseio, mistura, transporte, lançamento e adensamento. Entretanto podem existir casos em que seja necessário a diminuição ou o aumento do tempo de pega, por uma questão de uso específico. Em determinadas aplicações que necessitem a aceleração do tempo de pega do cimento, são adicionados a mistura produtos conhecidos como aditivos *aceleradores de pega*. Em outros casos nos quais seja necessário um tempo de pega mais longo para permitir o manuseio da mistura e aplicação são utilizados produtos denominados aditivos *retardadores*.

Estabilidade

As características de estabilidade do cimento estão relacionadas com a ocorrência de indesejáveis expansões volumétricas após o endurecimento do concreto, conseqüência da hidratação de cal e magnésia livre presentes na

¹² Ver Glossário p. 238.

composição do cimento. Há o aumento de volume provocando tensões livres que conduzem a microfissuração por tensões internas, que podem ocasionar a desagregação do material.

Este processo pode ser desencadeado pelas altas temperaturas superiores a 1900°C que podem ocorrer durante o processo de fabricação do *clinker*, resultado da supercalcinação da cal. A hidratação desse óxido é lenta conduzindo a uma indesejável expansão após o endurecimento do material. Este fenômeno é mais expressivo com o óxido de ferro, que por este motivo é adicionado à composição do cimento em quantidades limitadas.

Calor de Hidratação

No processo de hidratação do cimento reações consideráveis de calor são desencadeadas no interior da mistura. Esta energia térmica produzida pelo cimento é de grande relevância para o engenheiro, devido principalmente ao desenvolvimento de trincas de contração provocadas pela alta de temperatura e posterior resfriamento da massa. A energia térmica produzida varia de acordo com a composição do cimento, principalmente em relação às proporções de silicato e aluminato tricálcicos presentes.

O valor do calor de hidratação do cimento Portland comum varia de 85 e 100 cal/g, reduzindo-se a 60 a 80 cal/g nos cimentos de baixo calor de hidratação. O interesse do conhecimento do valor do calor de hidratação do cimento reside na possibilidade do estudo da evolução térmica do concreto em obras volumosas.

Resistência aos Agentes Agressivos

A ação de agentes agressivos no concreto é decorrente muitas vezes do contato com a água e com a terra. A presença de substâncias química na terra ou na água pode desencadear reações negativas com certos constituintes do cimento no concreto. O cimento é o elemento do concreto mais suscetível de ataque de agentes químicos agressivos, já que os agregados são de natureza predominantemente inerte. Os silicatos de cálcio mais ou menos hidratados, e principalmente, a cal hidratada presente no cimento hidratado são os elementos mais frágeis a estes efeitos químicos desagregadores. O hidróxido de cálcio presente no cimento na proporção de 15% a 20% em relação ao peso original do cimento é o elemento mais vulnerável.

Processo de Fabricação (Industrialização)

A fabricação do cimento Portland é feita em instalações industriais de grande porte, próximas as jazidas e dos centros consumidores de forma a facilitar o transporte tanto da matéria-prima à indústria, como do produto acabado ao consumidor. As matérias-primas utilizadas na fabricação do cimento Portland são constituídas de misturas de materiais calcários e argilosos em proporções adequadas e que proporcionem composições químicas adequadas ao cozimento.

Os materiais calcários empregados na fabricação do cimento são o próprio calcário, conchas de origem marinha, etc. Entre os materiais argilosos estão as argilas, xistos, ardósia e escórias de alto-forno.

As principais etapas para a fabricação industrializada do cimento são:

- Extração da Matéria-Prima;
- Britagem;
- Moedura e Mistura;
- Queima;
- Moedura do *Clinker*;
- Expedição;

A matéria-prima é extraída por técnicas usuais de exploração de pedreiras, quando se tratar de rochas ou xistos. Para as argilas o processo de extração é realizado por escavação ou por dragagens quando for o caso. A matéria caracterizada por rochas sofre uma operação de beneficiamento com o objetivo de reduzir o material à grãos de tamanhos específicos ao uso desejado. Esta operação conhecida como britagem é feita também no processo de exploração de pedreiras para a produção de agregados. Após esta etapa o material calcário britado será encaminhado à um depósito onde são processados em duas linhas distintas de operação: via seca e via úmida.

Na via seca a matéria-prima é, primeiramente, transportada para uma estufa, onde são feitas operações de secagem do material. Depois da secagem os materiais argilosos e calcários são proporcionados e conduzidos aos moinhos e silos, onde são reduzidos a grãos menores em uma mistura homogênea. Esta mistura é então conduzida por via pneumática para os silos de homogeneização, onde será quimicamente controlada e feitas as correções necessárias. Posteriormente esta mistura será armazenada em silos apropriados, onde aguardará pela queima em fornos.

No processo de via úmida a argila natural (matéria-prima) é misturada inicialmente com a água, até formar uma lama espessa. O calcário britado armazenado nos silos é então misturado com a lama de argila e levado para os moinhos onde o material calcário é quebrado e reduzido em grãos menores. A lama formada por esta operação é bombeada para os silos de homogeneização e feito o controle da composição química e eventuais correções que forem necessárias. Após esta etapa o material é armazenado nos silos de armazenamento. Nesta próxima etapa os dois processos encontram-se novamente, para a alimentação do forno com a mistura pulverulenta da via seca ou com a lama resultante da via úmida. A operação de queima da mistura crua é realizada em um forno por combustão controlada de carvão, gás ou óleo.

A temperatura é elevada para alcançar os níveis necessários à transformação química, que é posteriormente resfriado pela ação de corrente de ar ou água formando o *clinker*. Esta fase é a mais importante do processo de fabricação do cimento Portland.

O *clinker* resfriado é armazenado em depósitos apropriados e depois para moagem. No moinho este material será misturado com uma proporção de gipsita estabelecida para o controle de pega do cimento. O *clinker* que foi pulverizado é transportado pneumaticamente para os separadores de ar, que reconduz ao moinho os grãos maiores e conduz os de menor tamanho (cimento pronto) para os silos de estocagem. Após esta etapa o cimento é ensacado automaticamente em sacos de papel apropriados ou simplesmente levado a granel para os veículos de transporte.

É importante ressaltar os cuidados a serem tomados no armazenamento do produto para serem evitados riscos de hidratação acidentais. O material de embalagem do cimento (sacos de papel) não garantem a impermeabilização necessária para a proteção da umidade. Por esta razão, não se deve armazenar o cimento por mais de 90 dias. Os barracões para o armazenamento de cimento devem ser cobertos e bem fechados na lateral e o assoalho bem acima do nível do solo para proteger da umidade.

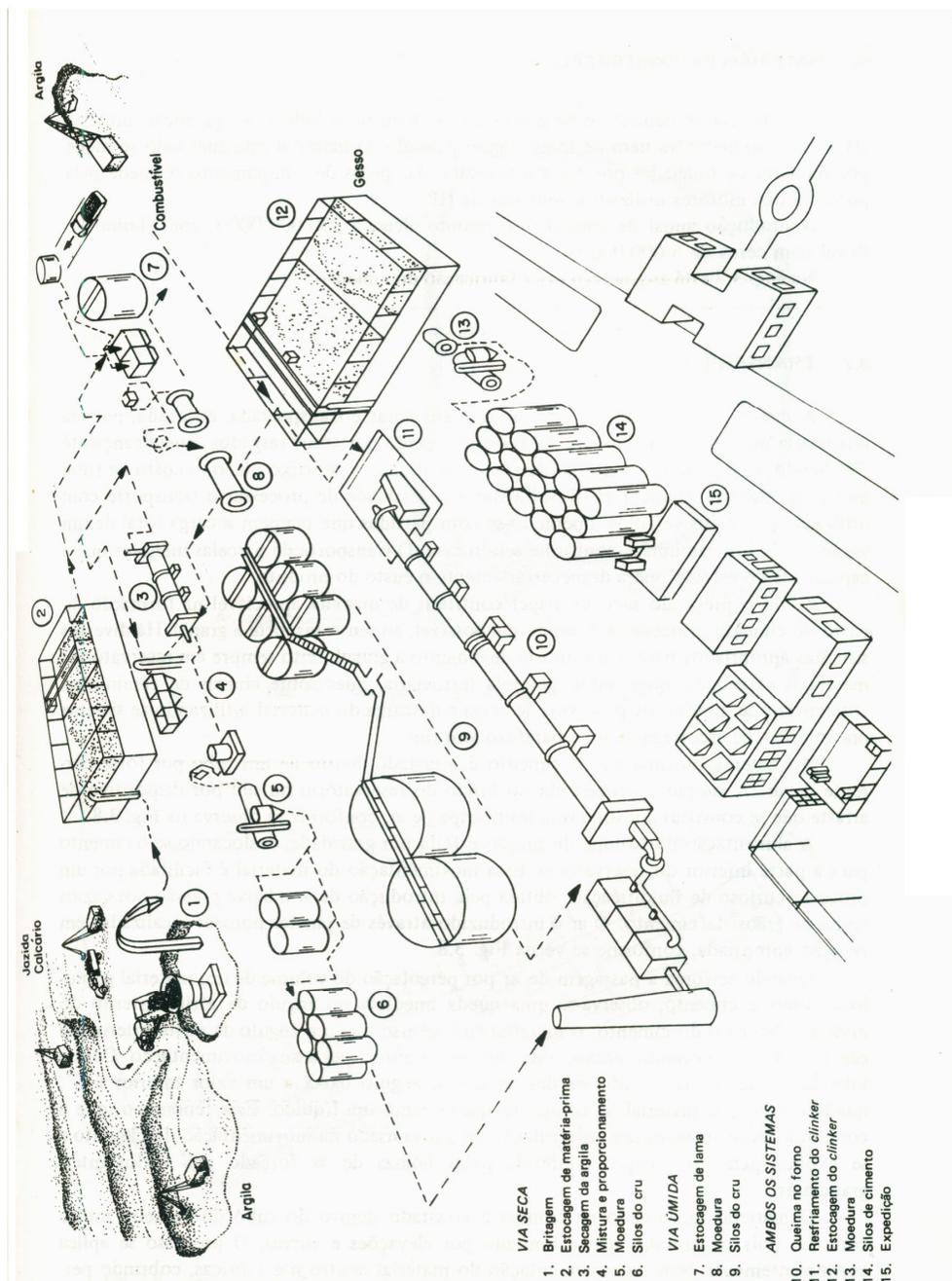


Figura 5.1 – Esquema do processo de fabricação do cimento.

5.1.2 – Critérios para Dosagem da Mistura de Solo-Cimento

A dosagem da mistura de solo-cimento é obtida através da verificação da compatibilidade das solicitações de uso previstas por meio dos valores obtidos em ensaios laboratoriais e simulações das condições adversas. Por serem simulações das condições de uso, não a reproduzem fielmente e por isso existe uma maior dificuldade em transformar tais resultados em critérios de projeto. A ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), em 1948, tomou uma importante iniciativa com intuito de sistematizar as dosagens para o uso do solo-cimento. Propôs uma série de critérios visando estabelecer parâmetros de análise para a qualidade da mistura de terra.

Critérios propostos pelo ABCP:

- 1) Perda de peso considerada após período de secagem (estabelecido pelos critérios do ABCP) no ensaio de durabilidade inferior a:
 - 14% para os solos arenosos;
 - 10% para os solos siltosos;
 - 7% para os solos argilosos;
- 2) Alteração máxima de volume em qualquer fase dos ensaios, até o período de secagem estabelecido segundo os critérios ABCP, inferior a 1% do volume inicial;
- 3) Teor de umidade nunca superior ao teor de saturação do corpo de prova;
- 4) Resistência à compressão crescente com a idade, devendo apresentar aos 28 dias um valor mínimo de 10kg/cm^2 , após uma hora de imersão em água;

Outros critérios são propostos pelo CINVA (Centro Interamericano de Vivenda y Planeamiento – Colômbia) ou por autores como Merrill ou Cytryn. Entretanto são baseados em ensaios não sistematizados, onde os resultados são deduzidos muitas vezes por julgamentos subjetivos, que não podem garantir a sua reprodução em diferentes contextos.

A dificuldade básica, havendo ensaios normatizados para uma reprodução aproximada das solicitações previstas, está em estabelecer os valores numéricos que deverão alcançar os ensaios em laboratório. A definição de tais valores, só poderá ser feita depois de algum tempo de observação, do estado do material empregado em um número razoável de construções, nas quais se conheçam as condições iniciais de aplicação.

A definição dos critérios deverá apoiar-se nas seguintes opções: orientar-se a partir dos outros usos do mesmo material, na comparação com materiais convencionais, ou a partir de estudos de características estruturais da parede. A adoção de medidas universais para os componentes da construção é de grande relevância para obter parâmetros comparativos entre as amostras nos ensaios laboratoriais.

A dosagem do solo-cimento é estabelecida através de uma seqüência de ensaios realizados com uma determinada mistura de solos, cimento e água. É definida pela interpretação dos resultados por meio de critérios pré-estabelecidos. Este resultado é dado por meio de três variáveis definidas pela:

- A quantidade de cimento;
- A quantidade de água;
- A massa específica aparente seca a ser alcançada após a compactação;

Estes valores definidos serão suficientes para estabilizar o solo. Quantidades reduzidas de cimento poderão comprometer a resistência e a estabilidade do material. Maiores quantidades de cimento poderão proporcionar a retração exagerada provocando fissuras no material, e também custos maiores. O teor de cimento a ser adicionado na mistura dependerá das características de desempenho desejadas para o material. Estes índices mínimos e máximos do material devem satisfazer aos seguintes requisitos:

- Os limites de perda de massa;
- Os limites de resistência à compressão;
- Os limites de variação de volume;
- Os limites do teor de umidade;

O teor de cimento estabelecido e recomendado pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) varia de 5% a 10% em relação à porcentagem da mistura de solo-cimento (FAY, 1999).

Resistência à Compressão

A resistência à compressão dos esforços e que estarão submetidos às peças construídas com a mistura de solo-cimento, serão de peso próprio e sobrecarga eventuais (laje, telhado, etc) (Fotos 5.1 e 5.2). Outras utilizações do solo estabilizado referem-se as construções de estradas, onde os esforços de solicitação são outros.

As comparações com os materiais convencionais são limitadas, pois os valores de resistência à compressão em tijolos e blocos cerâmicos, por questão de forma, não equivalem aos resultados de ensaios de compressão simples nos corpos de prova cilíndricos de solo estabilizado. As principais cargas de compressão que a base de uma parede em uma casa térrea estará submetida serão, principalmente, a carga do telhado, laje (se houver) e o peso próprio da parede.

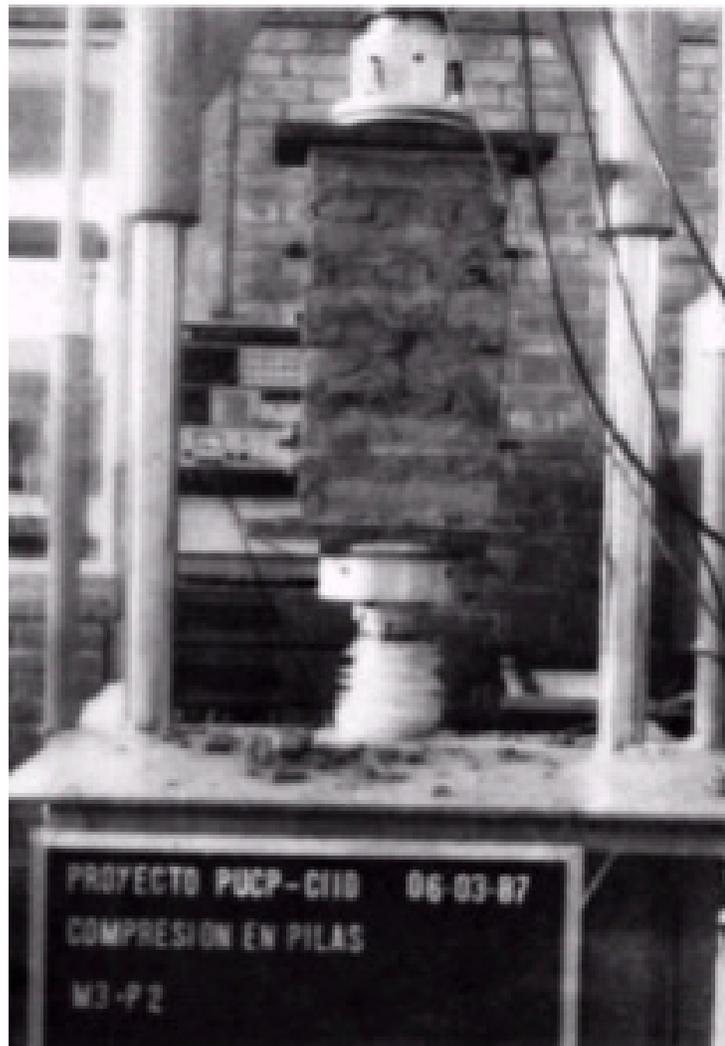


Foto 5.1 – Ensaio de compressão em pilares de adobe.

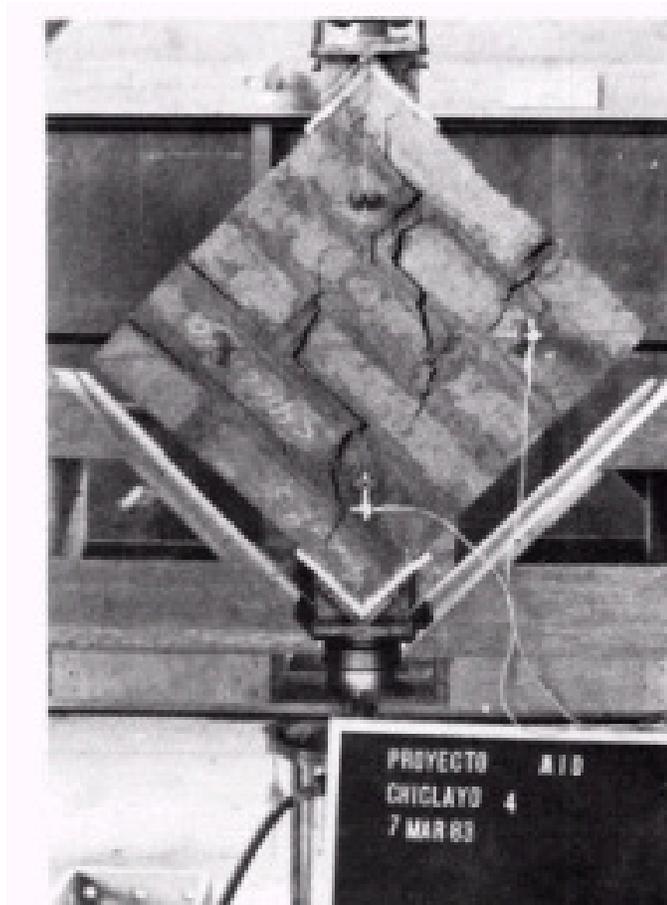


Foto 5.2 – Ensaio de compressão diagonal em pequenos muros de adobe.

Durabilidade

A adoção de critérios de durabilidade não é menos complexa. A definição de critérios é feita através da comparação com parâmetros admitidos para outros usos de solo estabilizado, e através da observação de experiências realizadas em construções de solo-cimento. Comparando o material de terra crua com os materiais convencionais, percebe-se que os melhores resultados de durabilidade ensaiados em laboratórios são inferiores aos valores medidos em blocos cerâmicos e tijolos maciços convencionais. Esta comparação apenas ressalta a utilização dos materiais convencionais, mais não inviabiliza de forma alguma o uso do solo estabilizado. Existem edificações construídas em solo-cimento, há mais de 20 anos, que resistem as ações do tempo e se encontram em boas condições de uso.

5.1.3 – Modos de Utilização e Aplicação

Existem 4 modos de utilização do solo-cimento (Tabela 5.1):

- Blocos ou tijolos;
- Paredes maciças (painéis)
- Pavimentação
- Contenção

O adensamento¹³ da mistura de solo estabilizado poderá ser feito por:

- Compactação: processo de adensamento que exige esforço intermitente por meio de soquete (pilão);
- Prensagem: corresponde ao adensamento por um esforço único (máquina manual ou automática);

Exemplos de adensamento por compactação: paredes de taipa de pilão, painéis de solo-cimento e alvenaria de adobe.

Exemplos de adensamento por prensagem: alvenaria de tijolos e blocos de solo-cimento produzidos em prensas hidráulicas. Os tijolos e blocos de solo-cimento podem ser produzidos em prensa manuais ou automatizadas, de acordo com a necessidade da demanda de produção. São materiais de baixo impacto ambiental, não sofrem a queima em fornos durante o processo de produção. Precisam somente ser umedecidos para que se tornem resistentes.

As paredes maciças são compactadas no próprio local da obra, em camadas sucessivas que vão sendo sobrepostas verticalmente para a formação da parede, com o auxílio de formas e guias. Este processo é uma variação similar ao antigo sistema de taipa de pilão, formando painéis inteiriços, sem juntas horizontais.

Os pavimentos são compactados no próprio local com o auxílio de formas, em uma camada única. São placas maciças apoiadas no chão. Pisos intertravados (peças de encaixes isoladas) também podem ser produzidos por meio de processos de prensagem. O solo-cimento ensacado é resultado da colocação de uma mistura úmida em sacos, que funcionam como formas. Depois de lacrados os sacos com uma costura, são colocados na posição de uso, onde são imediatamente compactados um

¹³ Ver Glossário p. 237.

a um. O processo de construção assemelha-se com a construção de muros de concreto ciclópico.

Cabe ser enfatizado que as utilizações e aplicações determinadas para o material são dependentes das condições climáticas e das características físicas e químicas do solo local a ser utilizado.

A tabela seguinte descreve os diversos usos para o solo-cimento:

APLICAÇÕES DO SOLO-CIMENTO		
Benfeitoria	Aplicação	Modo de Utilização
Edificações	Fundação (baldrame ou sapata corrida)	Parede maciça (a cava pode ser utilizada como forma)
	Paredes	Tijolos, blocos ou painéis
	Piso e contrapiso	Pavimento
Passeios ou calçadas	Piso e contrapiso	Pavimento
Pátios	Piso e contrapiso	Pavimento
Ruas e estradas	Base e sub-base	Pavimento
Contenção de encostas	Muro de arrimo	Ensacado
Proteção contra a erosão	Muro de arrimo, revestimento de taludes e encostas	Ensacado
Silo-trincheira	Revestimento dos taludes	Ensacado ou parede maciça
Contenção de córregos e canais (para irrigação, abastecimento)	Revestimento dos taludes	Ensacado ou parede maciça
Pequenas barragens	Dique	Ensacado
Controle de voçorocas	Dique	Ensacado
Cabeceiras de pontes, pontilhões, saídas de galerias	Muro de arrimo	Ensacado

Tabela 5.1 – Aplicações do solo-cimento.

Outras Formas de Utilização e Aplicação:

A mistura de solo-cimento pode ser utilizada ainda de diferentes formas e em outras aplicações de uso. Em países da Ásia, da África e do Sul da Europa o uso da terra estabilizada na utilização de outros tipos de soluções de uso são bem difundidas, muitas vezes em virtude da escassez de recursos econômicos. Entretanto aplicações e soluções criativas desenvolvidas para o uso do material proporcionam o enobrecimento do material sob o ponto de vista utilitário e estético. Algumas soluções se destacam como:

- Coberturas de telhas e cúpulas de bloco de terra;
- Mobiliários;
- Artefatos de decoração;
- Pisos prensados intertravados;

Muitas abóbadas e coberturas realizadas em edificações no Egito projetadas pelo o arquiteto egípcio Hassan Fathy, enfatizam o preciosismo estético e a funcionalidade desta solução criativa para o uso do material. No Brasil algumas entidades de pesquisas e incentivo a utilização da terra como material de construção, como o ABCTerra (Associação Brasileira dos Construtores de Terra) tem realizado experiências utilizando coberturas abobadadas com tijolos para protótipos experimentais.

O uso de pisos prensados e intertravados (pigmentados) para calçamento externo tem sido aperfeiçoado e produzido por produtores de tijolos de solo-cimento, tendo em vista a demanda deste produto.

A utilização da mistura de solo estabilizado para a construção de mobiliários urbanos e de residências como bancos de praças e mesas, estruturas de camas, armários embutidos na alvenaria, pias, sofás e até mesmo fornos, fogões e lareiras (Foto 5.3) demonstram a flexibilidade de uso do material, como referenciado por Minke em seu livro Manual de Construção em Terra (MINKE, 2001).

Artefatos para a decoração podem, ainda, serem criados como suportes para abajures, aparadores, mesas, estantes, vasilhames e demais elementos decorativos que possam enriquecer esteticamente o ambiente, tirando partido da expressão estética inerente do material para a composição de ambientes. É importante ressaltar o valor expressivo que a terra proporciona devido a sua plasticidade durante o

manuseio da mistura, permitindo modelar formas orgânicas e libertas da rigidez geométrica de outras formas de manifestações estéticas (Foto 5.4).



Foto 5.3 – Lareira feita utilizando a terra como matéria prima.



Foto 5.4 – Interior de uma edificação construída com técnica de terra crua.

5.2 – Métodos Racionalizados para Planejamento, Produção e Execução de Sistemas Construtivos de Solo-Cimento

5.2.1 – Princípios Básicos da Industrialização

A industrialização consiste em métodos, que entre as diversas especialidades de produção se fundamenta, em sua essência, em processos organizados de natureza repetitiva e nos quais a variabilidade incontrollável e casual de cada fase de trabalho, comum na produção artesanal, é substituída por graus pré-determinados de uniformidade e continuidade executiva; características das modalidades operacionais parciais ou totalmente mecanizadas (ROSSO, 1980).

A partir desta definição pode constatar-se que os elementos determinantes do método industrial são a repetição e a organização. A primeira de caráter basicamente tecnológico é gerada por uma ação estabilizante dos processos de produção. A

segunda possui uma conotação mais econômico-administrativa decorrente principalmente de ações de controle.

A aplicação desses conceitos conduz direta ou indiretamente às séries de produção (repetição) e à racionalização (fruto da ação de organização). O produto gerado pela adoção de métodos industriais, não será, portanto, resultado de uma série casual de produção.

O método de industrialização é dividido nas seguintes fases (ROSSO, 1980):

Definição do Objeto (Concepção):

- Pesquisa pura e aplicada
- Marketing
- Desenho industrial
- Desenvolvimento de produto
- Normalização

Processo de Produção:

- Engenharia de processo
- Pesquisa operacional
- Pesquisa tecnológica
- Engenharia de produção
- Gestão industrial

Viabilidade / Performance do Produto (Consumo):

- Engenharia de manutenção
- Engenharia de operação

Em todas as 3 fases é aplicado o controle, que por meio de mecanismo de retroação conduzem à otimização por interação do produto/processo. Estes princípios são aplicáveis para grande parte dos setores de produção. Alguns casos particulares necessitam de restrições e adaptações. Quando o produto é único e possui uma demanda mercadológica restrita, e é realizado num processo "sui generis", não repetitivo, não há condições de aplicar séries de produção, mas a mecanização e outros instrumentos de industrialização são válidos.

Muitas vezes a produção para estes casos pode ser fracionada em partes ou componentes intermediários e serem fabricados por indústrias subsidiárias, tornando estas responsáveis para a produção seriada e formação de estoques. A etapa final de produção se resume nas operações de montagem, ajustagem e acabamento.

Sintetizando a conceituação dada aos métodos de produção industrializada, conclui-se que a aplicação da racionalização é um fator decisivo para a eliminação da casualidade nas decisões durante o processo de produção. A racionalização da produção significa estudar e adotar métodos com o intuito de reduzir o tempo de trabalho e de uso de equipamentos, para obter melhores índices de produtividade e rentabilidade.

A construção industrializada é caracterizada, integralmente por procedimentos e operações sistematizadas para a produção e/ou manipulação de componentes de fábrica ou componentes construtivos funcionais produzidos em série, com o objetivo de tornar mais rápido o processo construtivo e reduzindo ao máximo as operações no canteiro de obra.

Os fundamentos para a produção de uma edificação industrializada consistem em adotar adequadamente uma estrutura metodológica de projeto e execução (RIBEIRO, 2002).

Sistemas Industriais de Construção: Aberto e Fechado

- **Sistema Fechado:** consiste em adotar princípios para a produção de determinados organismos arquitetônicos (MANDOLESI, 1981).

A edificação é projetada e dividida em partes para que cada elemento construtivo funcional seja produzido em série em uma fábrica, e, depois, durante a montagem na obra, acoplado aos demais. Entretanto, é importante ressaltar que a continuidade desta opção de produção está vinculada diretamente à demanda de mercado, por características estanques de dimensionamento, funcionalidade, forma, condições de acoplamento e permutabilidade (capacidade de substituição dos componentes).

- **Sistema Aberto:** consiste em adotar parâmetros que permitam a compatibilidade e a integração de componentes industrializados a serem utilizados no projeto e construção em edifícios de diferentes tipologias.

A diferença principal entre o sistema industrial aberto e fechado, consiste no fato que o sistema aberto não se restringe somente a oferecer ao mercado a edificação/produto, e sim componentes industrializados para a construção de diferentes tipologias arquitetônicas. A construção industrializada por sistema aberto é conhecida também como construção por componentes. A execução de uma edificação por sistema industrial aberto requer um maior controle na fase de projeto, e a verificação das condições na etapa de produção, sendo imprescindível à coordenação operacional entre os participantes de todo o processo da edificação.

A industrialização aberta ou por componentes se propõe a produzir componentes pré-fabricados em larga escala e possibilitar a variedade de seu repertório. A montagem dos componentes da edificação durante a etapa final da construção requer um grau avançado de normalização.

Rosso define normalização como sendo a regulamentação de qualquer fenômeno de produção com o intuito de obter a sua ordenação racional e unívoca (ROSSO, 1980). A normalização objetiva o controle da fabricação de produtos idênticos, aplicando a mesma tecnologia e condições de permutabilidade. Visa, portanto estabelecer uma nomenclatura comum constituída de símbolos e termos, define os objetos, o seu campo de aplicação, suas características e propriedades, as tolerâncias admissíveis de fabricação, limites para o uso adequado, normas de uso e desempenho, os controles e métodos de ensaio.

A correlação dimensional a partir de uma medida base pré-estabelecida permite a inter-relação dimensional entre os componentes do próprio sistema (fechado) ou diferentes tipos de componentes de uma mesma “família” (aberto). É a compatibilidade geométrico-dimensional, particularidade esta dos contornos dos componentes, que irá favorecer a sistematização e a otimização das operações de montagem durante a construção. A correlação dimensional das medidas dos componentes é um fator crucial para a normalização de ambos os sistemas (aberto ou fechado), permitindo definir critérios científicos admissíveis para a produção e utilização eficiente de componentes e tecnologias construtivas para diferentes parâmetros de análise.

A industrialização por sistema aberto utiliza para a correlação dimensional uma ferramenta de coordenação dimensional que é a coordenação modular. Essa ferramenta, adota como medida base o módulo da NBR 5706, que é fundamentado matematicamente, e tem o valor de 10 cm. Em sistemas industriais fechados o conceito de módulo é também comumente empregado, sendo que é adotado, por via de regra, como a dimensão de um componente “privilegiado” do sistema. Devido a este fato, muitos sistemas distintos adotam “módulos” incompatíveis dimensionalmente

não possibilitando a combinação e a interação entre os sistemas. Já no sistema aberto, tendo o módulo fundamentação matemática, de forma a não privilegiar qualquer componente, todos os componentes normalizados estão inseridos em um plano espacial tridimensional de coordenação modular, que permite que esses possam ser utilizados em qualquer construção de diferentes tipologias.

5.3.2 – Equipamentos para a Produção Semi-Industrializada e Industrializada de Tijolos de Solo-Cimento

Durante o manuseio e utilização da mistura de solo-cimento é conveniente adotar procedimentos e equipamentos que permitam sistematizar o processo construtivo e proceder a um controle dimensional, assim como, minimizar o cronograma previsto da obra. A redução de esforços físicos desnecessários, tempo ocioso de mão de obra e desperdícios de materiais propicia uma produção mais rentável sob o ponto de vista econômico, e uma melhor execução de todo o processo construtivo.

As técnicas tradicionais de terra utilizavam instrumentos e equipamentos próprios para a execução das paredes. As formas e o pilão de madeira utilizados na construção das antigas paredes de taipa de pilão são também empregados para a execução de painéis monolíticos de solo-cimento, com algumas variações devido ao aperfeiçoamento da técnica. Os tradicionais tijolos de adobe são feitos em pequenas formas de madeira.

A evolução na produção de tijolos e blocos de solo-cimento iniciou com advento da tecnologia de prensagem desenvolvida pelo CINVA (Centro Interamericano de Vivenda y Planeamiento - Colômbia). Esta prensa conhecida como CINVA-RAM (Figura 5.2) possibilitou o aumento significativo da produção de tijolos e blocos de solo-cimento prensados. As etapas do processo de produção de tijolos de solo-cimento podem ser tanto manuais como mecanizadas. As etapas iniciam desde a extração do solo, o armazenamento de matérias-primas, operações de destorroamento e peneiramento do solo, dosagem do solo, estabilizantes e ou aditivos e água, homogeneização e conformação da mistura seguida de cura e secagem do tijolo, e por último o controle final de qualidade do produto. A posterior distribuição do produto incluirá mais duas etapas: embalagem e transporte.

No que concerne às propriedades finais do produto, o controle da qualidade durante todas as etapas do processo de produção deve ser almejado. Os controles principais de serem verificados são:

- **Solo:** Homogeneidade, Granulometria e Umidade;
- **Mistura:** Dosagem;
- **Produto:** Controle Dimensional, Resistência Mecânica e Durabilidade;

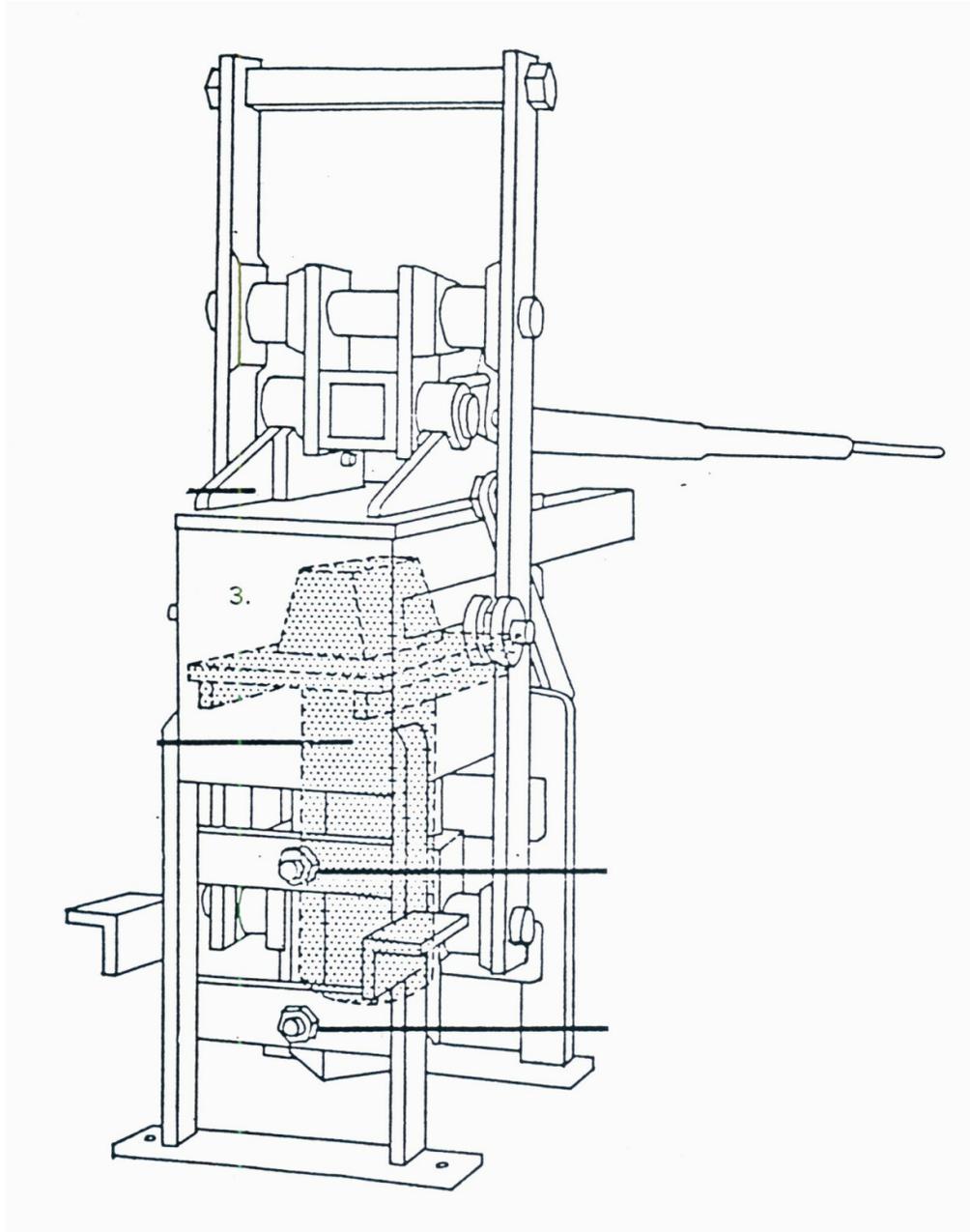


Figura 5.2 – Prensa CINVA-RAM.

Por ser a técnica construtiva de solo-cimento mais difundida e utilizada no Brasil, os tijolos e blocos de solo-cimento prensados possuem uma variedade de equipamentos desenvolvidos para aumentar a sua produtividade.

São descritos a seguir as diferentes etapas do processo de produção e os principais equipamentos utilizados:

Etapa 1: Extração de Matéria-Prima

A extração poderá ser feita manualmente ou por processos mecanizados conforme a necessidade de produção solicitada, tipo de solo, topografia do terreno, e da disponibilidade, preço e qualidade da mão de obra local disponível. Os equipamentos utilizados para a extração manual são:

- Pás
- Picaretas
- Enxadões
- Carrinhos de mão

A extração mecanizada poderá ser feita através de:

- Escavadeiras;
- Aplainadores;
- Pequenos tratores equipados com retro-escavadeira e pá mecânica;
- E até mesmo detonadores no caso de materiais duros;

O transporte do material até o local de estocagem e manufatura poderá ser feito através de:

- Carrinho de mão (utilizado para pequenas produções);
- Caminhão com carroceria basculante (utilizado onde o relevo não é muito acidentado e permite o deslocamento);
- Trem de carrinhos-caçambas / tipo DECAUVILLE. São pequenos carrinhos puxados por uma locomotiva a óleo diesel. É necessária uma grande produção que justifique o investimento e gastos de consumo de energia;

Etapa 2: Cominuição (Trituração)

Cominuição é a redução das dimensões das partículas presentes na mistura. Esta redução pode ocorrer de várias formas:

Métodos de cominuição:

- Compressão: a fratura ocorre pela compressão feita sobre o material.
- Impacto por compressão: a fratura ocorre pelo impacto ou choque aplicado no material.
- Desgaste nas arestas: a fratura é decorrente de um impacto com energia insuficiente para fraturar toda a peça, entretanto suficiente para remover pequenas lascas do material.
- Impacto: o choque provocado de uma partícula contra a outra em alta velocidade promove a fratura.
- Abrasão: a fratura é decorrente do desgaste provocado pelo atrito.
- Raspagem: provocada pela ação de corte de um dente afiado em um fragmento, ocasionando a raspagem de materiais moles.

A classificação dos equipamentos para a cominuição a partir dos métodos citados acima, não é suficiente devido à complexidade de alguns equipamentos que disponibilizam funcionalmente mais de um método de cominuição simultaneamente (Foto 5.5).

A escolha do equipamento adequado para a execução da tarefa deve se ater aos seguintes critérios:

- Dureza e coesão da matéria prima;
- Dimensões dos torrões;
- Teor de umidade do material;
- Tamanho do equipamento;
- Quantidade de material triturado desejado;
- A existência de impurezas e a necessidade de eliminar ou triturá-las;
- Processo de produção contínua ou descontínua;



Foto 5.5 – Triturador JAG-5000 da SAHARA.

Dentre os diversos equipamentos para a trituração do material são utilizados;

- Britador de mandíbulas;
- Moinho de cilindros maciços;
- Moinho de rolos;
- Desintegrador;
- Britador com rolos tubulares;
- Moinho de bola vibratória;

Etapa 3: Peneiramento

A função dos peneiradores é diversificada. São utilizados para determinar o tamanho das partículas para amostras de ensaios, classificação de materiais e para separar as impurezas.

O processo de peneiramento pode ser a úmido ou a seco. Para materiais finos o uso do peneiramento úmido é mais eficaz. Tem sido utilizado o peneiramento

aquecido por corrente elétrica, tendo possibilitado o não entupimento da malha, bem como o aumento da durabilidade do equipamento.

Existem quatro métodos de peneiramento conhecidos (fixo, oscilante, rotativo e vibratório):

- Peneira fixa: o bastidor da peneira é fixado, e o solo é jogado sobre a peneira manualmente.
- Peneira com movimentos alternados: a peneira é suspensa por meio de cabos, e o solo é peneirado através de movimentos manuais de vai e vem.
- Peneira rotativa: é constituída por grelhas cilíndricas de metal, podendo ser acionada mecanicamente ou manualmente.
- Peneiras vibratórias: diferentes peneiras são colocadas sobrepostas (as mais grossas na parte superior), de forma a separar o material em diversos tamanhos e evitar o sobrecarregamento das peneiras mais finas. As peneiras são vibradas mecanicamente.

Etapa 4: Homogeneização (Misturadores)

A homogeneização do solo é feita obedecendo a três estados físicos distintos em seqüência: seco, úmido e plástico. A mistura seca é realizada de forma a propiciar a movimentação livre dos materiais, mesmo que possa conter uma porcentagem de umidade.

A priori, a homogeneização deverá ser feita a seco, e obtendo uma coloração uniforme é adicionada a água em quantidades dosadas e em intervalos de tempo determinados, para facilitar o processo de mistura. Com a adição da água a mistura adquire com o tempo uma consistência plástica para o manuseio.

Os métodos para a mistura dos materiais podem ser manuais ou mecanizados:

- Mistura manual: executada por meio de pás, enxadas ou outros instrumentos.
- Misturadores manuais: são utilizados equipamentos como tambores rotativos que são acionados em rotatividade manualmente.
- Misturador com lâminas ou moto cultivador: equipamentos automatizados operados por uma pessoa, semelhante a um arado com rodas. É

constituído de uma série de pás cortadeiras montadas em um eixo rotativo, que permitem a pulverização e a mistura do solo simultaneamente.

- Misturador planetário: possui lâminas fixas em um eixo vertical que gira dentro de um tanque metálico acionado por um motor elétrico.
- Misturadores lineares: possuem um eixo com fuso helicoidal que promove a mistura dos materiais ao girar em uma caçamba metálica, no sentido horizontal ou vertical.

Períodos muito longos de contato da mistura de solo com o cimento e a água antes da compactação poderá promover o decréscimo da resistência do material, devido à reação química do cimento com a água que se processa após as duas horas do preparo da mistura (início da cura do cimento). A ABCP recomenda que a mistura de solo-cimento seja utilizada, no máximo, duas horas após o seu preparo.

Etapa 5: Conformação (Prensagem)

Dentre os métodos de conformação de solo, a prensagem a seco é bastante utilizada. Os métodos de prensagem são classificados em:

- Métodos de prensagem a seco;
- Extrusão;
- Moldagem plástica;
- Colagem;

Na prensagem a seco, o solo com um pequeno teor de umidade é colocado em um molde metálico e aplicada em seguida uma pressão específica sobre o material (punção). É um processo de baixo custo e muito difundido que possibilita gerar maior produção.

Métodos de Impacto

A compressão da mistura de solo-cimento pode ser classificada em:

1. Compressão dinâmica: a compactação é realizada por meio do “socamento” do solo no molde através de um martelo de ar comprimido ou soquete.

2. Compressão estática: a compactação é feita pela aproximação relativa de duas superfícies entre as quais se encontra o solo, que é mantido entre as paredes laterais do molde.

Tipos de Prensa

A produção de tijolos de solo-cimento pode ser feita utilizando prensas manuais, hidráulicas ou automatizadas. Existem basicamente duas maneiras de prensar o tijolo de solo-cimento: um único sentido de prensagem ou de duplo sentido de prensagem.

Sentido único de prensagem:

Fabrica elementos com altura de até 80 mm e possui um só pistão compactador.

Sentido duplo de prensagem:

Fabrica elementos com altura de até 200 mm e possui dois pistões de prensagem. A prensa com duplo sentido de prensagem produz elementos com melhor acabamento, pois a parte mais frágil dos mesmos está localizada na altura de sua linha média.

Existem basicamente quatro tipos de prensas:

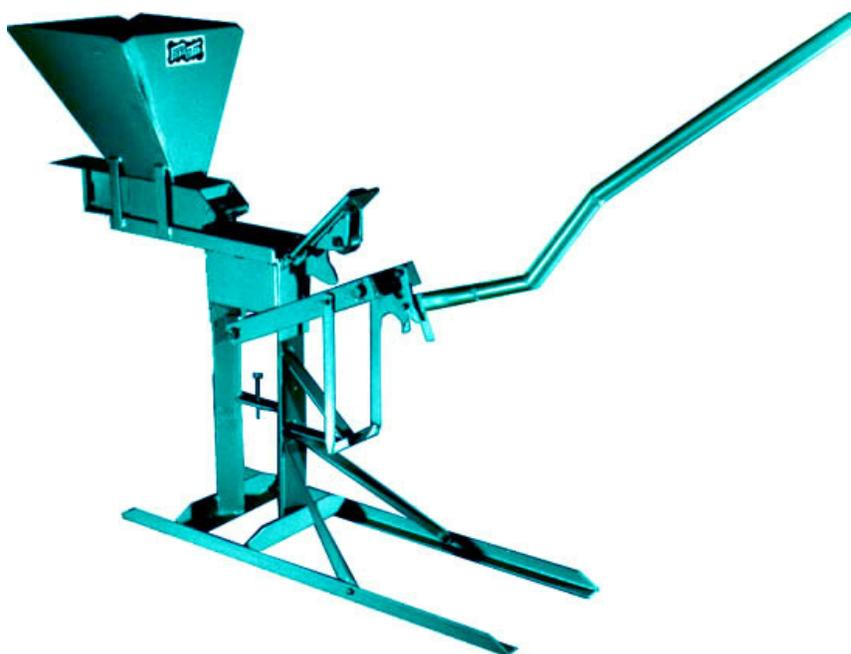
1. **Prensas Manuais:** em geral, são prensas pequenas e leves que permitem o fácil manuseio, não requerendo consumo de energia elétrica, e de fácil manutenção. Podem ser hidráulicas acionadas por um pistão. As prensas manuais hidráulicas possibilitam um eficiente controle dimensional e resistência mecânica (Foto 5.6).

2. **Prensas Motorizadas:**

- Prensas Motorizadas Mecânicas: são máquinas que produzem cerca de 200 a 1500 tijolos por hora com energia de compactação entre 4 a 24 Mpa, garantindo excelente qualidade às peças produzidas, controle dimensional e resistência mecânica admissível com menor quantidade de estabilizante



- a) Prensa manual de tijolo de solo-cimento MTS-010 da PERMAQ.
- b) Prensa manual modelo Mutirão da SAHARA.



c) Prensa de solo-cimento.

Foto 5.6 – Exemplos de prensas para a fabricação de tijolos de solo-cimento.

em massa. São divididas em dois grupos: de mesas fixas com molde individual simples e resistente, e de mesa rotatória com moldes múltiplos (frequentemente 3 ou 4) podendo ser girada, a mão ou mecanicamente.

- Prensas Motorizadas Hidráulicas: este sistema tem como vantagem à realização de batidas de compactação longas com taxas de compressão maiores.

3. Unidades Móveis de Produção:

- Unidades Leves: são equipamentos que podem ser rebocados até o canteiro de obra. São montadas sobre chassis dotados de rodas, e possuem as principais máquinas para a produção de artefatos de solo prensado tais como: pulverizadores, peneiradores, misturadores, e prensa motorizada, em geral a hidráulica.
- Unidades Pesadas: são unidades de grandes dimensões, pesadas, e que requerem grandes investimentos. Somente algumas foram fabricadas até o momento. A sua utilização se justifica em grandes empreendimentos onde a demanda de produção é grande.

4. Unidades de Produção Industrial:

Unidades de Produção Industrial: são unidades fixas equipadas destinadas à produção de tijolos prensados através de compressão estática ou dinâmica. Devido a intercambialidade dos moldes, permitem produzir outros elementos. Também requerem altos investimentos, justificáveis somente para grandes empreendimentos e produção. Podem ser hidráulicas e hidráulico-mecânicas:

- Unidades Hidráulicas: são unidades automatizadas de produção em diversos modelos. São utilizadas faixas altas de pressões durante a compactação. O processo de cura é realizado em autoclaves¹⁴. Devido ao grau de sofisticação do equipamento requerem um controle técnico eficiente.
- Unidades Combinadas Hidráulico-Mecânicas: são equipamentos automatizados adaptados das prensas para a produção de blocos de concreto. A tecnologia do equipamento combina vibração mecânica de alta frequência e baixa amplitude, e compactação hidráulica com pequenas pressões. Requer investimentos, demanda de produção e mão de obra especializada.

Os solos que possuem um baixo teor de lubrificantes naturais necessitam da adição de lubrificantes para a conformação das peças. Lubrificantes orgânicos, como o amido, produtos derivados de milho e ceras podem ser utilizados na mistura para aumentar a plasticidade ou escoamento e reduzir o atrito nas paredes do molde (forma).

Etapa 6: A Cura

A hidratação do cimento é fundamental para que as suas propriedades sejam manifestadas na mistura. Esta hidratação possibilita que ocorram reações químicas exotérmicas¹⁵ no cimento que desencadeiam o processo de endurecimento da mistura de solo-cimento. As características do solo endurecido, como resistência aos esforços mecânicos, ao desgaste, durabilidade, estabilidade de volume só poderá manifestar mediante a hidratação sistematizada do cimento durante a cura, pois quanto mais intensa e plena for esta, mais representativas serão estas características.

¹⁴ Ver Glossário p. 237.

¹⁵ Ver Glossário p. 238.

Para que ocorra a adequada hidratação da mistura é necessário que esta se processe em um ambiente com condições favoráveis de temperatura e umidade. O processo de cura é definido como o processo que possibilita manter na mistura de solo-cimento o teor de água e a temperatura mais conveniente, durante a hidratação do cimento. A perda repentina e acelerada de água necessária à reação química do cimento pode provocar alterações nas características das peças, e invalidar os trabalhos realizados nas etapas anteriores de controle de materiais, dosagem, mistura e prensagem para a realização do produto final.

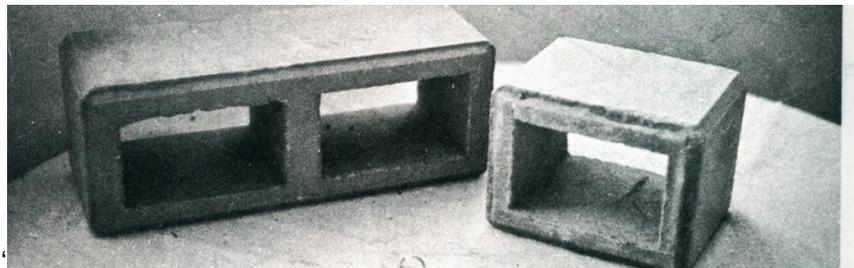
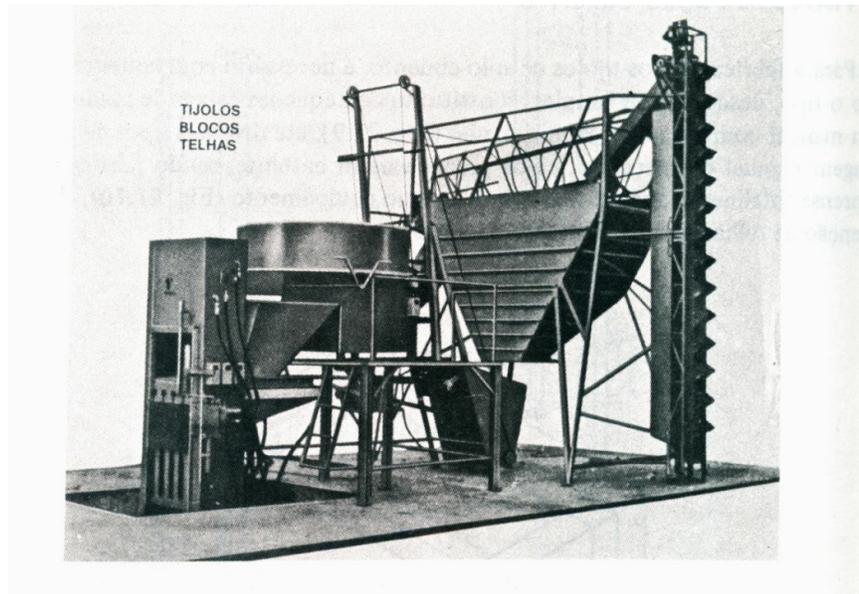


Foto 5.7 – Exemplo de unidade de produção industrial constituída das principais máquinas para a produção de artefatos de solo-cimento. Abaixo bloco vazado obtido com o equipamento.

A cura realizada por imersão em água não é muito utilizada, principalmente por problemas de espaços físicos para a sua realização. O processo mais utilizado é por aspersão de água, usada geralmente na cura inicial, até as mais sofisticadas como as curas por aquecimento e pressão em autoclave. No processo mais simples, por aspersão de água é necessário propiciar a molhagem contínua das peças para evitar a secagem de suas superfícies. É conveniente a estocagem das peças em forma de pilhas de 1,5 m de altura, em galpões cobertos para a proteção dos efeitos do sol e do vento. Ainda podem ser utilizadas lonas pretas para a proteção das peças após a aspersão.

É importante salientar que a superfície do galpão deverá ser devidamente regularizada e nivelada, a fim de favorecer a estabilidade dimensional e a planeza das faces das peças. A utilização, no caso de tijolos, só poderá ser feita oito dias após a data de fabricação.

Equipamentos para a Execução de Painéis de Solo-Cimento

Os painéis de solo-cimento, a princípio, não necessitam de um aparato tecnológico complexo para a execução, tendo em vista a simplicidade do sistema. São utilizadas ferramentas convencionais para a extração, manuseio e transporte para produções pequenas. Podem, entretanto ser utilizados equipamentos mais sofisticados conforme a demanda de produção.

Os sistemas construtivos de alvenaria de solo-cimento, por similaridade com o processo construtivo convencional de alvenaria de tijolo cerâmico obtiveram uma maior aceitação e difusão pelo setor da construção, permitindo o desenvolvimento e o aperfeiçoamento de novos equipamentos e tecnologias por centro de pesquisas. O equipamento para o molde do painel consiste em:

- **Guia:** auxilia a locação da obra, garantindo o esquadreamento e alinhamento dos painéis, não possui funções de caráter estrutural. Podem ser fixas ou removíveis. As fixas podem ser pré-moldadas de concreto armado. As removíveis de madeira.
- **Formas:** as formas são confeccionadas em madeiras (madeirit ou compensado naval) com duas faces fixadas e ajustadas por meio de

parafusos e espaçadores, para efetuar a conformação do painel e evitar o rompimento devido à compactação do material. Estas são apoiadas

sobre as fiadas já executadas e alinhadas pelas guias verticais e adjacentes aos painéis, e vão sendo sobrepostas conforme a execução de cada fiada.

Cada vez mais tem sido valorizada a utilização de formas metálicas para a execução de painéis pré-fabricados de solo-cimento, devido à qualidade do acabamento final da parede, conferindo um melhor controle dimensional ao componente e o reaproveitamento contínuo da forma para a execução das paredes.

- **Soquete ou pilão:** o soquete tem a função de “apiloar” (compactar) a mistura de solo-cimento dentro da forma. Existem ainda equipamentos automatizados como pranchas vibratórias e compactadores pneumáticos para a compactação do solo nas formas (Figura 5.3).

5.2.3 – A Energia Incorporada na Fabricação de Componentes de Solo-cimento

A energia incorporada de um material inclui toda aquela que é necessária aos distintos processos necessários à extração das matérias primas, manufatura e construção. Deve ser incluída ainda, a energia associada ao transporte, assim como a parte proporcional aos equipamentos e maquinários necessários para a execução dos processos.

A contabilização do custo de energia incorporada no fabrico do material deve contemplar as distintas fases desde a extração da matéria prima, adição de aglutinantes, a produção do estabilizante (cimento), mistura e compactação da matéria prima como também pelo transporte. Para as técnicas construtivas de terra crua por possibilitarem o processamento no próprio local de extração, o transporte representa um custo insignificante. Em terrenos com relevos acidentados, onde seja necessária a movimentação de terra, o material ocioso retirado da operação de corte e aterro, pode ser reaproveitada para a produção dos componentes de solo-cimento. É também possível o reprocessamento do componente inutilizado durante a execução da construção ou o fabrico do componente. O reprocessamento de matéria prima permite que toda a energia incorporada no fabrico do componente não seja dissipada e sim reaproveitada, em uma cadeia cíclica de reciclagem de energia incorporada.

O interesse na construção de terra reside na natureza polifacética do material (propriedades térmicas e mecânicas apreciáveis), e a possibilidade de fabricação sem a contaminação ao meio ambiente. Na maioria das etapas de execução dos sistemas construtivos de terra crua, é possível utilizar fontes favoráveis à preservação do meio

ambiente, não sendo necessário durante as fases do processo construtivo a utilização de procedimentos que exijam altas temperaturas, não requerem materiais de maior pureza do que as matérias primas, agregados e estabilizantes utilizados.

Tipos de Compactadores

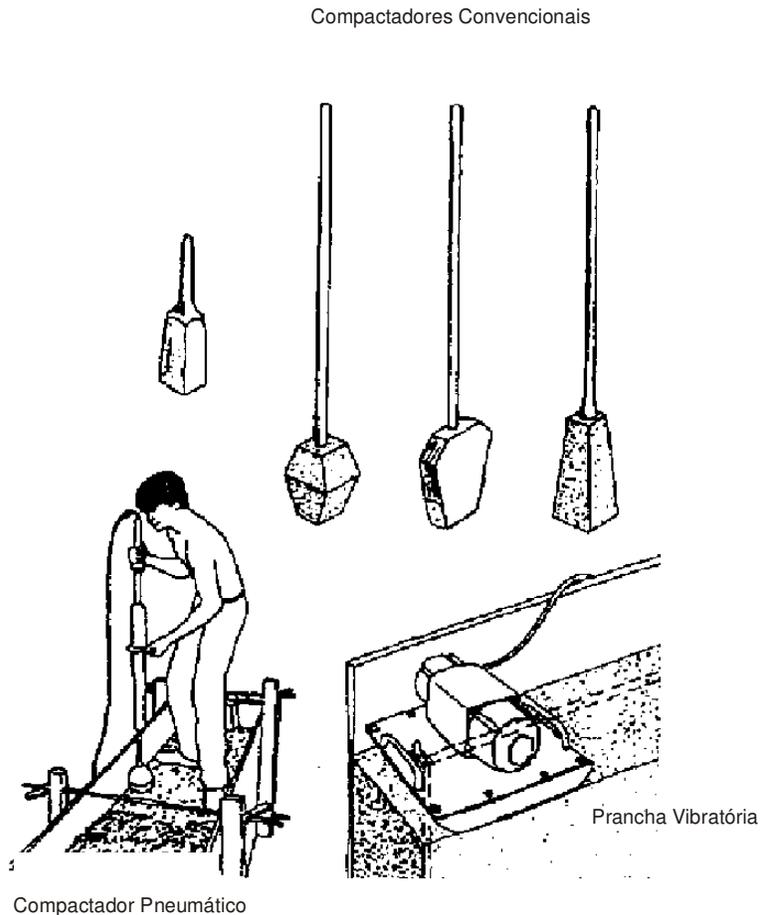


Figura 5.3 – Exemplos de equipamentos utilizados para o adensamento da mistura de terra em sistemas construtivos de paredes monolíticas.

Porém é importante ressaltar que o processo de produção do cimento, quando utilizado como estabilizante para a mistura causa certos efeitos contundentes ao meio ambiente durante a sua fabricação. As operações de extração de matéria-prima realizadas causam agressões ao meio ambiente podendo originar áreas degradadas e estéreis.

A queima de combustíveis fósseis não renováveis como o óleo diesel, o carvão ou gás para alimentação dos fornos durante a queima da mistura de cimento para a produção do *clinker* polui o meio ambiente. Por este motivo, o processo de produção do cimento, apesar de não estar relacionado de forma direta com o processo construtivo das técnicas de solo-cimento (por ser utilizado como produto final), tem gerado danos crescentes ao meio ambiente. A energia despendida na fabricação do cimento utilizado deve também ser acrescentada aos gastos adicionais de energia incorporada na fabricação de materiais de solo-cimento, mesmo este sendo utilizado como estabilizante em proporções reduzidas na mistura.

O ciclo de vida dos materiais de construção é constituído por uma cadeia bem definida desde a extração de matéria-prima, transporte, industrialização, produção, transformação, consumo e reciclagem. O uso sustentável dos materiais de construção abrange desde a forma de produção, a tecnologia, o transporte, a construção, a destruição-demolição, a energia incorporada na fabricação, e o ciclo de vida dos materiais. Através do estudo deste ciclo e a adoção de procedimentos sistematizados de produção é possível estabelecer uma relação de equilíbrio entre o consumo de energias e conseqüências ambientais, resultando em economias com a reciclagem, redução do consumo de energia na extração, produção e transporte do material, e conseqüentemente menores impactos ambientais.

Alguns materiais de construção passam por processos industrializados de produção onerosos, pois consomem grande quantidade de energia, ocasionando danos ao meio ambiente e à saúde humana, devido principalmente a composição química nociva de muitos materiais (ADAM, 2001).

O uso de materiais e técnicas procedentes da região próxima a obra, permite otimizar gastos com o transporte, reduzir a poluição ambiental, sonora e atmosférica provenientes da circulação de veículos.

O menor custo ecológico deve ser uma prioridade a ser almejada em todas as etapas de produção de um componente, seja de solo-cimento, concreto armado ou madeira, incorporando critérios ambientais de reciclabilidade e toxicidade (poluição e contaminação).

Os esforços em busca de construções sustentáveis devem ser dirigidos a favor da diminuição do custo de manutenção dos edifícios, priorizando o desenho da arquitetura e a sua integração com o meio ambiente (entorno), como também, proporcionando a redução de consumos energéticos (Foto 5.8). Em um segundo instante, é relevante ressaltar o aumento da durabilidade das edificações e da eficiência dos sistemas energéticos ativos (instalações elétricas, ventilação, aquecimento, etc). A utilização conjunta de materiais tradicionais e novos poderá ser

evidenciada desde que não seja incorporada, na construção, energia desproporcional às suas possíveis vantagens.

Segundo dados fornecidos pela Associação de Estudos Geobiológicos (Espanha-1996), muitas das edificações contemporâneas, além de descaracterizarem o entorno onde estão implantadas, são grandes consumidoras de energia. O estudo realizado demonstrou que 50% da energia produzida no planeta é consumida pelas edificações durante a construção, uso e manutenção, enquanto as indústrias consomem 25% e os transportes 25% (ADAM, 2001).

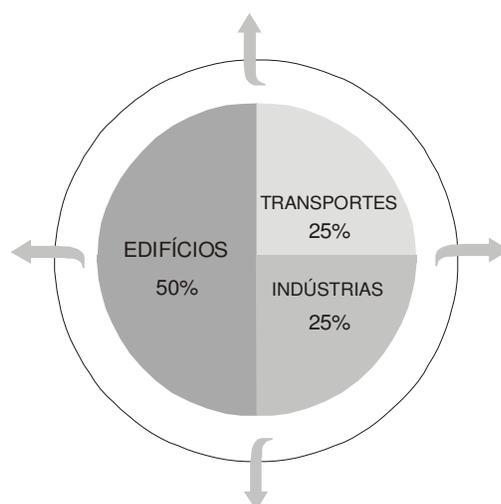


Figura 5.4 – Gráfico de consumo energético mundial.

Fonte: Jornadas de Bioconstruccion, (Madrid, 1996), Sofia Bealing & Stefan, e Philip Steadman (ADAM, 2001).



Foto 5.8 – Arquitetura de terra integrada com a paisagem natural (entorno).

Para Espí, a discussão sobre o “caráter ecológico” dos materiais de uma construção deveria se restringir àqueles que podem ser tóxicos ou contaminadores do meio ambiente em qualquer prazo temporal. Citando Espí ainda, qualquer cenário futuro para uma construção sustentável deverá contemplar o uso de materiais disponíveis localmente (ESPÍ, 2001).

O desenvolvimento tecnológico, social e o equilíbrio ambiental devem se inter-relacionar de forma a gerar “tecnologias limpas”, sem causar danos substanciais ao meio ambiente natural e urbano. A adoção de diretrizes para um desenvolvimento sustentado incentiva o crescimento e preserva os recursos naturais sem prejudicar o meio ambiente. Segundo Adam, o ambiente, edifícios e cidades devem ser entendidos e conceituados como ecossistemas integrados (ADAM, 2001).

O planejamento e o desenvolvimento do projeto integrado em sinergia com o entorno (urbano e natural), usuário, materiais, técnicas e sistemas construtivos possibilita a geração de edificações mais integradas ao contexto regional. É importante salientar que este processo de planejamento integrado de projeto deve ser realimentado de forma contínua para propiciar o aperfeiçoamento do processo.

A avaliação Pós-Ocupacional (A. P. O.) é uma técnica de avaliação das conseqüências geradas pelos edifícios e ambientes construídos aos usuários e ao entorno, através da análise de diretrizes físicas, comportamentais, técnicas e funcionais. Esta técnica permite ao profissional inserir nos projetos futuros informações fundamentais para o aperfeiçoamento do projeto da edificação, através de um processo de retro-alimentação de dados, que a partir da análise de erros realizados em projetos anteriores, possibilita a inserção de novas posturas e soluções mais adequadas e eficientes ao novo contexto de projeto.

O uso e a exploração racional de tecnologias na construção civil para atingir objetivos determinados implica também em responsabilidades sociais, qualificação de uso energético e consciência ecológica.

5.2.4 – Procedimentos para a Execução de Alvenarias Racionalizadas de Tijolos de Solo-Cimento

A alvenaria pode ser definida como um elemento construído em uma obra, por meio da união entre tijolos ou blocos por juntas de argamassa, resultando em um conjunto rígido e coeso. A palavra alvenaria deriva do árabe *al-bannā* que significa aquele que constrói (LORDSLEEM, 2000).

As paredes de alvenaria são empregadas tradicionalmente na construção de edificações. O custo de uma parede de vedação pode ser estimada em até 6% do valor total da obra. Analisando através deste prisma parece não ser relevante a adoção de procedimentos racionalizados de planejamento, projeto e execução. Entretanto é importante considerar que as inter-relações com os demais elementos que estão inseridos na parede, como o conjunto de esquadrias, instalações elétricas e hidrossanitárias e dos revestimentos que estão diretamente vinculados à concepção e a execução da alvenaria. Desta forma o custo final da alvenaria, tendo considerado os demais elementos necessários que estão inseridos, poderá atingir até 40% do custo final da edificação (LORDSLEEM, 2000).

As paredes de alvenaria também são responsáveis por grande parte do desempenho da edificação como um todo. Aspectos relativos à higiene, conforto termo-acústico, salubridade do ambiente interno, segurança de uso, como também a relação com a ocorrência de patologias são atribuídos a alvenaria.

A alvenaria utilizada sem ser dimensionada para resistir a cargas estruturais além do seu peso próprio, e desempenhando somente a função de vedar, é conhecida como alvenaria de vedação. A maioria das edificações construídas pelo processo construtivo tradicional, ou seja, aquele em que empregam o uso de estrutura reticulada

de concreto armado, utilizam alvenarias de vedação, que podem ser de blocos cerâmicos, concreto, sílico-calcário e solo-cimento.

A alvenaria convencional executada na maioria das cidades brasileiras é caracterizada por excessivos índices de desperdícios, improvisações no canteiro de obra, precariedade na padronização do processo de produção, falta de fiscalização de serviços e planejamento prévio antes da fase de execução.

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo, no qual os elementos que desempenham a função estrutural pertencem à própria alvenaria, projetados e dimensionados a priori. Em função da presença ou não de armaduras, a alvenaria pode ser classificada em armada, parcialmente armada ou não armada. Em função do tipo de material empregado, poderá ser de concreto, solo-cimento, cerâmica ou sílico-calcário. E conforme a tipologia do componente poderá ser de blocos ou de tijolos. A alvenaria estrutural permite dispensar o uso da estrutura convencional, simplificando o processo construtivo e reduzindo etapas, mão de obra e conseqüentemente o tempo de execução.

A alvenaria racionalizada é caracterizada pela adoção de procedimentos racionalizados que objetivam otimizar o uso de recursos disponíveis, em todas as etapas da obra, ou seja, a melhor aplicação destes recursos para a construção da edificação. A execução de alvenaria racionalizada constitui uma entre as diversas vertentes do processo de racionalização da construção de uma edificação.

A racionalização da alvenaria deverá começar nas etapas que antecedem a sua execução. A elaboração de um planejamento prévio de produção que possibilite a adoção de soluções adequadas e eficientes de execução, planejamento e controle. A escolha dos componentes de alvenaria (blocos, argamassas de assentamento) é de suma importância durante o projeto de produção. Esta decisão deverá ser norteada por parâmetros que possam conferir nas paredes de vedação as características desejadas de resistência mecânica, deformabilidade, estanqueidade, isolamento termoacústico, segurança ao fogo, textura, porosidade, homogeneidade, integridade e sem desperdícios (cortes). O sucesso da produção de alvenaria racionalizada deverá mobilizar uma ação conjunta de todos os profissionais envolvidos na tarefa independente de níveis hierárquicos. É necessário ainda, que os profissionais estejam motivados e conscientes dos benefícios da racionalização.

A utilização de métodos didáticos (vídeos ou palestras) para a conscientização e treinamento de corpo técnico permite uma melhor capacitação técnica, entendimento de detalhes construtivos e esclarecimentos de dúvidas. A motivação do grupo é outro fator preponderante para alcançar a meta desejada.

As principais diretrizes a serem realizadas para a implementação de uma alvenaria racionalizada são: (LORDSLEEM, 2000, p.21).

DIRETRIZES DE PROJETO

- Compatibilizar o sistema de vedação com a estrutura, esquadrias, instalações e revestimentos, durante a fase de projeto;
- Enfatizar o uso de componentes de alvenaria com variações flexíveis (blocos e tijolos com variações e componentes seccionáveis);
- Elaborar projetos para produção compatíveis com a realidade e contexto dos empreendedores, fornecedores e clientes;

DIRETRIZES DE EXECUÇÃO

- Estabelecer procedimentos para a organização do setor de suprimentos e cumprimento das seguintes atividades:
 - Incentivar a compra técnica através do atendimento da especificação de materiais e componentes;
 - Adotar critérios para seleção de fornecedores;
 - Controlar e conferir o recebimento de materiais especificados a priori;
 - Padronizar a forma de armazenamento, circulação e transporte dos materiais no canteiro;
 - Adotar mecanismos de retroalimentação de informações ao setor de projetos;
 - Comprar e locar equipamentos conforme necessidades pré-estabelecidas;
- Padronizar a produção a partir da elaboração de procedimentos de execução dos serviços;
- Mão de obra;
 - Fornecer treinamento adequado e incentivar a motivação;
 - Adotar critérios de seleção de operários;
 - Estabelecer parcerias com sub-empregados visando a capacitação e o aperfeiçoamento profissional de pessoal;

DIRETRIZES DE CONTROLE

- Determinar as responsabilidades de cada profissional no processo de produção;
- Padronizar a forma de acompanhamento das atividades através da elaboração de procedimentos de inspeção de serviços;
- Estabelecer mecanismos de recebimento de cada atividade, administrando tolerâncias e correções das eventuais não conformidades;
- Adotar procedimentos para a circulação contínua de informações entre os envolvidos da produção e o setor de planejamento e projeto, através de mecanismo de retroalimentação de novos projetos.

Para atender às solicitações de produção, o projeto de alvenaria deverá ter (LORDSLEEM, 2000, p.28):

- Especificações de todos os componentes de alvenaria: blocos, composição e dosagem da argamassa de assentamento;
- Locação da primeira fiada, a partir do eixo de referência predefinido (Figura 5.5);
- Planta de primeira e segunda fiadas com a distribuição dos componentes;
- Elevações das paredes, identificando o posicionamento das instalações e das aberturas (Figura 5.6);
- Características das juntas entre os componentes e na ligação entre estrutura e alvenaria (espessura e tratamento);
- Necessidade de uso de juntas de controle (posicionamento e dimensão);
- Amarrações entre fiadas, amarração da alvenaria com a estrutura;
- Definição quanto ao uso de vergas e contravergas pré-fabricadas ou moldadas no local e seu posicionamento;
- Definição quanto ao uso de *shafts*¹⁶ ou embutimento de instalações ou de dutos de prumada;

¹⁶ Ver Glossário p. 239.

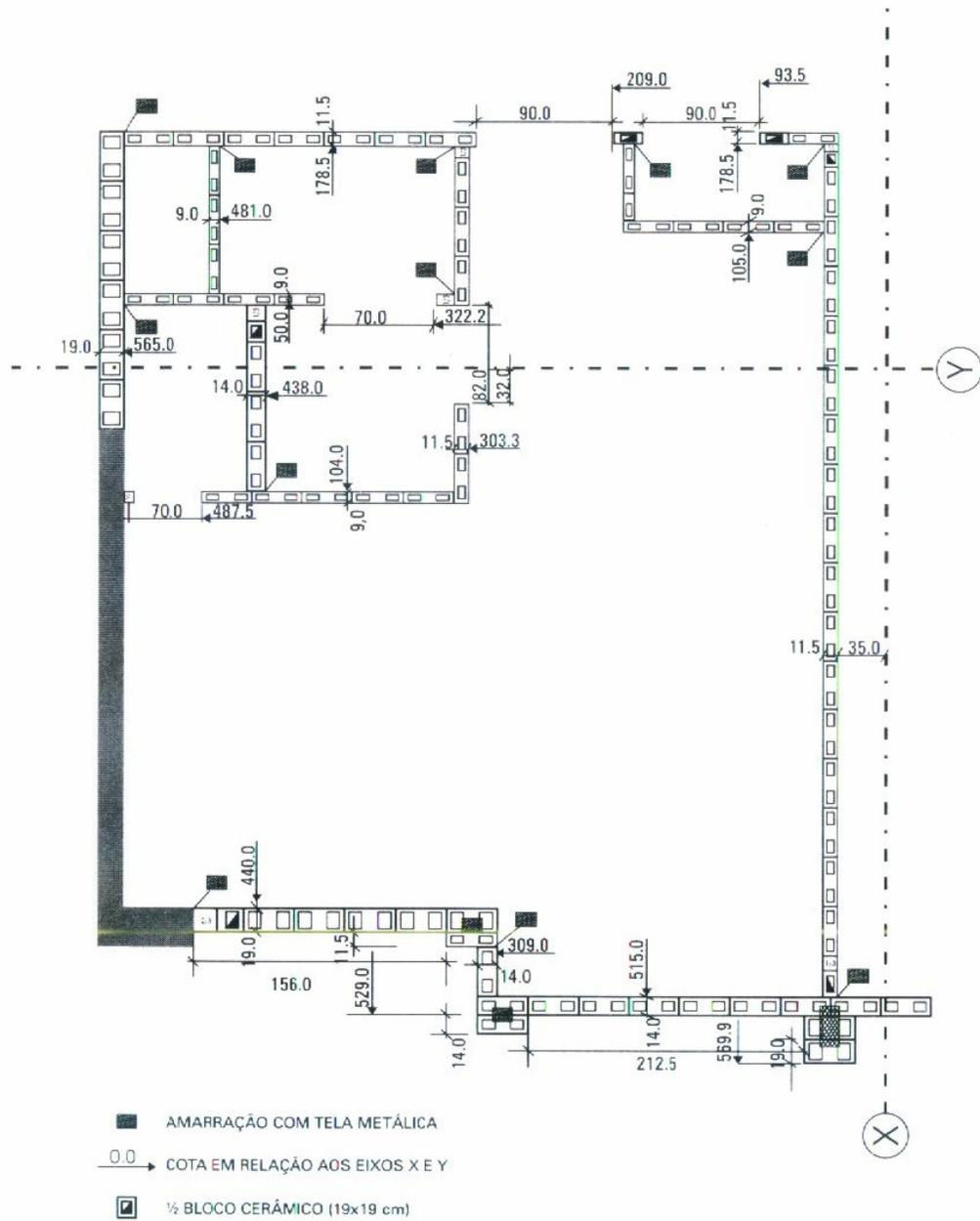


Figura 5.5 – Exemplo de planta de locação da primeira fiada de alvenaria.

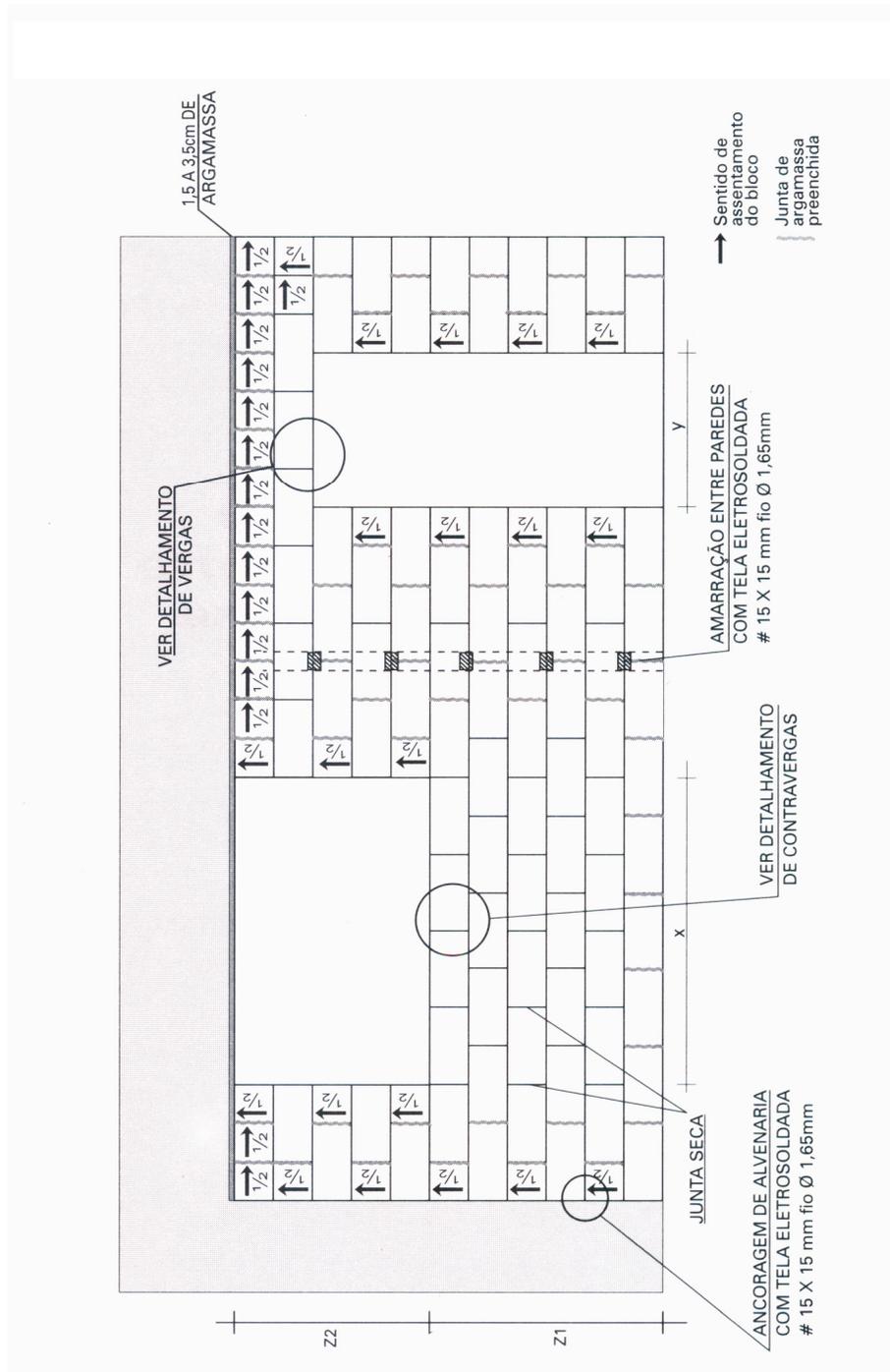


Figura 5.6 – Exemplo de uma elevação de parede (detalhamento).

É importante ressaltar que a realização de um projeto para a produção não implica, necessariamente, na racionalização do processo construtivo da alvenaria. Tornar viáveis, assegurar o cumprimento e a aplicação das diretrizes concebidas durante o projeto de produção, citadas anteriormente permite que sejam realizados os fatores estabelecidos em projeto na fase de execução da obra.

A alvenaria racionalizada deve estabelecer interfaces com os demais sistemas que estão inseridos, como instalações elétricas e hidráulicas. As instalações são tradicionalmente realizadas posteriormente à elevação da alvenaria, e embutidas por meio de rasgos e cortes realizados para este fim. Apesar deste procedimento ser comumente empregado na construção não é eficiente, pois gera desperdícios de material e mão de obra devido ao retrabalho necessário para a execução do processo executivo das instalações.

A utilização de *shafts* permite uma melhor distribuição das tubulações e manutenção dos sistemas, proporcionando a racionalização das instalações na edificação. Para facilitar a manutenção dos ramais das tubulações (elétrica, hidráulica, gás e esgoto) é necessário que sejam projetados, a priori, acessos distribuídos ao longo dos shafts.

As instalações hidráulicas e elétricas aparentes através de sistemas de fixação da tubulação na parede, constituem em uma alternativa racional para minimizar gastos. Existem componentes de solo-cimento (tijolos) que permitem a passagem de eletrodutos e tubulações em seu interior por dentro de furos do componente.

A busca de soluções para otimizar a produção e gerar qualidade é o maior desafio almejado pelos profissionais para a racionalização integral da construção de uma edificação. As principais dificuldades estão relacionadas à falta de padronização dos componentes, do processo executivo, sistematização e controle de todas as etapas realizadas durante a construção da edificação.

5.2.5 – A Autoconstrução Racionalizada como Ferramenta Aplicada na Execução de Sistemas Construtivos de Solo-Cimento

“O sucesso da comunidade toda depende do sucesso de cada um de seus membros enquanto que o sucesso de cada membro depende do sucesso da comunidade como um todo”.

(FRITJOF CAPRA, 1982).

A autoconstrução é um processo de produção de moradias que conta com a participação conjunta de familiares, amigos, e da própria comunidade em alguns casos. Também é promovida e incentivada pela ação governamental em programas habitacionais para as populações de baixa renda, para redução do custo final da moradia. É conhecida também como auto-ajuda, ajuda-mútua ou mutirão.

Esse processo de produção de moradias tem sido aplicado principalmente pelas populações de baixa renda, como última opção para suprir o problema habitacional. A autoconstrução e a autogestão (gerenciamento do empreendimento pela própria comunidade) possibilitam a redução de custos, que seriam destinados à mão-de-obra especializada para a execução da construção, administração da aquisição de materiais e custos indiretos.

Os critérios adotados pelos diversos protagonistas atuantes no processo de autoconstrução, para definição dos materiais a serem empregados serão: o menor custo, conhecimento e domínio da técnica, identificação com o sistema construtivo de solo-cimento de simplificado manuseio deferido pelos autoconstrutores e a população. A utilização das tradicionais técnicas de terra crua como o pau-a-pique, taipa de pilão e adobe na autoconstrução é difundida principalmente em zonas rurais, onde o conhecimento e a identificação cultural com as técnicas construtivas e com o material permitem uma melhor absorção por parte da comunidade. Apesar do uso em zonas rurais e periféricas de caráter semi-urbano, haverá variações entre as técnicas de região para região em virtude das características do solo, climáticas, culturais, e econômicas.

É conveniente ressaltar a importância da escolha da técnica construtiva mais adequada para a apropriação no processo de autoconstrução. A tecnologia de solo-cimento mais apropriada será a que propiciar o melhor desempenho dos autoconstrutores, adequação ao clima regional e melhor aproveitamento dos materiais, com o intento de reduzir prazos da obra, gastos, aumentar a eficiência e eliminar desperdícios. Priorizar a utilização de materiais regionais ou locais quando for pertinente (qualidade eficiente e comprovada) possibilita a redução de custos relativos ao transporte e produção (matéria prima extraída do local da execução da obra). Entretanto alguns aspectos deverão ser considerados para a adoção de tecnologias de solo-estabilizado pelo processo de autoconstrução como:

- Facilidade de extração da matéria prima e obtenção dos demais materiais necessários à produção de componentes de solo-cimento.
- Estudo do impacto ambiental ocasionado pela extração local de grande quantidade de matéria prima (solo).

- Facilidade da utilização da técnica de solo-cimento escolhida e adoção de equipamentos para a produção dos componentes.
- Aceitação, identificação e absorção da técnica pela população e autoconstrutores.
- Custo final da construção.
- Resistência e durabilidade da construção e material empregado em relação à ação das intempéries características da região.
- Segurança.

Apesar de não ser o objetivo de discussão deste trabalho, é importante ressaltar a necessidade da participação conjunta nos programas habitacionais de baixa renda, de todos os protagonistas envolvidos (prefeituras municipais, agentes financeiros, universidades, profissionais liberais, comunidade) no processo da autoconstrução independente do grau de responsabilidade. Os interesses e objetivos de todos os envolvidos (sendo prioritários os da comunidade alvo) devem ser discutidos e analisados com a adesão conjunta e participativa de todos que a integram, almejando ações que visem o bem comum, a preservação dos bens materiais e ambientais, segurança, recuperação, manutenção, desenvolvimento do bem estar social da comunidade e do meio urbano onde está inserida.

O sistema de autoconstrução deve ser efetuado com a participação coletiva da comunidade, de forma organizada e ampla, contemplando as várias etapas do processo de produção e utilização da moradia. O acompanhamento e a supervisão técnica devem ser feitos durante as etapas de planejamento, execução e posteriormente, durante a vida útil da construção (manutenção).

Os programas habitacionais por ajuda-mútua (autoconstrução) são diferentes dos demais programas devido as suas características atípicas. A participação da população na gestão da intervenção discutindo com os técnicos as soluções mais adequadas a serem adotadas durante as etapas predecessoras ao processo executivo de autoconstrução é primordial para o sucesso almejado. Durante a fase preliminar de estudo do projeto é necessário que haja uma pesquisa sobre o melhor sistema construtivo de solo-cimento a ser adotado, analisando todas as diretrizes que proporcionem as melhores soluções em termos financeiros, tecnológicos e ambientais para o conjunto de edificações e entorno.

Depois de constatada a viabilidade do sistema construtivo a ser adotado, é iniciada a elaboração de um anteprojeto para a construção de um protótipo experimental (se for necessário), obedecendo a todos os objetivos pré-definidos. Este protótipo permite a correção e o aperfeiçoamento do projeto com um melhor apuro.

Posteriormente a esta fase é executada uma série de desenhos de detalhamento para a execução tanto das diversas etapas dos sistemas construtivos de solo-cimento, quanto para a fabricação de “kits”¹⁷ de instalação elétrica, hidráulica, esgoto-sanitário, telhado, etc. Estes desenhos devem estar relacionados com os setores que constituirão a linha de produção e os desenhos de montagem final. Feitas as devidas alterações, tendo como base os novos protótipos ou corpos de provas, é organizado o grupo de projetos e desenhos de detalhamento e procede-se ao treinamento da mão-de-obra antes de dar início à produção.

A adoção de procedimentos e metodologias para a execução da obra visa o gerenciamento racionalizado do processo de autoconstrução. Assim é possível prever através de sua aplicação, o menor dispêndio de força de trabalho dos autoconstrutores, na redução das perdas de material e aumento de produtividade e na obtenção de moradias adequadas às exigências de segurança, habitabilidade e durabilidade.

A falta de especialização dos autoconstrutores é um fator relevante que deve ser abordado e pode ser minimizado, através do desenvolvimento e planejamento de soluções técnicas racionalizadas de projeto e execução, que possibilitem a eficiência e a produtividade durante a fase de execução das obras, como também a qualidade final das habitações.

A metodologia pedagógica a ser aplicada para a instrução dos autoconstrutores sobre os procedimentos e serviços previstos para a construção da edificação, deve ser o mais “linear” possível, ou seja, de fácil assimilação por todos. A proposta de implantação de um canteiro-escola para a produção de moradias de baixo custo possibilita a adoção de metodologias pedagógicas para a iniciação profissional de aprendizes nas diversas especialidades necessárias para a construção de uma edificação. Técnicos e demais profissionais capacitados participam ministrando aulas no próprio canteiro da futura obra para a capacitação dos autoconstrutores, como também, para a conscientização de todos da importância do trabalho solidário para o sucesso do empreendimento. A confecção de um manual técnico de interpretação fácil descrevendo detalhadamente as etapas construtivas da edificação é um importante instrumento de auxílio no processo de aprendizado dos autoconstrutores.

Os benefícios resultantes serão revertidos em prol da comunidade que será mais bem qualificada e designada para a execução das tarefas durante o mutirão. Generalizando, tais iniciativas, geram subsídios significativos para o setor da construção civil, que é carente de mão-de-obra melhor qualificada e especializada.

¹⁷ Ver Glossário p. 238.

A racionalização do processo de autoconstrução em sistemas construtivos de solo-cimento é direcionada no sentido de permitir que a fase de execução da obra seja feita a partir de determinadas práticas de trabalho, que possibilitem o aumento da produtividade e melhoria da qualidade do produto a ser obtido. Entretanto é preciso adotar alguns critérios como:

- Organização de tarefas repetitivas que propiciem o treinamento da mão-de-obra;
- Coordenação de tarefas seqüenciais, de forma a evitar interrupções no cronograma físico da obra;
- Implantação de sistema de controle de recepção de materiais e de execução das tarefas;

A sistematização do processo construtivo de tecnologias de solo-cimento deve ser planejada desde as etapas iniciais de análise e extração do solo local até a conclusão final da obra. A instalação de centrais para a produção de componentes de solo-cimento e montagens dos “kits” de instalações e demais componentes possíveis possibilitam a otimização e a ordenação do processo executivo. As estocagens dos componentes de solo-cimento e demais componentes devem ser feitas próxima à central de produção e o local da obra, evitando assim, gastos de custo e tempo de transporte tornando mais ágil a transposição do componente de uma etapa para outra.

Outras edificações provisórias são utilizadas para racionalização do processo de autoconstrução como: galpões-escolas para treinamento dos autoconstrutores e palestras, refeitórios, sanitários, etc.

Para a adequada execução da obra, é preciso que seja feito um planejamento detalhado durante as fases de projeto, execução e treinamento das equipes de trabalho. Na fase de execução é de suma relevância que sejam adotados princípios básicos da indústria de pré-fabricação, como a manipulação e a produção de partes da edificação fora do local de aplicação, em condições melhores de trabalho e de controle. Estes princípios poderão ser traduzidos nas realizações de atividades de pré-cortar e de pré-montar partes ou trechos de determinados componentes (formas e guias para painéis monolíticos, formas para adobe, montagens de pequenos componentes de telhado, “kits” de instalações, etc.) em pequenas centrais de produção, antes da colocação e fixação final na construção.

Uma importante iniciativa para a construção de moradias de baixo custo utilizando a autoconstrução e tecnologia de terra aconteceu no início da década de 1960, na comunidade de Cajueiro Seco em Pernambuco. O projeto coordenado pelo

arquiteto Acácio Gil Borsóí, contou com a participação da população local, por meio da associação de moradores que definia junto ao governo a criação de centros comunitários, oficinas de produção, escolas e postos de saúde. A proposta arquitetônica e técnica consistia na utilização de painéis de taipa pré-fabricados e coberturas de palha costurada, tendo como diretrizes elementos tradicionais e técnicas de conhecimento popular, enfatizando uma interpretação moderna e racionalizada de produção (ARANTES, 2002).

6- ESTUDO DE CASO

6.1 – Parâmetros para Análise das Propriedades Físicas-Mecânicas de Tecnologias de Solo-Cimento

Dentre os diversos parâmetros utilizados para estabelecer resultados decorrentes de ensaios de laboratórios utilizando corpos de prova de solo-cimento, destacam-se:

- Resistência estrutural;
- Estanqueidade à água;
- Desempenho térmico;
- Desempenho acústico;
- Durabilidade;
- Segurança ao fogo;
- Critérios de dosagem da mistura;
- Critérios dimensionais;
- Sistema de acoplamento;

Entre os ensaios e análises utilizados para mensurar os parâmetros acima descritos são destacados (IPT, 1998):

- Avaliação de desempenho térmico;
- Impacto de corpo mole;
- Impacto de corpo duro;
- Cargas transmitidas por peças suspensas;
- Solicitações transmitidas por esquadrias;
- Resistências a cargas uniformemente distribuídas;
- Compressão excêntrica;
- Caracterização da mistura;
- Estanqueidade à água;
- Ensaio de isolamento acústico;
- Ação de calor e choque térmico;
- Durabilidade por molhagem e secagem;
- Tolerâncias dimensionais;

- Absorção por coluna de água;
- Avaliação do desempenho do sistema construtivo;
- Avaliação do desempenho ao fogo;
- Resistência ao fogo;

Entretanto para o estudo de caso a ser desenvolvido posteriormente, serão enfatizados alguns parâmetros para análise descritos a seguir:

- Critérios para dosagem da mistura de solo-cimento;
- Resistência estrutural;
- Desempenho térmico;
- Critérios dimensionais;
- Sistema de acoplamento;

6.1.1 – Critérios para Dosagem da Mistura de Solo-Cimento

Conforme dito anteriormente, o solo-cimento é constituído basicamente de solo, cimento e água. E é importante que sejam conhecidas, a priori, as propriedades da composição para a previsão das características da mistura.

Os resultados dos ensaios laboratoriais necessários a serem realizados permitem estabelecer a dosagem a ser utilizada. A fixação da dosagem em misturas de solo-cimento é resultado da verificação da compatibilidade das solicitações de uso previstas com os valores obtidos nos ensaios laboratoriais, que simulam tais solicitações. Por estes ensaios simularem, mas não reproduzirem as condições de uso, devem haver procedimentos padronizados para transformar tais resultados em critérios de projeto.

Durante a verificação das características dos solos a serem empregados na mistura devem ser analisados quais necessitam de menor estabilização (cimento), pois serão economicamente mais viáveis a sua utilização. Solos com alto teor de matéria orgânica e ricos em sal devem ser evitados, por exigirem maiores quantidades de cimento para a estabilização.

O limite de liquidez e o índice de plasticidade são as variáveis que mais expressam as condições de trabalhabilidade da mistura. Valores maiores destes parâmetros resultam em dificuldades no destorroamento, mistura e secagem.

O consumo de cimento para a mistura é determinado pelo teor granulométrico e a uniformidade dos grãos. O aumento da quantidade de silte e argila, ou a

predominância de grãos muito uniformes possibilitam o aumento do consumo de cimento, pois quanto mais fino é o solo maior será a sua superfície específica a ser cimentada. A hidratação do cimento deve ser estabelecida através de testes em laboratório, para que atinja a resistência ótima após a cura. A existência de grãos maiores, areia grossa e pedregulhos funciona como um enchimento para a mistura, transferindo a ação de uma maior quantidade de cimento para ligar os grãos menores. Pode-se concluir que os grãos não uniformes permitem uma melhor qualidade para a estabilização da mistura, quando comparados aos grãos uniformes, tendo em vista o maior número de pontos de contato, maior superfície específica e menor índice de vazios, como no concreto.

Entretanto os solos deverão ter um teor mínimo de fração fina para permitir a resistência inicial do solo-cimento derivada da coesão dos grãos finos compactados, pois as reações químicas de endurecimento do cimento não se processam de imediato. É esta resistência inicial que permite a manipulação da mistura para a confecção dos componentes.

Durante as operações de moldagem e desmoldagem na fabricação de elementos construtivos de solo-cimento a plasticidade da mistura se faz necessária para garantir a coesão suficiente para as operações de desmoldagem e transporte até o local destinado à cura dos componentes produzidos.

A dosagem da mistura de solo-cimento é compreendida por uma sequência de ensaios realizados com uma determinada mistura de solos, cimento e água, que por meio das interpretações de resultados obtidos, e norteados por critérios pré-estabelecidos, conduzem à porcentagem ideal da dosagem.

São consideradas as seguintes variáveis para obtenção do resultado final:

- A composição do solo;
- A quantidade de cimento;
- O fator água / cimento (hidratação do cimento);
- A quantidade de água (índice de plasticidade da argila);
- A massa específica seca alcançada depois de efetuada a compactação;

Os ensaios laboratoriais realizados permitem recomendar o teor de cimento adequado a ser utilizado para misturas de solo específicas. A pouca dosagem de cimento poderá comprometer a resistência e a estabilidade. Sendo exagerada poderá ocasionar a retração excessiva provocando fissuras no material e também o maior custo.

A dosagem ideal de cimento é consequência da definição de fins específicos para o uso do material. Deve-se estabelecer índices mínimos e máximos de determinados comportamentos do material que satisfaçam as solicitações previstas como:

- Limites de perda de massa;
- Limites de resistência à compressão;
- Limites de variação de volume;
- Limites do teor de umidade;

6.1.2 – Resistência Estrutural

As paredes portantes são conhecidas por receberem as cargas dos pisos, tetos e pavimentos superiores. As paredes divisórias são utilizadas para dividir em espaços internos uma grande área, não tendo função estrutural e podendo ser removidas a qualquer tempo. As paredes de contraventamento ou de enrijecimento tem a função de dar estabilidade à edificação para esforços horizontais como vento, terremoto ou ainda reduzir a flambagem das paredes que lhe são ortogonais.

As paredes podem ser classificadas de acordo com a função solicitada:

- Paredes Portantes
- Paredes Divisórias
- Paredes de Contraventamento

A localização das paredes portantes terá influência no desenvolvimento do projeto, tendo em vistas a responsabilidade pela estabilidade da edificação, não podendo, portanto serem removidas nem cortadas, acarretando uma certa rigidez no projeto arquitetônico.

Conforme a posição das paredes portantes em relação ao eixo maior da edificação podem ser classificadas em:

- Transversais
- Longitudinais
- Transversais e Longitudinais

As paredes portantes transversais são aquelas perpendiculares às fachadas, as longitudinais são paralelas às fachadas (ou são as próprias fachadas). As paredes transversais e longitudinais portantes são distribuídas na construção conforme as necessidades estabelecidas pelo projeto.

Alvenaria

As paredes portantes de alvenaria estarão sujeitas a cargas permanentes e acidentais, e além das cargas verticais deverão ser consideradas as cargas laterais provenientes da ação do vento; estas irão determinar um momento fletor que deverá ser acrescido ao momento das cargas de compressão. Além disso, poderão ocorrer momentos adicionais provenientes de cargas excêntricas, especialmente aquelas decorrentes da rotação no engaste de lajes.

Paredes não portantes não suportam nenhuma carga ou somente o peso próprio. São consideradas também paredes não portantes aquelas que absorvem pequenas cargas de forro ou cobertura que não poderão exceder a 300kg/m (TAUIL, 1981). Em caso de alvenarias de tijolos ou blocos, a argamassa de assentamento desempenha importante função de transferir uniformemente as tensões entre os blocos e uni-los para resistir aos esforços solicitantes. A argamassa é um produto composto de aglomerante e agregados miúdos. É empregada para o assentamento de tijolos e blocos de alvenaria, revestimento de paredes e tetos e no acabamento de pisos. As características mecânicas a serem consideradas a respeito das argamassas de assentamento são: resistência à compressão, à tração, módulo de elasticidade, resistência à penetração de agentes agressivos e aderência da argamassa com as paredes dos blocos ou tijolos. São fatores fundamentais da argamassa para propiciar condições de estabilidade da alvenaria, seja portante ou não. O sistema de acoplamento dos blocos influenciará, também na absorção e distribuição, ao longo da parede, dos esforços estruturais atuantes.

Para o dimensionamento de componentes de alvenaria portantes, as tensões oriundas das solicitações permanentes e acidentais não devem exceder as tensões admissíveis dos materiais. As tensões admissíveis consideradas são frações de tensões limitantes como a tensão de ruptura ou a tensão crítica de flambagem. E conseqüentemente, o fator de segurança será expresso pela relação entre tensão limitante com a tensão admissível de cálculo (TAUIL, 1981).

Dentre o conceito de alvenaria portante a alvenaria armada é uma técnica bastante difundida, onde a estrutura é composta basicamente por paredes, que além de desempenharem a função de vedação são armadas para suportarem as cargas

estruturais. As principais solicitações de esforços estruturais serão de compressão e tração, por peso próprio, cargas verticais e esforços horizontais (vento, contenção de solo). Um parâmetro básico para análise da compressão de paredes é o índice de esbeltez, definida pela altura e a espessura da parede. A esbeltez da parede influencia na resistência à compressão da parede.

As alvenarias armadas são compostas por elementos estruturais, blocos vazados que permitem a colocação da armadura necessária. Após a colocação da armadura estes blocos são preenchidos com uma argamassa conhecida como *grout*¹⁸. Em função do conceito estabelecido de projeto, no interior da parede serão distribuídos os componentes estruturais que desempenharam a função de vigas e pilares, ou constituirão paredes estruturais.

O controle da dosagem da argamassa de *grout* (micro-concreto para preenchimento de blocos vazados) é de suma relevância para a segurança, estabilidade e durabilidade das alvenarias armadas. Essa preocupação se deve ao fato de que as argamassas permanecerem ocultas no interior dos blocos vazados. Nas obras convencionais de concreto armado após a retirada das formas a estrutura pode ser inspecionada externamente. Devido ao embutimento da armadura e a aplicação de argamassa de *grout* no interior dos blocos, quando surgem problemas na estrutura de alvenaria armada não podem ser detectados imediatamente (como os “ninhos” de concretagem em estruturas de concreto armado), podendo ser verificadas patologias muito tempo depois quando a construção já se encontra em uso. Por este motivo muitas vezes à reconstituição de alvenarias armadas requer gastos onerosos.

A alvenaria não armada é aquela em que a presença de armaduras (caso existam), possui a finalidade construtiva de amarração das paredes, ou visam absorver esforços provenientes de efeitos térmicos sobre o material (dilatação e retração).

Painéis

O sistema de painéis se caracteriza pelas seguintes particularidades:

- As peças possuem grandes áreas;
- O painel atinge a altura de um pé direito quando concluído;
- A existência de armadura interna e de união de peças;

¹⁸ Ver Glossário p. 238.

Os painéis de paredes portantes devem transmitir todas as cargas que incidem sobre ele para as fundações. Os pilares nos sistemas estruturais convencionais são em geral de pequena seção, mas grande espessura (as normas brasileiras adotam a espessura mínima de 20 cm se considerar algumas cargas). Os painéis de parede devem ser considerados como placas esbeltas, muitas vezes sujeitas a flambagem. O dimensionamento seguro de um painel de parede deve considerar o coeficiente de flambagem do mesmo. Este valor numérico do coeficiente de flambagem deve multiplicar pela a carga considerada para o cálculo de um painel esbelto. O índice de esbeltez é o parâmetro básico para o estudo da compressão dos painéis. Este índice será dado pela altura do painel, espessura e condições de apoio.

Definido simplificadaamente por:

$$\lambda = h / t$$

Onde:

- λ = Índice de esbeltez
- h = Altura real ou efetiva do painel
- t = Espessura da parede

As cargas que irão incidir sobre uma parede de painéis serão verticais (permanentes e acidentais), horizontais (vento, terremoto, empuxos de terra), e ficará determinada a estabilidade da parede somente quanto aos esforços de compressão, mas não em relação ao tombamento. Para efeito de cálculo deste último item, é necessário que sejam excluídas todas as cargas acidentais e verificado se a parede não irá tombar com o peso próprio. Também deve ser verificado se a redução da área de apoio do painel será compatível com a resistência da parede à compressão.

É importante salientar, que toda parede terá um limite de carga incidente entre dois valores, acima e abaixo dos quais irá perder a estabilidade. A estabilidade dos painéis de parede é bastante influenciada pelas suas dimensões e forma de amarração com os demais elementos da edificação. Entre os painéis adjacentes e entre os painéis de parede e outros elementos estruturais (lajes de piso e de forro), as uniões devem ser feitas adequadamente. Existem dois tipos principais de uniões: secas e argamassadas. As uniões argamassadas são aquelas que são formadas com o preenchimento das folgas entre os painéis adjacentes com argamassa de cimento. Uniões secas são realizadas por sistemas de acoplamento por encaixe entre os painéis.

As cargas transmitidas por painéis para as paredes podem ser absorvidas por toda a seção transversal, pelas regiões do painel armadas em parede compostas, ou pelo concreto armado das colunas, ou ainda pela ação conjunta dos painéis e das colunas. As uniões formadas pela aplicação de argamassa de cimento nas folgas entre os painéis não são consideradas aptas a transmitir as cargas verticais de um painel para o outro adjacente.

Esta argamassa introduzida nas folgas entre os painéis atua distribuindo as cargas horizontais provenientes da ação do vento. Para a garantia da estabilidade estrutural da alvenaria e melhor distribuição dos esforços atuantes, a acoplagem dos painéis ou conexões devem ser projetadas para este fim, sendo a argamassa de cimento utilizada apenas como junta¹⁹ para auxiliar na distribuição das cargas horizontais e também para calafetação das frestas entre os painéis.

6.1.3 – Desempenho Térmico

Os corpos possuem uma certa quantidade de energia térmica ou energia interna, comumente chamada de calor, que é caracterizada pelo movimento das moléculas, átomos e partículas.

A capacidade calorífica característica de um determinado tipo de parede permite avaliar qual o material é o mais adequado e espessura da parede, para a otimização do desempenho térmico da edificação. A latitude, orientação, inclinação, fator de reflexão são fatores que interferem no conforto térmico da edificação. A orientação da edificação deverá ser feita tendo como referência o percurso do sol, de forma a obter a melhor utilização da energia solar. A radiação depende da temperatura superficial da parede, características da superfície do material utilizado (liso ou rugoso), do comprimento das ondas incidentes, e das características térmicas próprias do material.

Sendo consideradas as características térmicas dos materiais empregados na parede, é possível regular a capacidade de armazenar ou devolver o calor através da utilização da inércia térmica. Esta capacidade de um material em retardar a transferência de calor para o interior da edificação, determina o tempo que a temperatura exterior leva para atingir o interior. As propriedades do material, quantidade e as suas características térmicas diante da radiação, condução, difusividade, capacidade de absorção e outras formas de troca de calor definirão o seu desempenho térmico na edificação, e conseqüentemente, no entorno onde está

¹⁹ Ver Glossário p. 238.

inserida. A escolha da natureza do material que compõe um determinado elemento deve ser atribuída às necessidades vigentes de conservação de energia e conforto ambiental do usuário.

O volume de ar alojado nos poros do material e o grau de umidade são fatores relevantes para o isolamento térmico. Para determinados grupos de materiais, quanto mais leve for o material, maior será o seu isolamento térmico. E quanto mais umidade detiver, menor será o seu efeito isolante. O calor que transita através de um material de construção é definido pelo seu coeficiente de transferência de calor (MINKE, 1994).

A transferência de calor de um material se caracteriza pela sua condutividade térmica. Este valor indica a quantidade de calor, medida em watts/m^2 , que penetra em um muro de 1 m de espessura para uma diferença de temperatura de 1 °C (MINKE, 1994).

A quantidade de calor necessária para aquecer 1 kg de um material a 1 °C é denominada calor específico. O barro tem um calor específico de 0,1 kJ/kgK que é igual a 0,24 kcal/kg °C (MINKE, 1994).

A capacidade térmica de um material (armazenamento de calor) é definida pelo produto do calor específico e a densidade. A capacidade térmica de calor define a quantidade de calor necessária para aquecer 1 m³ de material a 1 °C (MINKE, 1994).

A velocidade da absorção ou perda de calor de um material é definida pela difusão térmica que depende do calor específico, da densidade, e da condutividade térmica (MINKE, 1994).

Paredes com alta capacidade de armazenamento retardam a penetração do calor e diminuem a amplitude térmica. Enquanto uma parede com eficiente conforto térmico, somente reduz a amplitude térmica. Em climas com dias quentes e noites frias em que a média da temperatura está dentro do nível de conforto, a capacidade térmica de uma parede é muito importante para propiciar uma temperatura interior confortável. A quantidade, as propriedades físicas e características inerentes dos materiais que compõem os elementos da edificação, como cor e textura terão influência significativa sobre o desempenho térmico. A escolha do material adequado determinará a performance térmica desejada para o conforto do usuário na edificação. Os elementos da edificação como as paredes e a cobertura, possuem a função de proteger, estruturar, isolar, acumular e iluminar. Portanto a natureza dos materiais deve ser escolhida de acordo com as funções do elemento construtivo, e tendo como diretrizes a conservação de energia e o conforto ambiental do usuário.

6.1.4 – Critérios Dimensionais

“A maneira como as várias partes estão integradas no todo é mais importante do que as próprias partes. As interconexões e interdependências entre os inúmeros conceitos representam a essência de minha própria contribuição. Espero que o resultado, no seu todo, seja mais importante do que a soma de suas partes”.

(FRITJOF CAPRA, 1982, p.15)

A adoção de critérios dimensionais para um sistema construtivo deverá nortear a intercambialidade entre os diferentes componentes da construção através da adoção de medidas comuns para que estejam relacionadas entre si, independente do grau de função “hierárquica” de um determinado componente na construção.

A medida base comum ou módulo numérico a ser adotado deve permitir diferentes combinações numéricas de forma a propiciar numerosas soluções para um mesmo elemento construtivo, não tolhendo assim, a criatividade do arquiteto durante o projeto. A medida do módulo estabelecida pela norma brasileira da ABNT / NBR 5706 de dezembro de 1977 é de 10 cm (um decímetro). Esta medida é também adotada por diversos países pela facilidade de ser utilizada na indústria da construção e de propiciar diversas combinações numéricas entre os elementos.

O número de dimensões necessárias para um elemento, e a determinação exata de cada uma delas, dependem de exigências funcionais, características físicas e químicas do material utilizado em condições ambientais adversas, resistência estrutural aos esforços solicitantes, condições de fabricação e considerações de ordem econômica.

A utilização de medidas compatíveis e inter-relacionadas não visa somente a ordenação do desenho de projeto dentro de um sistema de medidas de referência por comodidade, mais sim para coordenar a posição e as dimensões de todos os componentes e elementos dimensionados que formam parte da construção.

A técnica ou “ferramenta” que possibilita relacionar as medidas de projeto com as medidas modulares por meio de um *reticulado espacial modular de referência*²⁰ é conhecida como *Coordenação Modular* (ABNT, 1977). A medida universal adotada para o módulo é de um decímetro (10 cm). A Coordenação Modular é um meio sistemático eficaz para alcançar a integração dimensional dos diversos componentes. Este mecanismo irá conferir faculdades combinatórias aos diversos elementos da edificação.

Esta gama de medidas correlacionadas deve responder às condições de aditividade e intercambialidade entre os diferentes componentes de uma mesma construção de forma a otimizar e integrar as diferentes etapas de planejamento, produção e execução de uma edificação. O sistema de medidas de referência adotado durante a fase de projeto permite simplificar o trabalho de produção como também o melhor posicionamento e a acoplagem dos componentes na obra diminuindo as possibilidades de incidência de cortes e retoques. É necessário que as medidas estabelecidas neste sistema permita relacionar as necessidades de projeto com os métodos construtivos. As medidas são adotadas tomando como base às exigências particulares de projeto, e por outro, procurando uma suficiente estrutura de referência para o posicionamento dos componentes e materiais padronizados.

Para adotar um sistema de referência de medidas correlacionadas para uma edificação é necessário a execução de variantes do projeto de arquitetura como:

- Desenho para projeto de componentes;
- Desenho para a construção;

Com o intuito de desenvolver operações racionalizadas de montagem e execução, é possível subdividir o projeto de execução em:

- Desenhos de detalhamento de acoplamentos;
- Desenhos para o acoplamento em projeto;

O projeto de medidas correlacionadas (modular) requer três tipos de desenho relativos as sucessivas fases de projeto:

- Desenhos dos componentes; tipificação; desenho industrial;
- Desenhos para o acoplamento de detalhes;

²⁰ Ver Glossário p. 239.

- Desenho para o acoplamento de projeto;

A edificação como um todo será composta, então, pela soma e a associação de variantes da medida comum base estabelecida a priori, para todos os elementos definidos livremente pelo projetista (MICHALKA, 2001).

6.1.5 – Sistema de Acoplamento

A racionalização da construção tem como principais objetivos a redução do tempo de execução das operações de união, o que conseqüentemente proporciona maiores dimensões para os componentes, exigindo maior complexidade da união entre os componentes.

A associação ótima de um componente dependerá das condições de reciprocidade associativa dos contornos, domínio este da compatibilização. São relações próprias de cada elemento da edificação com um número limitado de possibilidades. A intercambialidade entre componentes similares e distintos dependerá diretamente do sistema de acoplamento determinado pela compatibilização de medidas entre os mesmos. O sistema de acoplamento é constituído por uma série de diversos acoplamentos, que atendem a uma progressiva sucessão de graus de mobilidade e estabilidade.

A Intercambialidade ou permutabilidade é a propriedade que possibilita utilizar componentes diferentes numa mesma posição ou componentes iguais em posições diferentes. O grau de intercambialidade é definido pelo número de combinações ou adaptações que um elemento poderá realizar em função da correlação de suas medidas e o seu sistema de acoplamento com os demais elementos da construção.

A adoção de medidas comuns correlacionadas entre os diferentes componentes da construção é um fator importante para estabelecer condições recíprocas de aditividade e a intercambialidade entre os mesmos.

Os fatores que devem ser levados em consideração para a definição do sistema de acoplamento de um componente são:

- As características dimensionais do componente, ou seja, as suas medidas lineares que delimitam a sua superfície;
- As características físicas e químicas do material do componente;
- As características funcionais de desempenho solicitadas na construção;
- A sua forma;
- O seu posicionamento em relação a construção;

- O grau de interface com os demais componentes adjacentes;
- As características dimensionais dos componentes, funcionais e materiais dos componentes adjacentes;
- A forma dos componentes adjacentes;
- O grau de complexidade do sistema de acoplamento projetado;
- O grau de intercambialidade associativa do sistema de acoplamento projetado;

O sistema de fixação (acoplagem) de um componente a outro igual ou diferente poderá ser:

- Por pontos
- Contínua
- Descontínua ou intermitente

O primeiro sistema de acoplagem refere-se as fixações realizadas por meio de furos e parafusos, encaixes, argolas, etc. O segundo tipo abrange encaixes contínuos secos, simples, macho e fêmea, cauda de andorinha, duplos, vazados com enchimento rígidos ou elásticos, soldas contínuas, etc. Descontínua ou intermitente é similar ao mesmo tipo caracterizado no segundo, porém sendo descontínuas a fixação. No caso de um elemento necessitar de acoplar-se com outros de distintas naturezas, este deverá ter características que concordem com as dos elementos os quais irá se juntar.

O problema do acoplamento implica no estudo do elemento de união, e a necessidade de prever um espaço suficiente para permitir as variações dimensionais do componente e adjacentes, em virtude das dilatações térmicas próprias do material quando sujeito a condições ambientais e de esforços estruturais adversas, como também as possíveis variações dimensionais decorrentes do processo de produção.

É importante ressaltar, que todo elemento industrializado possui uma variação entre a medida real e a medida de projeto, em função dos equipamentos de aferição e sistema de fabricação. Portanto o projetista deverá levar em consideração durante o projeto do sistema de acoplamento de um componente os conceitos de folga e tolerância. Michalka (2001, p.8) define os conceitos de folga e tolerância como:

Folga admissível: é a distância máxima permitida entre as partes acopladas para que não haja comprometimento das funções de cada elemento e/ou do conjunto em si.

Tolerância: a diferença entre a dimensão teórica e a real, é o valor máximo desta diferença para que a folga entre os elementos acoplados fique dentro dos limites admissíveis.

6.2 – Tecnologias de Solo-Cimento

Os sistemas construtivos de painéis monolíticos e alvenaria de tijolos serão objetos do estudo a ser desenvolvido a seguir. Para efeito de análise foram utilizadas as informações técnicas que foram possíveis de serem obtidas, através de publicações disponíveis (livros, revistas técnicas, sites e folders) e contatos feitos com entidades, profissionais e empresas.

Estão inseridos nestes dois grupos de sistemas construtivos, quatro tecnologias de solo-cimento:

Sistema Construtivo de Painéis:

- Técnica construtiva de painéis de solo-cimento / CEPED-BA (Centro de Pesquisa e Desenvolvimento – Bahia);

Sistema Construtivo de Alvenaria:

- Técnica construtiva de alvenaria de tijolos de solo-cimento / TIJOLITO – construtora ANDRADE GUTIERREZ;
- Técnica construtiva de alvenaria de tijolos de solo-cimento produzidos por prensas manuais / empresa SAHARA;
- Técnica construtiva de alvenaria de tijolos de solo-cimento idealizado pelo prof. Mattone / Falcoltà di Architettura, Politécnico di Torino e a Universidade Federal da Paraíba;

6.2.1 – Técnica Construtiva de Painéis de Solo-Cimento / CEPED-BA

As paredes monolíticas são executadas por meio da compactação do solo sem aditivos, ou com solo-cimento, entre dois pranchões de madeira. É também conhecida como “taipa de pilão” ou simplesmente “taipa”. O sistema construtivo de painéis monolíticos de solo-cimento é considerado por alguns pesquisadores como uma variante aperfeiçoada do antigo sistema de taipa de pilão.

As edificações atuais de terra contrastam com as construções antigas principalmente pela a esbeltez das paredes de solo estabilizado. Em antigas construções a espessura das paredes (sem qualquer agente estabilizador) poderia ter até um metro. A resistência mínima à compressão para o solo-cimento a ser utilizada refere basicamente o peso próprio da parede, esforços estruturais de compressão e tração, cargas excêntricas e condições de apoio.

As paredes de solo-cimento, por serem compactadas “in loco”, apresentam características monolíticas e dispensam outros recursos estruturais. Entretanto existem aspectos e critérios que necessitam de desenvolvimento para melhores condições de uso. A estabilidade da parede, isolamento térmico, guias a serem utilizadas, a padronização das medidas de projeto, são alguns itens que precisam sempre ser aperfeiçoados de acordo com as necessidades vigentes.

A Técnica Construtiva:

As operações de nivelamento e locação da obra de painéis solo-cimento obedecem aos mesmos procedimentos empregados nas construções convencionais.

A tipologia da fundação e dimensionamento são realizados de acordo com as características de solo do terreno e a carga solicitada. Segundo a ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) é aconselhável que seja feita uma camada impermeabilizadora sobre o baldrame, para impedir que a umidade proveniente do solo possa atingir a parede. O calçamento circundando a construção é um recurso utilizado também para proteger da umidade.

Após a conclusão da fundação, inicia-se a construção das paredes que deverão ser devidamente dimensionadas para suportar as cargas solicitantes. O CEPED, após extensas pesquisas sobre aspectos estruturais, ensaios realizados de painéis à compressão, ensaios a choque e carga excêntrica, concluiu que para uma dosagem de 1:15 em volume, o pé direito até 2,80 m e a espessura da parede de 12 cm atendem às necessidades previstas pelo centro de pesquisa (CEPED, 1984).

Para a construção dos painéis que irão compor a parede, é necessário que sejam fixadas as guias (Figura 6.1). Estas poderão ser fixadas no solo antes da execução da fundação ou posteriormente, bastando que sejam feitas cavidades no baldrame para a instalação (em pontos determinados conforme o projeto). As guias não possuem função estrutural, elas apoiam e sustentam lateralmente as formas e os painéis durante a execução. São responsáveis pelo alinhamento e o aprumo das paredes na construção. As guias poderão ser removíveis ou fixas. As removíveis são geralmente de madeiras. As fixas podem ser de concreto armado, tubos de

fibrocimento cheios de concreto ou até mesmo de pilaretes de tijolos. É importante que as guias atendam às condições de durabilidade, verticalidade e dimensões compatíveis com as espessuras das paredes.

Instaladas as guias nos locais estabelecidos em projeto, pode ser feita a montagem das formas entre as guias. A forma deve ser confeccionada de acordo com a modulação das medidas estabelecidas no projeto arquitetônico, para possibilitar a organização do método de execução e o rápido andamento da obra. Dois pranchões aparafusados ocupando o espaço entre as guias constituem as formas que sustentam a mistura de solo-cimento durante a compactação, moldando assim, o painel monolítico. É importante ressaltar que as medidas de espaçamento entre as guias para a confecção dos painéis são definidas durante o projeto arquitetônico, obedecendo a uma modulação realizada em função das medidas estabelecidas pela forma de madeira.

Realizadas as fundações, instaladas as guias, montadas e travadas as formas de madeiras em suas laterais, a etapa seguinte será a compactação da mistura de solo-cimento dentro das mesmas (Figura 6.2). Nesta etapa a quantidade da massa de solo-cimento deve ser suficiente para que não ocorram paradas no serviço, ocasionando tempo ocioso de mão-de-obra. A compactação é realizada por meio de um soquete ou pilão. A desmoldagem das formas é feita após a compactação da primeira fiada. A compactação da próxima fiada será realizada sobre a fiada anterior apoiando as formas sobre as mesmas. O prosseguimento da construção das paredes acima das estacas, principalmente para a confecção das empenas, pode ser feita através de formas escalonadas que quando montadas formam o desenho da empena.

A colocação das esquadrias (portas e janelas) é feita conforme as paredes vão sendo construídas. As vergas e contravergas são confeccionadas e fixadas antes da colocação do contramarco. Com a mesma espessura das paredes, o contramarco é encaixado dentro da própria parede durante a compactação.

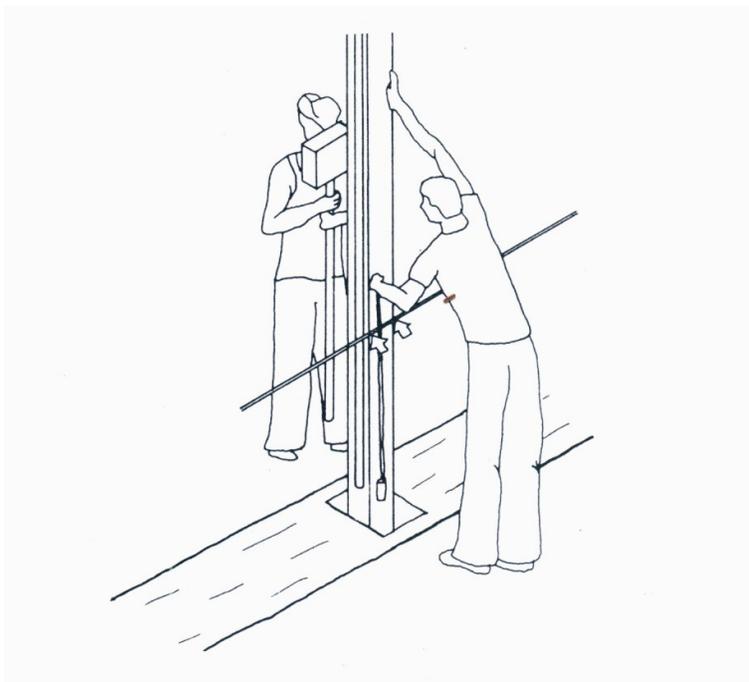


Figura 6.1 – Instalação das guias e escoramento.

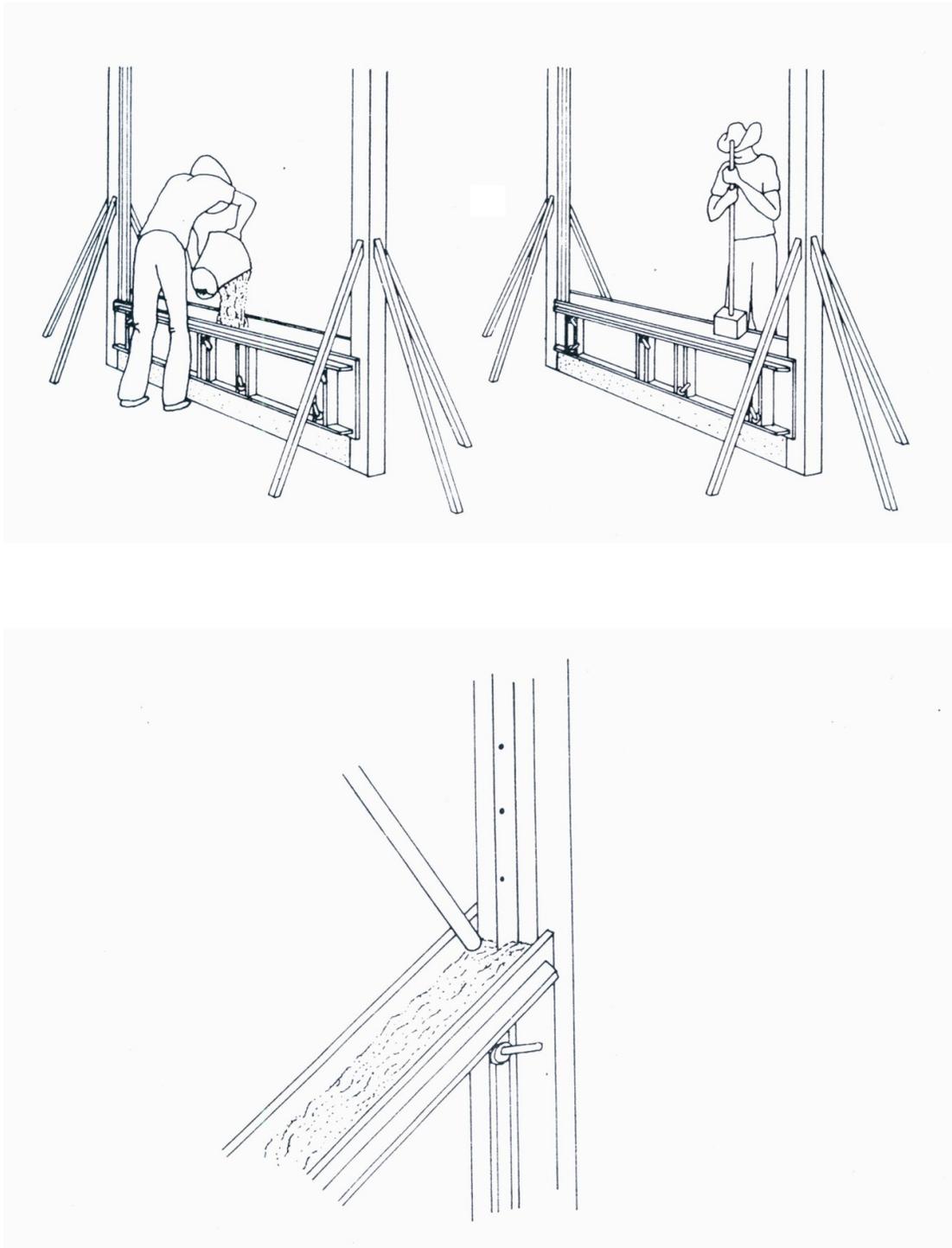


Figura 6.2 – Preenchimento das formas com a mistura de solo-cimento e compactação.

Os procedimentos para as instalações hidráulicas, elétricas e sanitárias são os mesmos para as instalações convencionais. É feito um sulco na parede antes que o painel atinja maior resistência (menos de 10 dias), para embutimento da instalação. As

instalações podem ser aparentes desde que utilizem sistemas de fixação como braçadeiras e buchas.

O sistema de cobertura comumente empregado tem sido em telhas cerâmicas, com o madeiramento diretamente apoiado sobre as paredes.

O piso pode ser também executado em solo-cimento, com o mesmo solo e dosagem empregada na construção das paredes. Para um melhor acabamento é utilizada uma camada de argamassa de cimento e areia sobre o piso compactado, permitindo um melhor nivelamento da superfície ou até mesmo assentamento de produtos cerâmicos ou tacos.

Existem diversos fatores determinantes para a qualidade final do acabamento da parede, entre eles podemos destacar: grau de compactação, características das paredes internas da forma, tipo de cura e granulometria do solo utilizada. Paredes com grau de compactação superior a 95% possuem uma melhor qualidade do material como acabamento final.

A pintura das paredes é feita geralmente com tintas látex e PVA após a regularização da superfície a ser aplicada. A utilização de pinturas impermeabilizantes, capas impermeabilizadoras nas fundações e paredes, calçamento em torno da construção e beirais largos possibilitam uma proteção contra a ação da umidade e da água proveniente das chuvas.

6.2.2 – Técnica Construtiva de Alvenaria de Tijolos de Solo-Cimento / TIJOLITO

A técnica construtiva de alvenaria foi desenvolvida a partir do componente principal que é um bloco de solo-cimento prensado desenvolvido pelo professor João Batista Santos de Assis e patrocinado pela Construtora ANDRADE GUTIERREZ S.A. em convênio com a Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, conhecido como TIJOLITO. Atualmente este produto é de uso exclusivo da Construtora ANDRADE GUTIERREZ S.A., por concessão das patentes do professor João Batista Assis à empresa.

Foram construídas com a técnica construtiva, casas populares para a Prefeitura Municipal de Contagem (total de 1520 unidades), Shopping do Povo da Prefeitura Municipal de Serra em Serra / ES (1 unidade com 4.600m² de área total / 1993), escola CAIC em Pato de Minas / MG (1 unidade com 5.000 m² / 1993), etc.

A Técnica Construtiva

A fundação a ser utilizada dependerá das características do projeto e do solo onde será realizada a construção, e delimitada por parâmetros de segurança estrutural, funcionalidade e economia. O sistema de esgoto é feito durante a preparação do terreno para a execução das fundações com o uso de um gabarito (Foto 6.1). O baldrame de concreto com pedra de mão com contrapiso em concreto simples, assentado sobre terreno regularizado e compactado é comumente utilizado (Foto 6.2). São utilizados outros tipos de fundação como radier e estacas broca, dependendo da análise, a priori, do projeto e do terreno.

O bloco de solo-cimento é produzido em prensa hidráulica. O solo utilizado para a sua fabricação deve conter baixa umidade e pode ser retirado do próprio canteiro de obra. Retirado o solo da jazida, este é levado para um depósito onde será preparado e misturado ao cimento. O composto é levado a um misturador, onde irá sofrer um processo de homogeneização e de controle de umidade. Após esta etapa será transferido para uma prensa hidráulica de alta pressão onde serão produzidos os blocos, e posteriormente, armazenados em local protegido da ação das intempéries, com controle de umidade e temperatura até que atinja a resistência para ser manuseado na fábrica, durante o processo de paletização e estocagem. Posteriormente deverá ser transportado e utilizado na construção. Dependendo da quantidade e a escala da construção, pode ser instalada uma central de produção junto à obra. Como todos os componentes de solo-cimento, o TIJOLITO não sofre queima durante o processo de produção, o que o caracteriza como um produto de baixo impacto ambiental.

As dimensões padronizadas do TIJOLITO são 11 x 22 x 11 cm (largura, comprimento e altura). As peças possuem furos circulares verticais e um sistema de encaixe (macho e fêmea) que permite a união entre os blocos, travando-os horizontal e verticalmente. O uso de argamassa de assentamento é reduzido. Isto só é possível devido ao controle dimensional do produto que possibilita a acoplagem correta dos tijolos.



Foto 6.1 – Montagem de kit de instalação de esgoto com o auxílio de um gabarito.



Foto 6.2 – Contrapiso de concreto.

São levantadas três fiadas consecutivas com o controle de alinhamento, nivelamento e prumo (Foto 6.3).

O TIJOLITO padrão utilizado para a construção de alvenaria é o modelo TJ 110 (Figura 6.9, página). Existem outras variações deste mesmo modelo para facilitar a

padronização de soluções construtivas e de acabamento. Furos menores com 31 mm de diâmetro são utilizados para a estabilização das paredes por inserção de argamassa. Esta argamassa nos furos pequenos, quando enrijecida formam pequenas colunas estabilizadoras da parede. Os furos maiores para a passagem de tubulações podem ser utilizados como pilaretes, caso haja a necessidade de maior reforço estrutural da parede. Ademais, esses furos são utilizados como passagem para tubulação hidráulica e rede elétrica, não havendo a necessidade de cortes e nem perdas de material da alvenaria já pronta, para o embutimento das tubulações.

A regularidade das dimensões dos blocos permite o alinhamento e prumo com boa precisão durante o assentamento. A superfície regular do TIJOLITO proporciona um bom acabamento quando deixado aparente.

As esquadrias a serem instaladas nas alvenarias realizadas com o TIJOLITO são industrializadas e especialmente projetadas para atender ao sistema.

Durante o levantamento das paredes, o sistema de acoplagem das esquadrias com os blocos desenvolvidos para a execução de vergas de portas e janelas, permite a colocação das esquadrias simultaneamente à execução de paredes. A instalação dos contramarcos das janelas e das portas é feita encaixando um perfil “U” de madeira ou metálico, com base de 11 cm e profundidade adequada, permitindo o encaixe dos blocos em seu interior, não necessitando de aplicação de argamassa.

As tubulações de instalações hidráulicas e elétricas ficam embutidas nos furos maiores do bloco, não havendo a necessidade de “quebras” na parede para embutimento da instalação depois da construção. No caso de instalações elétricas os fios poderão passar pelos furos sem a necessidade de eletrodutos, já que a regularidade dos furos é grande e não há rugosidade interna capaz de ferir os cabos ou fios.

O TIJOLITO possui um bom acabamento superficial devido a granulometria dos materiais utilizados na mistura e ao processo de prensagem. Desta forma, podem ser dispensados o emboço e o reboco. As juntas verticais e horizontais nos encontros dos blocos devem ser calafetadas com a aplicação de uma camada de argamassa corretiva,



Foto 6.3 – Execução das primeiras fiadas.



Foto 6.4 – Execução da estrutura da cobertura.

aplicada com o uso de uma bisnaga ou trincha, com o objetivo de proteger as paredes de infiltrações. O acabamento externo dado para a parede deve ser de pintura impermeabilizante em duas demãos (no mínimo) de tinta acrílica, para evitar assim, possíveis infiltrações e melhorar a durabilidade da construção.

O apoio do telhado sobre a alvenaria será feito por meio de um vigamento de amarração circundando toda a construção. O telhado poderá ser fabricado em chapa de aço dobrada, resistente à corrosão, sem pintura, ou em treliças de madeira formada por perfis presos por “gang-nails”, de fácil montagem (Foto 6.4). A forração do telhado pode ser feita em função do clima local e da disponibilidade de material, podendo ser utilizada uma diversidade de modelos de telhas. A racionalidade do sistema construtivo é a principal característica do sistema, no que se refere à economia. Essa economia é gerada principalmente pela qualidade do acabamento superficial e dimensional do TIJOLITO, e do sistema de acoplamento dos blocos (Foto 6.5).

O TIJOLITO passou por diversos testes de:

- Resistência à compressão;
- Absorção de água;
- Abrasão por jateamento de areia;
- Estanqueidade à água;
- Condutividade térmica;
- Desempenho estrutural;
- Segurança ao fogo;
- Desempenho acústico;
- Durabilidade.

Cujos resultados foram avaliados e catalogados pelo IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas e enquadrados dentro das normas (IPT, 1998).



Foto 6.5 – A construção concluída.

6.2.3 – Técnica Construtiva de Alvenaria de Tijolos de Solo-Cimento Produzidos por Prensas Manuais / SAHARA

A tecnologia SAHARA para a prensagem de tijolos de solo-cimento foi desenvolvida em 1972, por Francisco Aguilar, inicialmente com o nome de JARFEL. As prensas são patenteadas pela SAHARA, empresa responsável pela produção das máquinas que fabricam os tijolos modulares.

O maquinário desenvolvido para a prensagem de solo-cimento ou solo-cal-cimento dispensa a queima do tijolo. A funcionalidade do equipamento permite a operação diretamente no canteiro de obra, seja em zonas rurais ou urbanas.

A Técnica Construtiva

Tendo considerado a hipótese de que o encarecimento da obra não é resultado do tijolo, mais sim do desperdício provocado pelo sistema convencional e o tempo de execução da obra, a tecnologia desenvolvida pela empresa permite que os tijolos sejam encaixados ou assentados com um leve filete de solo-cimento, possibilitando a redução do tempo de execução da obra.

A fundação utilizada para a técnica construtiva é diversificada, sendo comumente empregada a convencional, tipo sapata corrida ou isolada.

Os furos internos do tijolo funcionam como condutores para as instalações hidráulicas e elétricas, evitando a quebra de paredes. Em instalações elétricas, os tubos condutores corrugados são dispensados, e os fios podem ser passados no interior dos furos do tijolo. Os procedimentos para a execução da instalação hidráulica é similar, sendo os kits das instalações montados de acordo com a execução da alvenaria.

Pilaretes de concreto armado podem ser confeccionados com o preenchimento de concreto (grauteamento) e colocação de ferro no interior dos furos, reforçando a estabilidade estrutural da parede e dispensando o uso de formas de madeira.

As prensas SAHARA permitem a produção de tijolos em 5 dimensões diferentes divididos em duas tipologias básicas: tijolos com furos circulares e maciços. O sistema de encaixe dos tijolos produzido pelas prensas da SAHARA permite o intertravamento da parede. O assentamento do mesmo poderá ser feito com argamassa de solo-cimento ou argamassa própria para o assentamento do tijolo.

A função da argamassa de assentamento dos tijolos é também corrigir eventuais irregularidades. Segundo dados técnicos fornecidos pela empresa, a função da argamassa é regularizar e calçar os tijolos e não colar. O sistema de encaixe auxilia na orientação do assentamento dos tijolos e no intertravamento da parede. O espaço de folga no encaixe entre os tijolos previne a dilatação do material, ocasionada pelas eventuais variações de temperaturas. É aconselhável ainda, preservar uma distância entre as faces laterais (de menor comprimento) de 1 a 2 milímetros entre um tijolo e outro. Este espaço entre os tijolos permite a proteção contra os efeitos de dilatação do material, e conseqüentemente do aparecimento de trincas e fissuras nos tijolos provocados pelo choque entre os mesmos. Os pequenos vãos entre os tijolos são necessários ainda, para a melhor aderência do reboco ou rejuntamento. Existem frisos rebaixados nas bordas dos tijolos com o objetivo de permitir uma melhor aderência dos materiais no acabamento.

Pequenas colunas moldadas com a colocação de concreto armado dentro dos furos garantem a estabilidade estrutural do sistema construtivo. A locação dos pontos para a confecção dessas colunas deverá ser definido pelo responsável técnico da

obra. Segundo dados técnicos fornecidos pela empresa é aconselhável a interligação das colunas por grampos a cada 50 cm, erguidos para garantir uma melhor estabilidade da estrutura.

Ao atingir a altura do pé direito deverá ser feita uma cinta para a amarração do conjunto estrutural. A execução da cinta é feita com um tijolo próprio tipo canaleta para a passagem das barras de ferro desenvolvida pela empresa SAHARA para o sistema construtivo. As cintas de amarração são utilizadas também como vergas e contra-vergas.

O sistema de colocação de esquadrias utilizado para o sistema é o mesmo utilizado para as construções convencionais (Foto 6.6).

O acabamento estético do tijolo aparente dispensa o revestimento convencional de emboço, reboco e pintura. Segundo dados fornecidos pela empresa é possível a utilização de revestimento convencional. É utilizada uma massa para rejuntamento de azulejos, massa branca misturada a corantes ou simplesmente uma mistura de solo-cimento nas junções entre os tijolos para um melhor acabamento da parede de tijolo aparente. O acabamento final da parede de tijolo aparente pode ser feito com a aplicação de uma resina acrílica ou uma camada de tinta, segundo dados técnicos fornecidos pela a empresa SAHARA.



Foto 6.6 – Instalação das esquadrias.



Foto 6.7 – Execução da cobertura.

A cobertura adotada para o sistema construtivo desenvolvido pela empresa pode ser do tipo convencional com estrutura de madeira com telhas cerâmicas apoiadas sobre uma cinta de respaldo (amarração aérea) da alvenaria ou o sistema de laje (Foto 6.7). No caso de cobertura da construção feita de lajes, é importante a confecção de cintas de amarração com os tijolos com canaletas.

6.2.4 – Técnica Construtiva de Alvenaria de Tijolos de Solo-Cimento Idealizada pelo Prof. Mattone / Falcoltà de Architettura, Politécnico di Torino e a Universidade Federal da Paraíba

O tijolo, principal componente da técnica construtiva desenvolvida pelo prof. Roberto Mattone da Falcoltà di Architettura, Politécnico di Torino e a Universidade Federal da Paraíba, tem como base de estudo os tijolos produzidos pela firma francesa ALTECH. Possui um sistema de encaixe com saliências tipo “macho e fêmea”, que permite o intertravamento da alvenaria. O encaixe entre os tijolos permite pequenos deslocamentos dos blocos para eventuais correções de prumo e alinhamento durante a construção. A parede erguida possui uma boa estabilidade. As dimensões adotadas para o tijolo são 14 cm x 28 cm x 9,5 cm. O peso varia em torno de 6,6 a 7 kg.

Segundo o prof. Normando Barbosa da Universidade Federal da Paraíba, o valor de 14 cm de largura conduz a uma parede de esbeltez relativamente baixa, conduzindo a alvenarias de boa rigidez. A medida de 28 cm foi adotada, segundo o pesquisador, por existir sempre uma folga na qual é inserida uma argamassa fluída de terra (com cerca de 10% de cimento) e água.

O projeto arquitetônico é modulado em função das dimensões do tijolo. Os dados adotados para a modulação do projeto das casas populares consistem em dimensionar os ambientes com medidas que correspondam a números inteiros ou inteiros mais a metade de tijolos.

Segundo o prof. Mattone é possível fazer construções de até três pavimentos com os blocos tendo função estrutural, devido principalmente ao controle de qualidade do tijolo. As construções com o sistema construtivo que foram realizadas correspondem a mais de quarenta casas, um centro comunitário e uma creche realizada com sucesso em uma favela no Estado da Paraíba (Foto 6.8).



Foto 6.8 – Execução da alvenaria. Projeto de erradicação das casas de taipa da favela

Cuba de Baixo, e construção de novas habitações através do emprego de tijolos de terra crua (Mattone), utilizando mão de obra local (maio/2001). Prefeitura Municipal de Sapé / Universidade Federal da Paraíba – João Pessoa – Paraíba / Brasil.

A Técnica Construtiva

No sistema construtivo adotado a fundação poderá ser de pedras argamassadas com solo-cimento ou solo-cimento. Acima da cinta será aplicada uma primeira camada de concreto com o objetivo de deixar um rodapé sacando do plano da parede, de forma a protegê-la da ação de choques e de água durante a lavagem dos ambientes. Depois de efetuada é erguida a primeira fiada de tijolos assentada com argamassa de cimento e areia. As saliências dos tijolos de encaixe permitem pequenos movimentos para as correções de nível, linearidade e verticalidade.

A argamassa de assentamento utilizada é uma mistura de terra peneirada numa consistência pastosa, quase fluida. Testes experimentais foram realizados com painéis de paredes com os tijolos no Politécnico di Torino e na Universidade Federal da Paraíba. O assentamento das camadas posteriores poderá ser feito com uma argamassa fluida com a mistura de solo e cimento. O controle do nível deverá ser feito ao longo de todo o processo. A amarração superior ao longo de toda a alvenaria é feita com uma cinta de concreto armado. As saliências superiores do tijolo permitem uma eficiente integração da cinta com a parede. Nas esquadrias é utilizada uma vigota pré-fabricada em concreto armado ou materiais vegetais como o bambu. Visando minimizar custos relativos à construção, os marcos das portas são feitos em argamassa.

Sobre o vigaamento superior da alvenaria são apoiados o madeiramento e a cobertura. Em casos onde haja a necessidade de um pé-direito mais alto, poderá ser colocado, por sobre a cinta, mais fiadas. O beiral utilizado deve ter uma largura adequada de forma a propiciar uma proteção, para a parede, da ação das chuvas. A largura de meio metro é comumente empregada. A utilização de telhas à base de cimento (reforçadas com fibras de sisal) produzidas pelos próprios moradores, tem sido estudada como alternativa para minimizar gastos com o telhado. O acabamento final das paredes é feito através da aplicação de uma pasta de cimento e areia nas frestas entre as fiadas, para calafetar a alvenaria. Segundo dados fornecidos, o aspecto final propiciado pela alvenaria possui um bom resultado estético, sendo a aplicação de revestimentos uma opção particular do proprietário (SIACOT, 2002) (Foto 6.9).



Foto 6.9 – Centro comunitário construído utilizando a técnica construtiva.

6.3 – ANÁLISE DAS TECNOLOGIAS DE SOLO-CIMENTO

6.3.1 – Painéis de Solo-Cimento – CEPED / BA

Critérios para Dosagem da Mistura de Solo-Cimento

O estudo da dosagem da mistura de solo-cimento é iniciado a partir dos dados fornecidos pelos ensaios de laboratórios do solo sobre a sua composição e propriedades físico-químicas. A fixação da dosagem deve ser prevista considerando a compatibilidade entre as solicitações de uso previstas com os valores obtidos nos ensaios em laboratórios (CEPED/BNH-DEPEA, 1984).

O CEPED indica dois processos para a definição da dosagem a ser utilizada. O primeiro é estabelecido através de ensaios em laboratório. O segundo é realizado por ensaios empíricos feitos no próprio canteiro de obra.

Critérios para Ensaio de Dosagem (Laboratório)

A seqüência de ensaios a ser feita em laboratório segundo as normas da ABNT e métodos da ABCP será (CEPED/BNH-DEPEA, 1984):

1) Ensaios de caracterização do solo:

- Preparação de Amostra de Solo para Ensaio de Compactação e Caracterização (NBR 6457);
- Determinação da Massa Específica dos Grãos de Solos (NBR 6508);
- Solo – Determinação do Limite de Liquidez (NBR 6459);
- Solo – Determinação do Limite de Plasticidade (NBR 7180);
- Análise Granulométrica de Solos (NBR 7181);

2) Ensaios para dosagem:

- Solo – Ensaio de Compactação (NBR 7182);
- Moldagem de Corpos de Prova de Solo-Cimento (Método SC-2-ABCP);
- Ensaio à Compressão de Corpos de Prova de Solo-Cimento (Método SC-4-ABCP);

Teor de Solo, Cimento e Umidade

O critério adotado pelo CEPED para determinar o teor de cimento recomendado será o menor dentre os testados que apresentar resistência superior a 10 kgf / cm², a partir da sequência de resultados dos ensaios de compressão simples (CEPED/BNH-DEPEA, 1984).

Traço em Volume

Para a transformação do teor de cimento em massa para o traço em volume de solo e cimento é feito um cálculo através da fórmula (CEPED/BNH-DEPEA, 1984):

$$T = \frac{1420}{Y_{ss} \cdot C_m}$$

sendo:

Y_{ss} = Massa específica do solo seco e solto (kg/m³);

C_m = Teor de cimento em massa;

T = Volume de solo em relação ao volume do cimento (m³/m³);

O consumo de cimento por m³ de solo-cimento compactado é obtido por meio da fórmula (CEPED/BNH-DEPEA, 1984):

$$C_c = \frac{C_m}{1 + C_m} \cdot Y_S^{m\acute{a}x} \quad \text{ou} \quad C_c = \frac{1420 \cdot Y_S^{m\acute{a}x}}{Y_{ss} \cdot T + 1420}$$

sendo:

C_m = Teor de cimento em massa;

$Y_S^{m\acute{a}x}$ = Massa específica aparente seca máxima do solo compactado (kg/m³);

C_c = Consumo de cimento por m³ de solo-cimento compactado (kg/m³);

Critérios de Dosagem (Ensaio Práticos)

Os critérios a serem adotados para ensaios práticos realizados no próprio local da obra são (CEPED/BNH-DEPEA, 1985):

- Peneiramento do solo isento de matéria orgânica e seco, em peneira com malha de 5 mm x 5 mm;
- A adoção do uso do traço de 1:15 (uma porção de cimento para quinze porções de solo) para construções de paredes e contrapisos;
- Controle de umidade utilizando procedimentos práticos (ensaios empíricos), / ver 3.3.2 – Ensaio Laboratoriais e Empíricos (no Local);
- A mistura de solo-cimento deverá ter uma coloração uniforme;

Considerações sobre os Critérios de Dosagem

Os critérios de dosagem da mistura de solo-cimento recomendados pelo CEPED, conforme descrito, se baseiam em normas da ABNT para caracterização de solo, e em métodos de dosagem de solo-cimento utilizados pela ABCP para a definição de parâmetros mensuráveis de dosagem por meio de ensaios realizados em laboratórios.

É importante ressaltar que os métodos adotados pela ABCP referem-se as aplicações de solo-cimento em aterros baseados em estudos realizados pela ASTM (American Society for Testing and Materials) para a sua utilização na pavimentação de estradas (bases e sub-bases). Não foi constatada nenhuma revisão dos critérios de dosagem da mistura de solo-cimento indicados pela ABCP, para a construção de paredes (CEPED/BNH-DEPEA, 1984, p. 43).

O valor numérico do teor de cimento em massa ideal estabelecido durante os ensaios de compressão simples, é utilizado tanto no cálculo para a transformação desta variável em traço em volume, quanto também estipular o consumo de cimento por metro cúbico de solo-cimento compactado.

Conforme constatado em pesquisa bibliográfica, O CEPED recomenda ensaios empíricos para o controle da umidade na mistura e caracterização do solo (ver capítulo 3 / Ensaios Laboratoriais e Empíricos) e indica o traço médio de 1:15 (CEPED/BNH-DEPEA, 1985, p.14) em casos onde não seja possível e não justifiquem a realização de ensaios de laboratórios (CEPED, 1984). Entretanto não foram constatadas informações sobre a utilização de parâmetros científicos como referência para a definição de tais métodos e nem se foram baseados em critérios subjetivos para a avaliação crítica dos resultados dos ensaios.

Resistência Estrutural

As cargas de compressão consideradas para efeito de cálculo nos painéis são, basicamente, a carga do telhado e peso próprio da parede para uma casa térrea. O controle de qualidade do solo e do cimento utilizado na mistura e o grau de compactação terão influência no processo de estabilização e coesão dos agregados e, conseqüentemente, na resistência estrutural da parede aos esforços solicitantes. A resistência à compressão será mais elevada quanto maior for a quantidade de cimento empregado na mistura.

Durante o desenvolvimento do sistema construtivo de painéis monolíticos no CEPED foram feitas as seguintes considerações para o dimensionamento dos painéis pela engenheira Suely Guimarães (CEPED/BNH-DEPEA):

- Uma parede pode ser considerada um “ pilar largo ”;
- São válidas as teorias de flambagem da Resistência dos Materiais para o solo compactado (ou solo-cimento);
- As condições de apoio de uma parede são de engate na fundação e livre no topo. Porém existem restrições laterais nas paredes que aumentam a tensão crítica de flambagem. Assim as paredes de solo-cimento, encaixadas nas guias ou em painéis adjacentes, podem ser consideradas como um pilar bi-rotulado em relação às condições de apoio;

Utilizando a teoria da fórmula secante para colunas que analisa as tensões médias de compressão na flambagem de pilares submetidos a cargas excêntricas em função da esbeltez da peça, do módulo de elasticidade e da resistência à compressão do material foi feito um gráfico da esbeltez com a relação das tensões críticas e de resistência à compressão (CEPED, 1984).

Tendo fixado o índice máximo de esbeltez em 80, para paredes de 2,80 m de altura com 12 cm de espessura, obteve-se com essa esbeltez, a tensão crítica na parede de 0,20 da resistência do solo-cimento à compressão. A fórmula para o cálculo de dimensionamento considerado é feito pelo índice de esbeltez da peça.

$$\lambda = 80$$

$$\lambda = \frac{L}{r}$$

sendo:

L = altura da parede

r = raio de giro

Lf = comprimento de flambagem, sendo considerado $L = Lf$

Para o dimensionamento da parede, é relevante o limite de esbeltez (relação entre a altura e o raio de giro) que, para o carregamento com excentricidade igual a 1/6, corresponde a relação entre a espessura da parede e a raiz quadrada de 12 (CEPED/BNH – DEPEA, 1985).

$$\text{Para } \lambda = 80 \quad \rightarrow \quad r = \frac{d}{\sqrt{12}}$$

Sendo “*d*” a espessura da parede em cm, logo:

$$d = 0,043L$$

Sendo considerado o pé-direito com 2,80 m resulta em:

$$d = 0,043 \times 2,80 = 0,12 \text{ m} \quad \text{aproximando} \quad d = 12 \text{ cm}$$

Segundo o CEPED este dimensionamento é válido para construções de um pavimento onde as cargas não ultrapassam 1 kgf/cm^2 . Para grandes vãos onde as paredes servem de apoio para as tesouras de telhado (cargas concentradas) será necessário o dimensionamento dos painéis considerando estas cargas adicionais, assim como os reforços estruturais necessários para a distribuição das cargas (CEPED / BNH-DEPEA, 1985).

Considerações sobre a Resistência Estrutural

Conforme descrito o CEPED considera como critérios para a análise da resistência estrutural do painel de solo-cimento:

- Construções térreas;
- A carga do telhado;
- O peso próprio da parede;
- Condições de apoio;
- Restrições laterais de engate (guias e painéis adjacentes);
- Altura do painel;
- Índice de esbeltez;
- Qualidade do solo utilizado;
- O teor de cimento presente na mistura;
- Grau de compactação da mistura;

Alguns desses critérios são utilizados para o cálculo de dimensionamento do painel em função de sua resistência à compressão simples. Porém não foi constatada alguma grandeza de cálculo para o dimensionamento do painel ou considerações previstas sobre possíveis casos, onde os painéis estariam submetidos aos esforços de tração, tendo em vista a importância do assunto, já que o solo-cimento possui uma baixa resistência à tração.

Outra questão importante a ressaltar diz respeito ao dimensionamento dos painéis de “forma fechada”, por considerar o caso particular de uma construção térrea de um pavimento, sem laje (condições de apoio livre no topo do painel) e pé-direito de 2,80 como referência para o cálculo. As grandezas de cálculo estabelecidas não possibilitam a flexibilidade dos critérios adotados para o dimensionamento dos painéis em condições diversas, sejam elas de tipologias arquitetônicas, condições de apoio ou cargas incidentes sobre o painel.

Desempenho Térmico

As condições de isolamento térmico dos painéis de solo-cimento se baseiam em estudos realizados e algumas observações de instituições como a ABCP, que menciona que os coeficientes de condutibilidade térmica e acústica variam de acordo com as características do solo empregado. Estes valores considerados, segundo o ABCP, pouco difeririam dos correspondentes aos tijolos maciços cerâmicos. Pesquisas realizadas pelo CEPED demonstraram que o comportamento térmico do solo-cimento é semelhante ao de alvenaria de tijolo cerâmico e a pintura externa influencia no conforto térmico da edificação (CEPED, 1984). O ICPA (Instituto del Cemento Portland Argentino – ICPA) chega a admitir que o isolamento térmico de uma parede de 20 cm de espessura de solo-cimento é equivalente ao de uma de 30 cm de tijolo cerâmico (CEPED, 1984). A tabela abaixo, citada pelo CEPED, faz uma comparação entre os valores de condutibilidade térmica para vários materiais empregados na execução de paredes:

Coeficiente de Condutibilidade Térmica
K (a 20^o)

Material	$\frac{\text{cal. cm}}{\text{°C cm}^2 \text{ s}}$
Concreto (*)	$2,50 \times 10^{-3}$
Tijolos Cerâmicos (*)	$1,65 \times 10^{-3}$ a $2,40 \times 10^{-3}$
Solo-Cimento Compactado (**)	$4,10 \times 10^{-3}$
Adobe (**)	$3,70 \times 10^{-3}$
Bitudobe (adobe e betume)(* *)	$3,60 \times 10^{-3}$
Solo Compactado (**)	$3,89 \times 10^{-3}$
Argamassa (1 : 4) (* * *)	$1,80 \times 10^{-3}$

(*) Propriedade dos Materiais Cerâmicos - L.H. Van Vlack (60).

(* *) Report BMS 78 (24).

(* * *) Process Heat Transfer – Donald Q. Kern (33).

Tabela 6.0.1 – Coeficiente de condutibilidade térmica de diversos materiais K (a 20^o).

Segundo o CEPED, a partir dos dados fornecidos pela tabela constata-se que o solo-cimento apresenta uma condutibilidade superior em quase 60% em relação ao concreto e quase o dobro do valor do tijolo cerâmico. Logo se conclui que o solo-cimento possui uma condutibilidade maior, o que implica na adição de maiores espessuras para as paredes para minimizar o seu coeficiente de condutibilidade térmica, obtendo assim, um maior índice de isolamento térmico da parede.

Outras observações são citadas, ainda pelo CEPED, como referência para análise da condutibilidade térmica das paredes de solo-cimento. Um estudo realizado pelo arquiteto egípcio Hassan Fathy em adobes mostraram valores de K, variando entre 46% e 67% em relação aos verificados em tijolos cerâmicos, e 28 % a 40% do observado em tijolos furados de concreto. Estes dados destacam a hipótese de possíveis variações a serem consideradas sobre os valores da Tabela (CEPED, 1984). O Centro de Pesquisas e Desenvolvimento da PETROBRÁS – CENPES realizou pesquisas para medir a condutibilidade térmica do solo-cimento, obtendo o valor de:

$$K = 1,83 \times 10^{-3} \frac{\text{cal. cm}}{\text{°C cm}^2 \text{ s}} \text{ a } 60^{\circ} \text{C.}$$

Considerações sobre o Desempenho Térmico

Os principais critérios apontados pelo CEPED para uma parede de solo-cimento obter uma resistência térmica eficiente são:

- Características da mistura de solo-cimento;
- Inércia térmica;
- Maior espessura;
- Pintura externa;

Diante dos diferentes dados obtidos pelas observações descritas, constata-se a existências de resultados e valores contraditórios em relação à resistência térmica das paredes de solo-cimento. Algumas considerações feitas por instituições e centro de pesquisas como o ABCP e o CEPED comparam e equivalem a capacidade de resistência térmica das paredes de solo-cimento às de tijolos cerâmicos convencionais. Entretanto os dados fornecidos pela tabela de Coeficiente de Condutibilidade Térmica e os valores obtidos para o adobe pelo arquiteto Hassan Fathy, e o solo-cimento pela PETROBRÁS – CENPES citados pelo CEPED, demonstram uma variação significativa entre os resultados obtidos quando

comparados à alvenaria convencional de tijolo cerâmico e de blocos vazados de concreto. Esta divergência de resultados obtidos pode ser atribuída às diferentes composições e características das misturas utilizadas para análise, diferentes metodologias para os ensaios de laboratórios e condições adversas, e a falta de padronização dos ensaios e corpos de prova.

Crítérios Dimensionais

A padronização de medidas para os painéis de solo-cimento é adotada pelas vantagens de economia de formas e a ordenação do processo executivo. A medida base será definida pelo espaçamento entre as guias removíveis (eixo a eixo). Esta medida varia de 200 cm a 300 cm, por motivo de economia de material para confecção das formas, fácil manuseio, facilidade e diminuição do tempo de execução das paredes, ordenação do processo construtivo. O CEPED adota para a construção dos painéis de solo-cimento a medida base de 214 cm para a padronização de projeto (Figura 6.3).

Esta medida foi estabelecida em função do comprimento da madeira utilizada para a construção das formas (madeirite ou compensado naval) de 220 cm. Considerando a medida de 220 cm e 300 cm de cada lado para fixar a forma nas guias laterais, chega-se a medida base de 214 cm. É importante ressaltar que esta medida é adotada para a execução de painéis onde são utilizadas guias removíveis. Com o uso de guias perdidas na parede, deve ser considerada a sua largura para a padronização das medidas de projeto, o que implica na alteração da medida base. Entretanto pelo fato de ser comumente empregado o sistema de guias removíveis para a construção dos painéis pelo CEPED este tipo será abordado durante o estudo.

Um outro fator condicionante para a determinação da medida base é devido ao fenômeno de retração que ocorre na parede até a estabilização final do material compactado. Para evitar o fissuramento da parede devido a este fenômeno, a medida entre as guias não poderá ultrapassar 300 cm, dependendo do teor de areia presente no solo (CEPED, 1984).

A altura padronizada das formas varia de 40 a 55 cm por permitir um peso bastante aceitável para as operações de montagens e desmontagens (15kg aproximadamente para o comprimento e altura estabelecidos). Esta medida é adotada em função da chapa de madeirite e de compensado naval. A chapa de madeirite de dimensões 220 cm x 110 cm, permite fazer um corte longitudinal no sentido de maior comprimento e cortar a chapa em duas partes de 220 cm x 55 cm. O compensado

naval é mais utilizado por permitir dividir a sua chapa de 220 cm x 160 cm em três partes iguais de 220 x 53 cm, além de ser mais resistente que o madeirite.

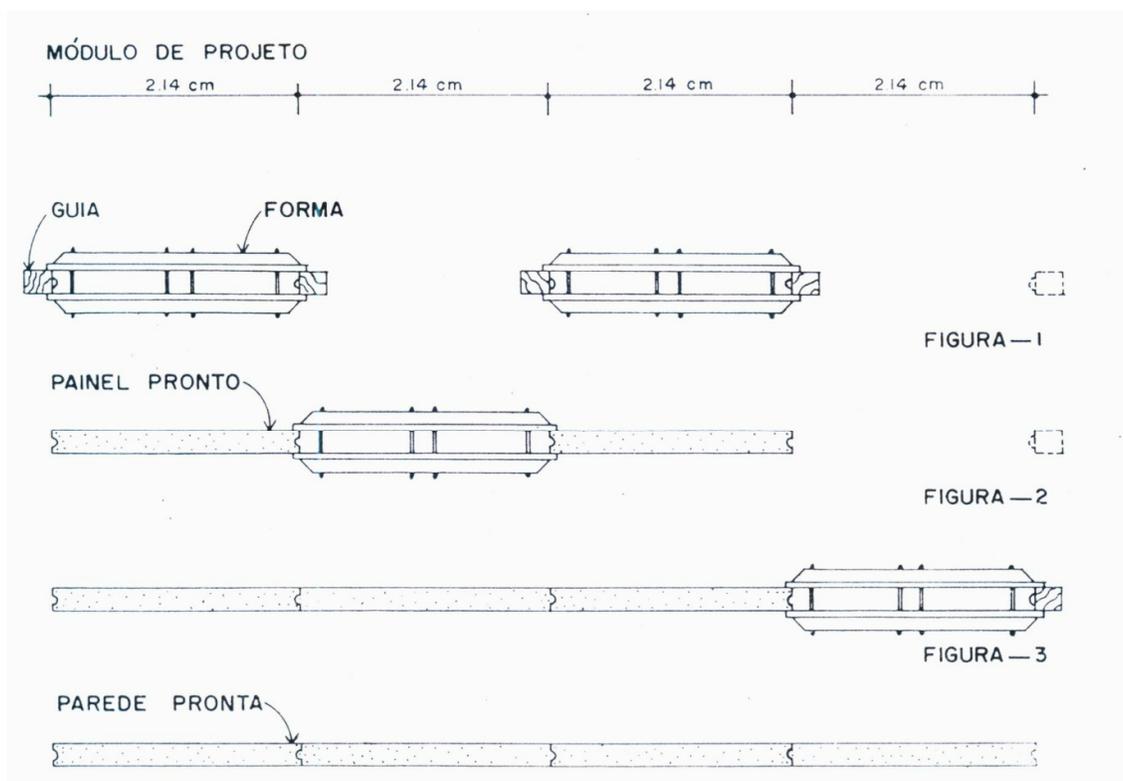


Figura 6.3 – Padronização das medidas dos painéis em função das formas.

A padronização das medidas no projeto arquitetônico deverá ser feita utilizando a medida base de 214 cm o maior número de vezes para a definição dos espaços na edificação. Para determinados espaços como banheiros e cubículos onde não seja possível a utilização da medida base para o dimensionamento, podem ser adotadas medidas inferiores (CEPED / BNH-DEPEA, 1985).

Considerações sobre os Critérios Dimensionais

Sintetizando os critérios adotados pelo CEPED para a adoção da medida base de 214 cm para o sistema construtivo de painéis de solo-cimento foram:

- Economia de formas;
- Ordenação e melhor sistematização do processo executivo;

- Menor tempo de execução;
- Minimizar efeitos de fissuração na parede;

É importante ressaltar que a medida base (módulo) definida para a padronização das medidas no projeto arquitetônico e durante a execução do sistema construtivo foi adotada em função da maior dimensão da forma dos painéis. Este critério adotado para padronizar os espaços da edificação em função de um único componente inviabiliza e dificulta a intercambialidade entre os demais elementos da construção.

O painel possui diversas interfaces com outros elementos da construção, como cobertura, esquadrias, eventuais instalações elétricas e hidráulicas que estejam localizadas no painel, acabamentos, etc. Priorizando uma medida de um determinado componente de um elemento, os demais terão que adaptar as suas medidas a desse componente, podendo ocasionar desperdícios gerados por cortes e adaptações feitas para realizar a conexão necessária dos diversos componentes e elementos da construção a este.

O projeto de arquitetura para a edificação construída pelo sistema de painéis de solo-cimento é modulado dimensionalmente de forma a racionalizar o uso das formas e guias (CEPED – BNH/DEPEA, 1985, p.38). Deste modo o projeto de arquitetura terá que se adaptar ou ser idealizado em virtude de um sistema de referência dimensional “fechado”, dificultando a flexibilidade necessária ao arquiteto para dimensionar, otimizar e “criar” os espaços funcionais da edificação devido a grande extensão da medida base estabelecida (módulo de 214 cm) e a falta de variações desta (sub-módulos).

A medida base adotada dificulta padronizar as medidas de espaços menores na construção como banheiros e pequenos depósitos. Este fato está relacionado à necessidade da adoção de medidas menores (sub-módulos) correlacionadas à medida base estabelecida (módulo) que permita a padronização das dimensões destes espaços, a inter-relação com diversos componentes de diferentes dimensões da edificação e interconexões com outros sistemas construtivos.

Sistema de Acoplamento

O sistema de união na técnica construtiva de painéis de solo-cimento desenvolvida visa, principalmente, atender as condições de estabilidade laterais e horizontais entre os painéis, já que o sistema de união das guias fixa somente às formas lateralmente durante a compactação da mistura, e ainda alinha e apruma os

painéis, sendo posteriormente removidas. As guias mais utilizadas pela sua eficiência são as estacas de concreto armado pré-moldadas que ficam perdidas na parede e guias recuperáveis de madeira. As condições de união das guias de concreto com a fundação será de engaste durante a execução da mesma. Para as guias removíveis de madeira são feitas cavidades ao longo da sapata corrida para embutimento por meio de solo compactado sem o estabilizante (cimento).

Antes da execução dos painéis sobre a fundação é feita uma junta impermeabilizante de 5 cm de altura, para proteger a parede da umidade. Para facilitar a união da primeira camada do painel com a sapata corrida é escarificada a face superior da camada impermeabilizante.

A união da guia de concreto com o painel é feita através de uma cavidade nas laterais da estaca no sentido vertical. A acoplagem se dará ao longo da progressão da compactação da mistura, que irá preencher a cavidade da guia formando uma união do tipo contínua, “macho e fêmea” (Figura 6.4).

As guias de madeira são mais utilizadas pela fácil fabricação e economia. É constituída de uma estaca de madeira com a espessura da parede e a altura do pé-direito mais o engaste na fundação. Para a acoplagem da guia ao painel, é feito um corte vertical em um tubo de PVC de 50 mm (meia cana) ou utilizado um sarrafo de madeira fixado nas laterais da estaca formando, assim, um “bit” para o encaixe com o painel. Após a execução de painéis alternados, são retiradas as guias. O “bit” das guias formará uma cavidade vertical nas laterais dos painéis alternados prontos. Estes painéis servem de guias para a execução dos painéis intermediários.

A acoplagem entre estes dois painéis se dará pela progressão da compactação da mistura nos painéis intermediários, que irá preencher a cavidade dos painéis alternados formando uma união do tipo contínua, “macho e fêmea”. Em casos onde o número de painéis executados for par, o último painel será apoiado de um lado por uma guia e do outro por um painel já pronto. No caso da paralisação da obra durante o levantamento da parede, é necessário que a face superior (junta) da camada pronta seja escarificada para facilitar a aderência com a camada seguinte a ser compactada acima desta. Isso pode ser feito também por ranhuras que devem ter uma profundidade e largura aproximada de 5 cm (CEPED – BNH/DEPEA, 1985) (Figura 6.5). Se o período de interrupção for maior que 4 horas, além deste procedimento deve-se também umedecer a superfície e espalhar o cimento para ser estabelecida uma melhor união entre o solo-cimento do painel superior a ser compactado com o inferior já pronto.

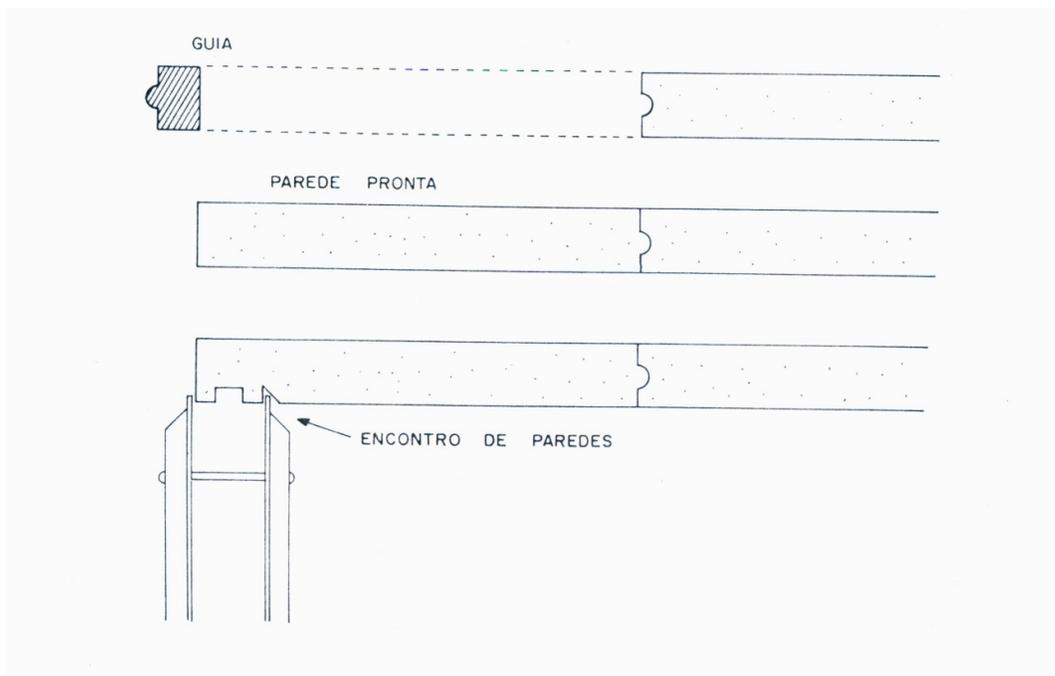
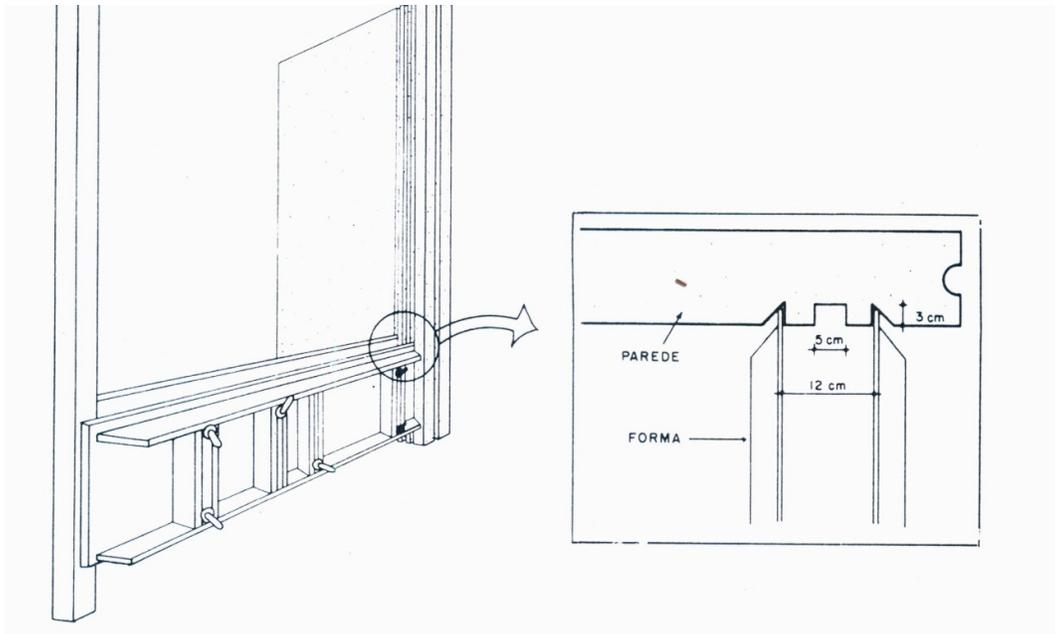


Figura 6.4 – Sistema de acoplamento das formas com as guias e painéis, e entre painéis.

No encontro de paredes são feitas três cavidades de rebaixas no painel já pronto. As cavidades laterais servem para fixar a forma que vai moldar a parede no sentido perpendicular ao painel executado, enquanto a cavidade do meio fará a união

do tipo contínua (macho e fêmea) do painel a ser executado com o painel já pronto (Figura 6.6). Quando o encontro de paredes for nas extremidades é necessário apenas fazer duas cavidades, pois uma das laterais da forma se apoiará em uma das faces da parede já executada.

O acoplamento das esquadrias ao painel é feito durante a execução do mesmo. Existem duas alternativas possíveis de serem utilizadas:

- A colocação dos caixonetes de portas e janelas dentro da forma durante a execução do painel (Figura 6.7);
- A colocação de uma moldura removível dentro da forma para preservar o espaço na parede correspondente à colocação da esquadria;

Nestes dois casos apresentados o caixonete ou a moldura colocada dentro da forma deverá ter a mesma espessura do painel para ser manter fixo pela pressão dos parafusos da forma.

A união da esquadria com o painel é feita por um pedaço de madeira que se junta a uma peça para reforçá-la. Ele é colocado dentro da forma, por ocasião da compactação. O comprimento de engaste deste com a parede possui cerca de 10 cm, e a sua largura deve permitir um recobrimento lateral de 3 cm. Para reforçar a sua união com o solo-cimento compactado deve-se cravejá-lo com pregos.

As instalações hidráulicas e elétricas são acopladas nas paredes técnicas (paredes por onde passam ramais de sistemas de instalações hidráulicas, elétricas, e outros) por embutimento como nas construções convencionais. São feitos sulcos nas paredes antes que a resistência do solo-cimento comece a dificultar a abertura dos cortes necessários ao embutimento dos ramais. Outra alternativa utilizada para o acoplamento dos ramais de instalações a parede, poderá ser feito aparente através de sistemas de braçadeiras e “buchas” plásticas (CEPED – BNH/DEPEA, 1985).

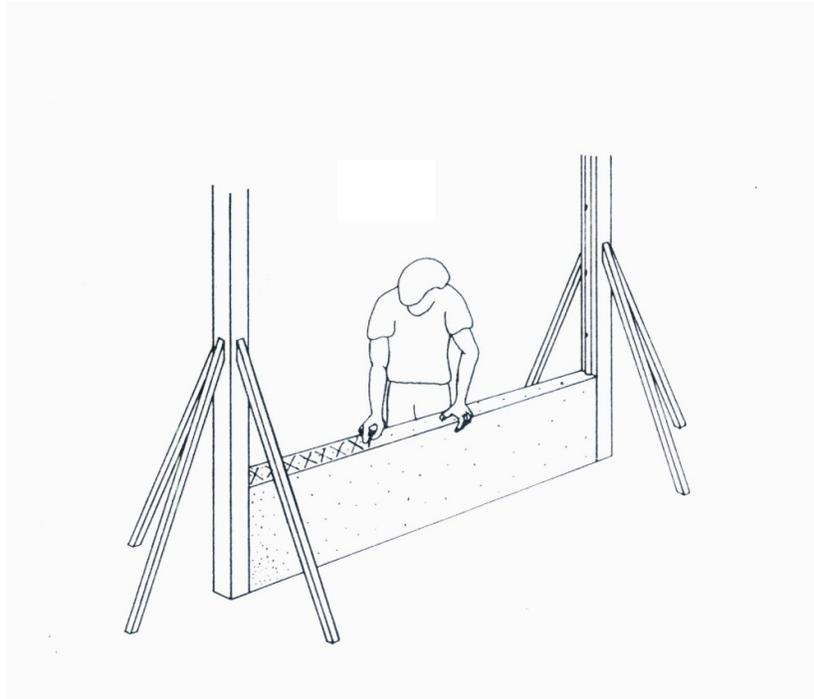


Figura 6.5 – Ranhuras na face superior da primeira fiada do painel para facilitar a aderência (união) da próxima camada da mistura a ser compactada.



Figura 6.6 – Rebaxos para o acoplamento entre painéis no encontro de paredes.

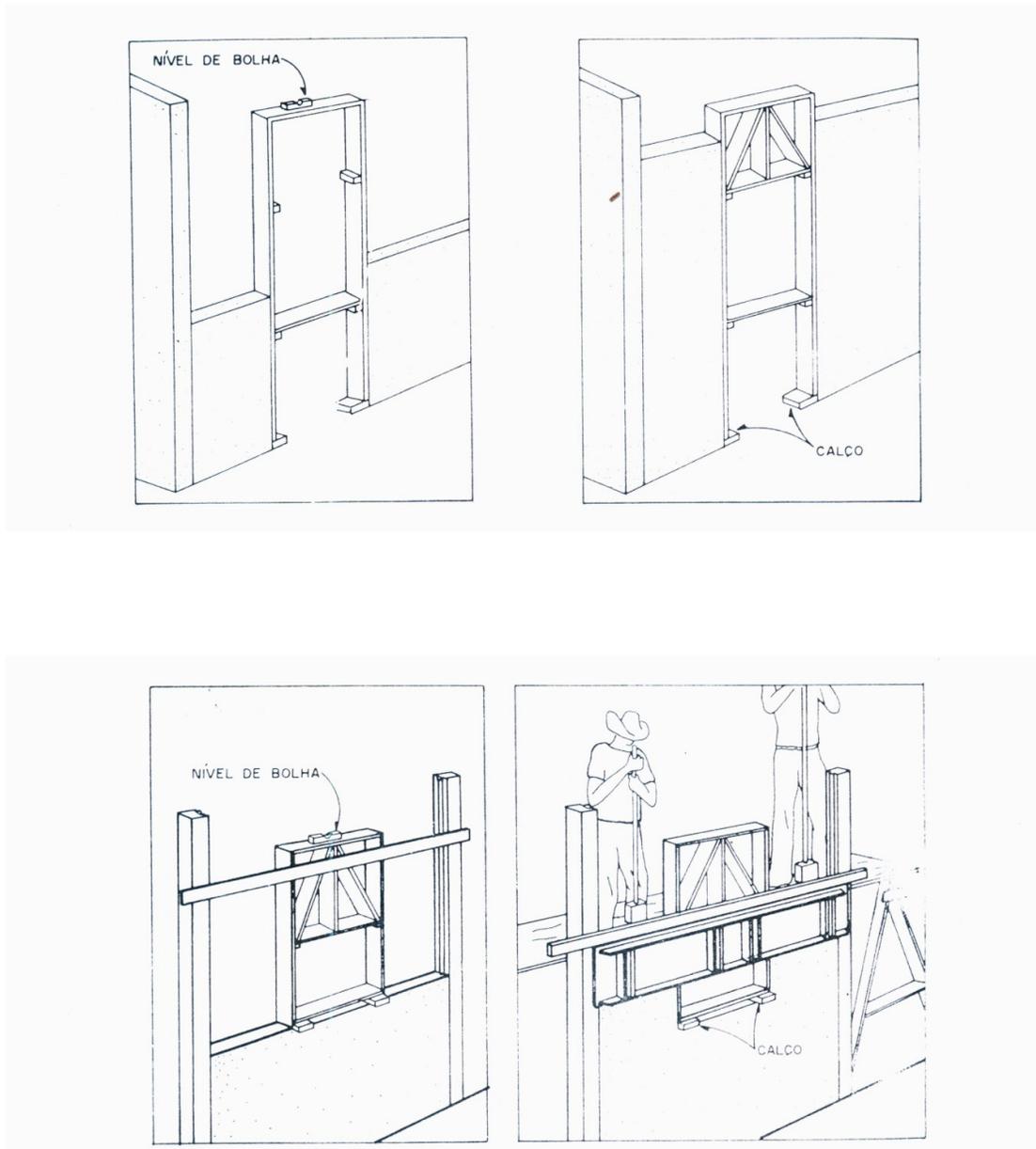


Figura 6.7 – Acoplamento das esquadrias ao painel.

A interface da parede com a cobertura é feita nos protótipos construídos pelo CEPED até o momento, sem o acoplamento entre estes elementos construtivos. A cobertura é simplesmente apoiada sobre a parede, tendo em vista também, a observação descrita já anteriormente sobre as condições de apoio da parede ser livre no topo.

Considerações sobre o Sistema de Acoplamento

Conforme descrito anteriormente, os critérios adotados para o sistema de acoplamento na técnica construtiva de painéis de solo-cimento desenvolvido pelo CEPED-BA visa, principalmente, atender as condições de estabilidade da parede, e de uniões laterais e horizontais dos painéis.

É importante ressaltar que as condições de acoplamento das paredes são estanques, o que dificulta possíveis interconexões com outros sistemas construtivos. Esta característica está relacionada às condições de reciprocidade associativa dos contornos, onde está disposto o mecanismo de acoplamento dos painéis, que dificultam a compatibilização geométrico-dimensional com outros sistemas de fechamentos e estruturais, como por exemplo, alvenaria de blocos cerâmicos, blocos vasados de concreto, painéis de madeira, sistema estrutural convencional de concreto armado (vigas e pilares), entre outros.

É ainda relevante considerar que as características e propriedades inerentes do material, como grau de deformabilidade do componente provocado por variações térmicas e cargas estruturais incidentes, devem ser consideradas para a análise e o estudo de sistemas de acoplamento entre materiais de distintas naturezas.

6.3.2 – TIJOLITO / Construtora ANDRADE GUTIERREZ

Critérios para Dosagem da Mistura de Solo-Cimento

Durante o processo de fabricação dos blocos, o solo deve conter baixa umidade. O solo é retirado da jazida e transportado à um depósito. No preparo da mistura é necessário que os torrões sejam desagregados e eliminado o material retido na peneira de 4,8 mm segunda a norma da ABNT (NBR 5734). O solo preparado e o cimento são unidos no misturador até a completa homogeneização. Água deve ser adicionada na mistura até atingir a umidade ideal (IPT, 1998). Segundo o professor João Batista Santos de Assis, idealizador do TIJOLITO, não existe uma mistura padrão para o TIJOLITO, dependerá da análise do solo a ser utilizado (ASSIS, 2002).

O TIJOLITO foi submetido a diversos testes e ensaios laboratoriais realizados pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo) (IPT, 1998).

Considerações sobre os Critérios de Dosagem

Em contatos diversos feitos com o escritório da ANDRADE GUTIERREZ no Rio de Janeiro, em Belo Horizonte, escritório local da empresa instalado na cidade de Macaé / RJ e demais profissionais vinculados ao desenvolvimento do TIJOLITO, não foram obtidos maiores informações e dados técnicos mensuráveis para a análise dos critérios adotados para a dosagem da mistura de solo-cimento do TIJOLITO.

Resistência Estrutural

O sistema de alvenaria do TIJOLITO é estrutural, ou seja, é constituído por paredes portantes. O número máximo de dois pavimentos permite a estabilidade e o funcionamento seguro do conjunto estrutural da edificação (IPT, 1998). As fundações são usualmente feitas em sapatas e vigas pré-moldadas de concreto armado, ou ainda, em sapata corrida de concreto simples convencional (Figura 6.8).

A alvenaria de TIJOLITO é formada pelo intertravamento dos blocos de encaixe com dimensões nominais de 11 cm x 22 cm x 11 cm com furos de diâmetros de 45 mm e 31 mm. A característica de intertravamento dos blocos do TIJOLITO possibilita uma maior distribuição dos esforços incidentes ao longo da parede, e conseqüentemente uma maior estabilidade do conjunto (IPT, 1998).

Durante a execução da parede os furos menores (31 mm) são preenchidos com uma argamassa de cimento e areia (Figura 6.9). A parede é levantada em ciclos de três em três fiadas, até a altura definida. Em locais determinados são colocados armaduras verticais nos furos maiores (45 mm) com barras de aço de 5 mm e argamassa, que funcionam como pequenas colunas. São preenchidos todos os furos das três primeiras e três últimas fiadas da parede. A fiada de tijolos sob as janelas e sobre as portas e janelas são grauteadas para uma melhor estabilidade das esquadrias com a parede (Figura 6.11).

As três últimas fiadas preenchidas funcionam como uma viga de respaldo (sem armadura) que pode ser engastada a laje ou receber o apoio do telhado. A fiada sob portas e janelas funciona como contra-vergas, enquanto a fiada sobre janelas e portas como vergas.

As condições de apoio das paredes portantes (estruturais) do TIJOLITO são de engaste com a fundação (sapatas e vigas pré-moldadas de concreto armado ou em sapata corrida) e engaste no topo, para o caso de uso de lajes, que podem ser pré-moldadas ou maciças. No caso de construções sem lajes só com cobertura formadas

por estruturas de madeira e telhas cerâmicas ou outro tipo, as condições de apoio no topo da parede será livre.

Os esforços de compressão simples a que estará sujeita a parede serão consequência do peso próprio da parede, cargas acidentais e excêntricas, peso da laje e/ou cobertura.

O TIJOLITO foi submetido a diversos testes e ensaios laboratoriais de resistência e avaliações de desempenho estrutural realizados pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo) (IPT, 1998, p. 13).

Considerações sobre a Resistência Estrutural

Conforme a análise feita sobre os dados fornecidos sobre a tecnologia, os critérios norteadores para o estudo sobre a resistência estrutural da alvenaria de TIJOLITO são:

- Construções de até 2 pavimentos;
- Peso do telhado e/ou laje;
- O peso próprio da parede;
- Cargas acidentais e excêntricas
- Condições de apoio da parede;
- União entre os tijolos;
- Intertravamento da parede;

É importante ressaltar, que devido às condições de rigidez de amarração da parede, nas três primeiras e últimas fiadas grauteadas (sem armadura para combater os esforços de tração), e as condições rígidas de união entre os blocos por encaixe horizontal e cimentação lateral dos buracos entre os mesmos (proporcionando o intertravamento da parede), conclui-se que dentre os esforços estruturais de tração e compressão incidentes na parede, a compressão é mais considerada que a tração pela técnica construtiva do TIJOLITO.

Em contatos diversos feitos com o escritório da ANDRADE GUTIERREZ no Rio de Janeiro, em Belo Horizonte, escritório local da empresa instalado na cidade de Macaé / RJ e demais profissionais vinculados ao desenvolvimento do TIJOLITO, e consultas realizadas a materiais bibliográficos disponíveis e acessíveis, não foram

obtidos maiores informações e dados técnicos mensuráveis para a análise detalhada dos critérios adotados sobre a resistência estrutural das paredes de TIJOLITO.

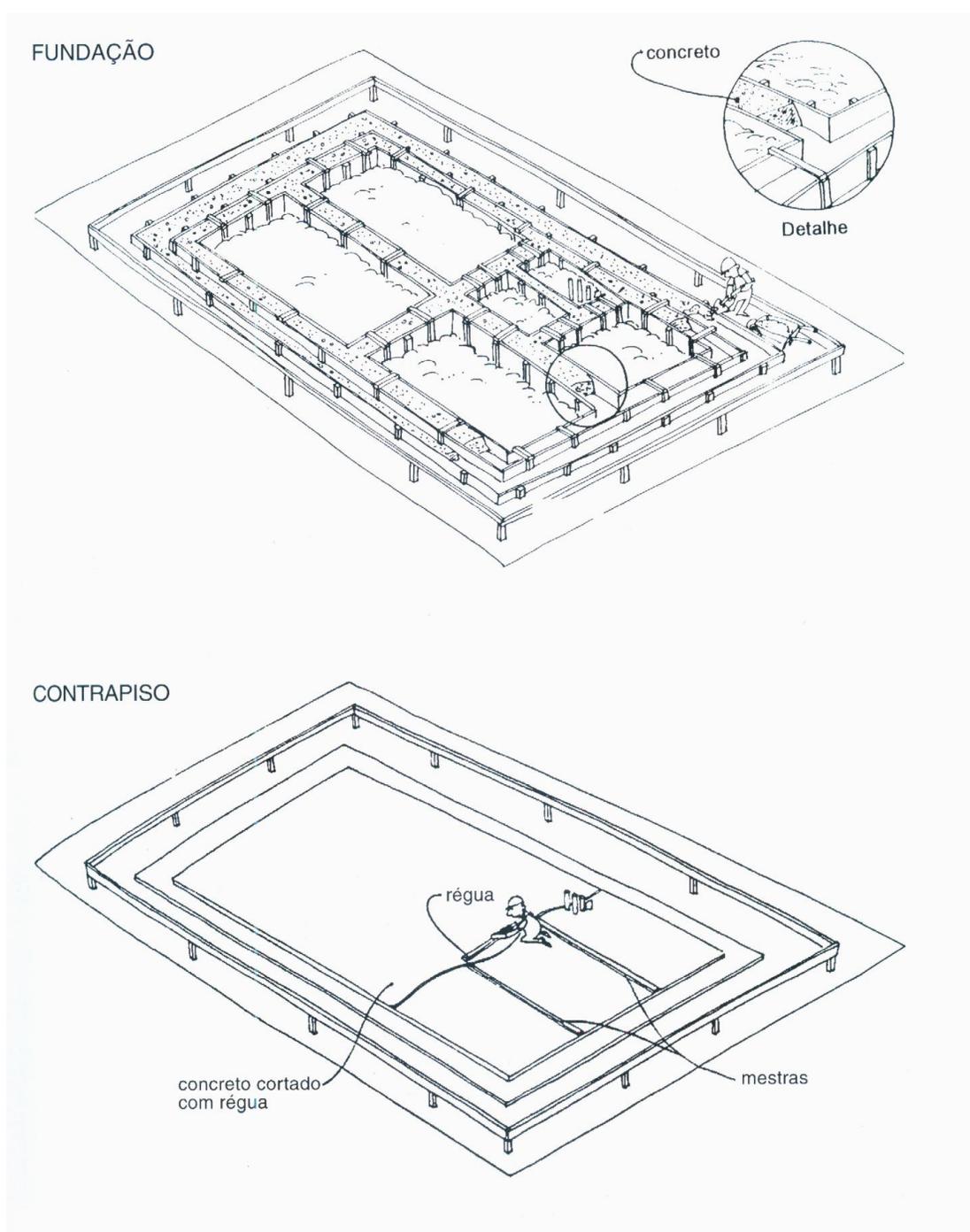


Figura 6.8 – Execução de fundação e contrapiso.

Desempenho Térmico

Não foram obtidos dados técnicos a respeito deste critério nos diversos contatos realizados com a empresa ANDRADE GUTIERREZ, profissionais envolvidos com o desenvolvimento do TIJOLITO e materiais bibliográficos consultados, não sendo possível assim, realizar uma análise detalhada sobre o desempenho térmico do TIJOLITO.

Entretanto é importante citar que foram realizados testes, ensaios laboratoriais e avaliações de desempenho e condutividade térmica das paredes de TIJOLITO pelo IPT (IPT, 1998, p. 13).

Critérios Dimensionais

A medida base (módulo) adotada para todo o sistema construtivo do TIJOLITO é estabelecida em função das dimensões do tijolo padrão 11 x 22 x 11 cm. O projeto arquitetônico é dimensionado em função da medida base do tijolo padrão. O dimensionamento do projeto e de componentes industrializados tem como principal objetivo, tornar o índice de desperdício durante o processo construtivo inexpressivo.

O controle dimensional do tijolo evita desaprumos e desalinhamentos que são freqüentemente regularizados com a aplicação de argamassa para diminuir estas diferenças nas paredes de tijolos cerâmicos convencionais, gerando custos adicionais de material.

Os elementos construtivos industrializados como esquadrias e estruturas do telhado possuem dimensões padronizadas em função da medida base do tijolo padrão denominado pela nomenclatura do componente de TJ100 (Figura 6.9). O tijolo TJ101 tem a metade da dimensão do bloco padrão (TJ100). O meio-TIJOLITO é utilizado para fazer a amarração no encontro entre paredes de juntas intercaladas, evitando assim, o corte do tijolo padrão.

Segundo o idealizador do TIJOLITO, o professor João Batista Santos de Assis, o estudo inicial a respeito dos critérios dimensionais a serem adotados para o tijolo nasceu de observações feitas a respeito das irregularidades e da diversidade de dimensões dos vários tipos de tijolos disponíveis no mercado. A falta de regularidade dimensional dos tijolos da indústria cerâmica no Brasil, provocados pela falta de controle da queima nos fornos, era outro fator preocupante para o pesquisador.

O solo-cimento foi adotado por possibilitar um controle dimensional mais eficiente, e não estar sujeito a necessidade da queima dos tijolos cerâmicos e também

pela possibilidade de ser prensado em moldes com dimensões controladas. Durante o estudo sobre as dimensões a serem adotadas para o tijolo foi concluído que adotando os 11 cm de espessura do tijolo, e seguindo as recomendações das normas brasileiras de utilizar a medida de 20 mm para o revestimento em cada uma das faces da parede, chegou-se na medida de 15 cm para a parede acabada (ASSIS, 2002).

É importante citar que a empresa desenvolveu um Manual de Construção para o Usuário, com orientações sobre o processo construtivo e manutenção da edificação (IPT, 1998 p. 13).

Considerações sobre os Critérios Dimensionais

A padronização das medidas adotadas para o desenvolvimento da tecnologia construtiva do TIJOLITO foi estabelecida tendo como medida de referência o tijolo padrão de 11 x 22 x 11 cm. Os critérios adotados para a definição desta medida padrão foram:

- Diminuição dos desperdícios durante a obra;
- Sistematização do processo construtivo;
- Minimizar o tempo de duração da obra;
- Correlação da medida base com os componentes industrializados;
- Controle dimensional;
- Qualidade de acabamento;
- Controle de qualidade e manutenção da edificação;

Os componentes industrializados como esquadrias, estrutura do telhado possuem as suas dimensões padronizadas em função das dimensões do TIJOLITO (TJ100). Todos os componentes industrializados são fabricados em série e utilizados somente para a técnica construtiva desenvolvida para o TIJOLITO, devido as suas condições próprias dimensionais e de acoplagem entre os componentes.

É importante ressaltar, que os critérios dimensionais que a tecnologia construtiva, denominada pela empresa de Sistema AG de Construção Industrializada - TIJOLITO, se caracterizam pela adoção de uma medida base em função de um único componente, sem considerar a sua correlação dimensional com os vários tipos de componentes de serem utilizados. Este critério de padronização de medidas determina, conseqüentemente que todas as dimensões dos demais componentes, bem como todos os projetos necessários à construção da edificação sejam realizados

obedecendo a medida base (módulo) determinada pelo tijolo de solo-cimento, TIJOLITO.

Segundo Mandolesi, este tipo de sistema de produção de uma edificação industrializada é denominado de *ciclo fechado*. Mandolesi define como *ciclo fechado*, sendo o princípio para a produção de determinados tipos de edificações onde cada elemento construtivo funcional possa ser produzido em série em instalações apropriadas (fábricas, galpões industriais, etc) e posteriormente, ser montado com os outros na obra. A edificação é produzida em partes separadas (componentes industrializados), com medidas padronizadas e inter-relacionadas, e condições recíprocas de união (MANDOLESI, 1981).

Entretanto esta característica neste sistema de produção só permite que seja produzido um “tipo único” de edificação adequada a essas condições estabelecidas, tendo em vista que os elementos construtivos funcionais sejam projetados e dimensionados para este tipo específico de edificação (MANDOLESI, 1981).

É ainda relevante considerar, que neste sistema de produção de edificações industrializadas de *ciclo fechado* não há otimização das condições de intercambialidade com outros tipos de componentes ou elementos construtivos funcionais, e nem a interconexão com outros sistemas construtivos, devido as suas condições intrínsecas de correlação dimensional e compatibilidade geométrico-dimensional de união.

A elaboração de um manual de construção de auxílio ao usuário é uma importante iniciativa desenvolvida pela empresa, que permite através da reunião dos dados técnicos e informações sobre o processo construtivo sistematizar o acesso às informações sobre a técnica construtiva.

Sistema de Acoplamento

O desenvolvimento do sistema de acoplamento do TIJOLITO foi realizado a partir de estudos feitos sobre os blocos de encaixe europeus. Segundo o pesquisador prof. João Batista de Assis, os sistemas construtivos de alvenaria europeus apresentam uma diversidade de volume de peças (variações do bloco padrão). A partir de uma análise crítica sobre a necessidade de desenvolver uma grande variedade de peças para o sistema, optou-se por realizar um sistema simplificado com menor variedade de peças para o TIJOLITO, que conseqüentemente o tornaria mais econômico e menos complexo (ASSIS, 2002).

As condições de união do sistema de alvenaria do TIJOLITO é por cimentação através de argamassa de cimento e areia para o assentamento do tijolo sobre o

baldrame ou sapata corrida, e engaste das pequenas colunas armadas com a fundação.

Os tijolos possuem furos circulares verticais e encaixes horizontais tipo “macho e fêmea” nas duas faces do tijolo, os quais permitem o travamento horizontal da alvenaria, e minimizar uso da argamassa de assentamento do tijolo. Os furos menores (31 mm), como já foi dito anteriormente (Resistência Estrutural), são utilizados para a união entre os blocos por aplicação de argamassa fluída e a estabilização vertical da parede.



Foto 6.10 – Execução da alvenaria (preenchimento dos furos menores) do tijolo com argamassa fluída

Através destes furos é aplicada a argamassa que após o enrijecimento formam pequenas colunas. Em determinados casos os dois furos maiores de 45 mm são utilizados para este fim. Entretanto a sua função principal é de permitir a passagem das tubulações de hidráulica, elétrica e gás, não havendo necessidade de cortes e de desperdícios na alvenaria para embutimento dos ramais.

Apartir do tijolo padrão (TJ 110) foram desenvolvidas algumas variações que permitem padronizar soluções construtivas e de acabamento, todas obedecendo ao mesmo sistema de acoplamento por encaixe horizontal (macho e fêmea) e união por travamento vertical entre os blocos pela aplicação de argamassa fluída nos furos menores. O bloco TJ 111 tem a metade da dimensão do bloco padrão, utilizado para a amarração no encontro de paredes para evitar o corte do tijolo padrão.

Para a execução das caixas de saídas elétricas e hidráulicas foram desenvolvidas outras variações como o TJ 112, TJ 113 e TJ 114, estes próprios para a instalação e a fixação das caixas elétricas de 2" x 4" (acoplamento) e para as conexões hidráulicas. O TJ 115 é utilizado nas vergas de portas e janelas, e para ensaios de laboratório foi criado o TJ 116 (Figura 6.10).

As esquadrias industrializadas e padronizadas foram projetadas especialmente para o sistema. O sistema de acoplagem desenvolvido para a esquadria permite o encaixe com os blocos utilizados para as vergas e contra-vergas de portas e janelas, e esta união pode ser realizada juntamente com a progressão da execução da parede (Figura 6.11). O marco das janelas e portas podem ser metálicos ou de madeira, em forma de "U" com base de 11 cm e profundidade adequada a permitir o encaixe dos blocos em seu interior, dispensando a fixação do tipo "contínua" por aplicação de argamassa cimentícia ou "por pontos" (parafusos e furos).

O acabamento final da parede pode ser feito com perfis metálicos em forma de "U" invertido desenvolvido para o acoplamento com a última fiada, ou ainda com tabeiras de madeira.

Os dois tipos de lajes que podem ser utilizadas no sistema são lajes pré-fabricadas ou maciças com as dimensões compatíveis com o sistema de referência de medidas adotado (sistema fechado).

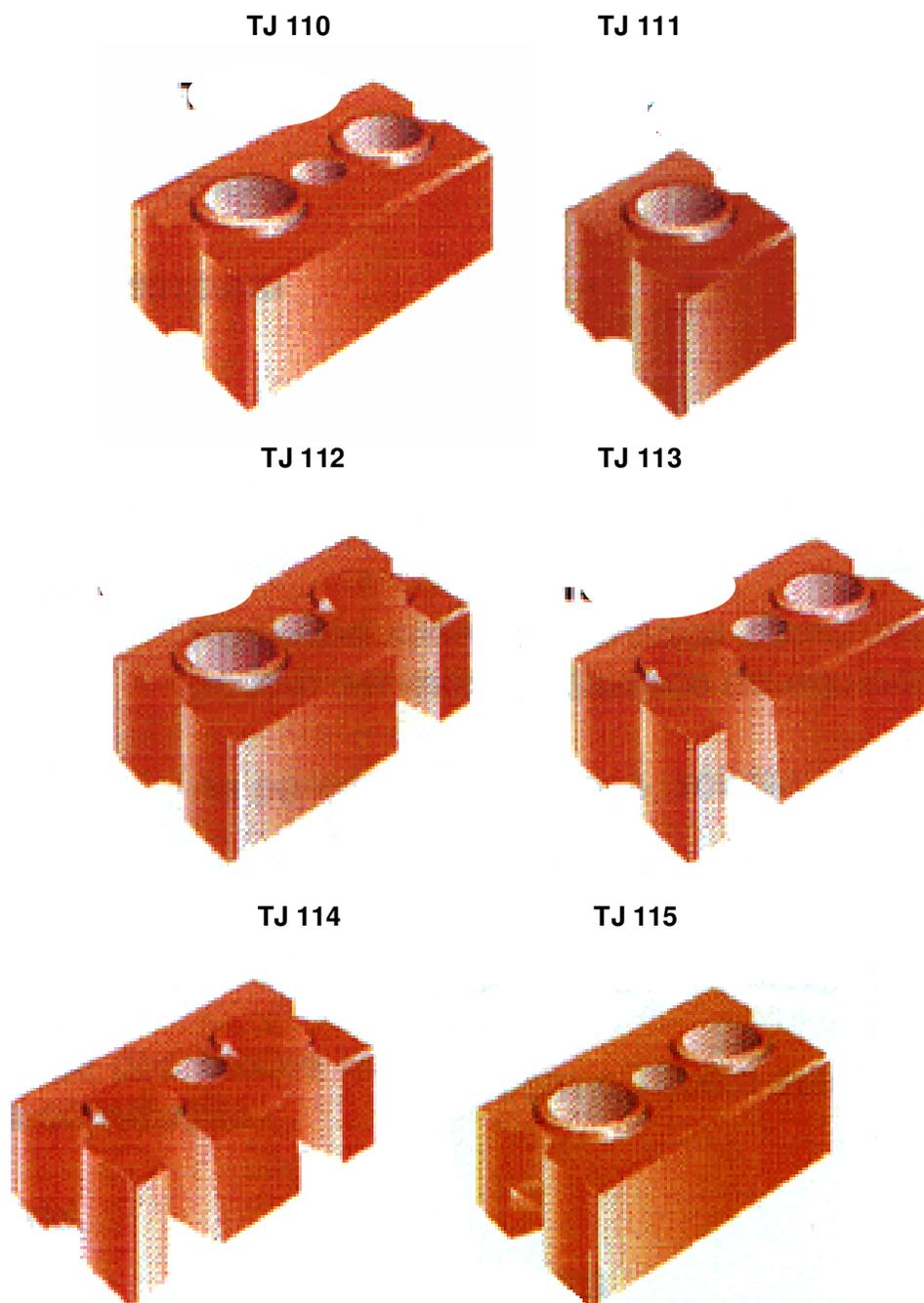


Figura 6.9 – Tipologias do componente (TIJOLITO).

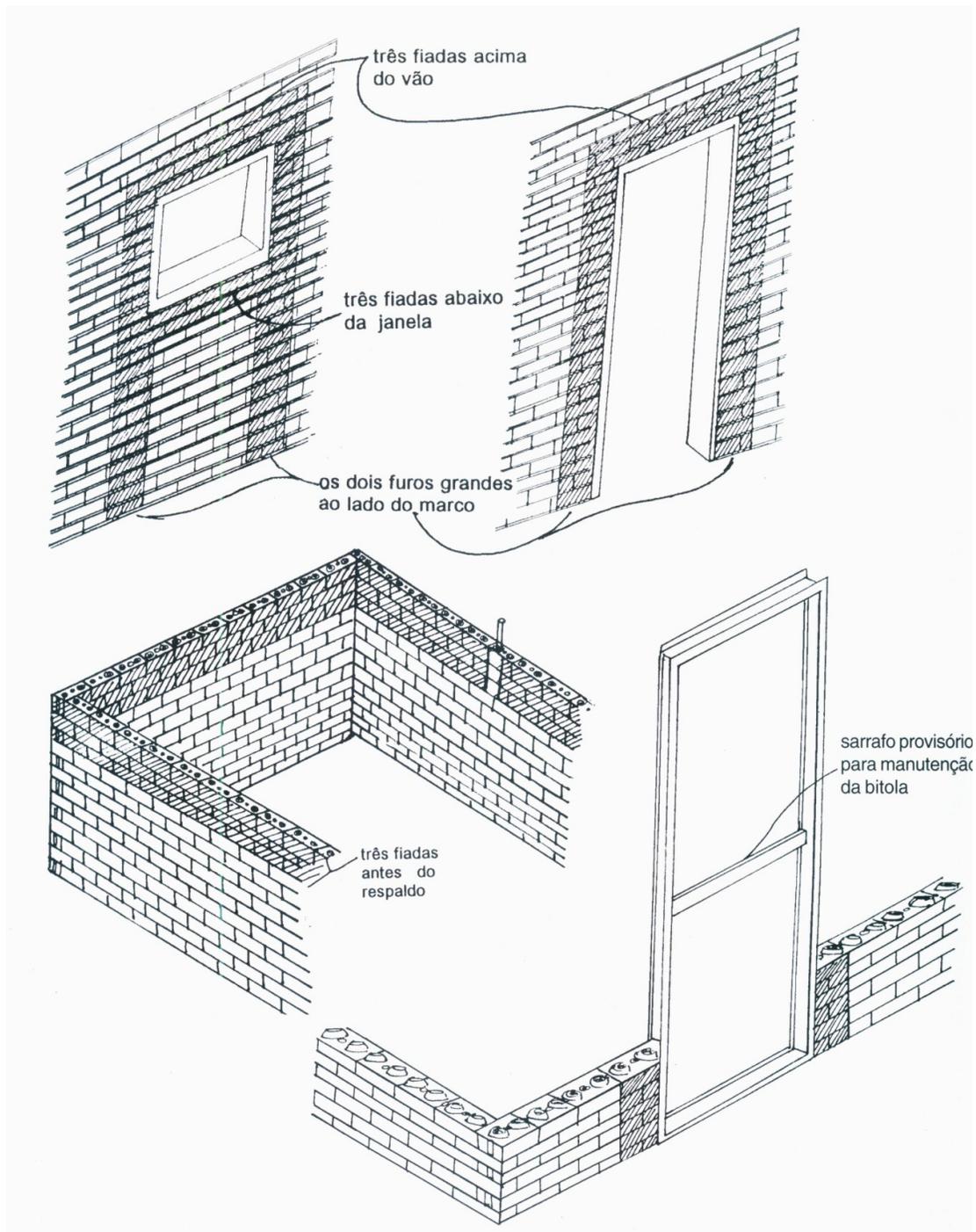


Figura 6.10 – Acoplagem das esquadrias na alvenaria.

As condições de acoplamento da parede com os dois tipos de lajes possíveis de serem utilizadas no sistema são de engaste por cimentação e amarração da ferragem da laje com a viga de respaldo (últimas fiadas), e das pequenas colunas de argamassa armada confeccionadas nos furos de 45 mm.

A cobertura no sistema é feita de estrutura de aço ou de madeira pré-fabricada. As condições de acoplamento com a parede são de apoio das tesouras e o madeiramento sobre as vigas de respaldo (últimas fiadas grauteadas).

Considerações sobre o Sistema de Acoplamento

Os principais critérios adotados para o sistema de acoplamento do sistema construtivo de alvenaria do TIJOLITO são:

- Economia de argamassa para o assentamento dos tijolos;
- Intertravamento e estabilidade da parede;
- Rapidez para a montagem da alvenaria;
- Alinhamento e aprumo da parede;
- Redução dos desperdícios durante a obra;
- Sistematização do processo construtivo da parede;
- Acoplamento com outros elementos construtivos em interface com a parede;

O controle dimensional do tijolo possibilitou estudar e desenvolver variações do tijolo padrão, com condições de acoplamento compatíveis e embutimento, para as diversas interfaces da parede com outros componentes industrializados do sistema (esquadrias, ramais de instalações elétricas, caixas para interruptores, tesouras do telhado, entre outros).

As condições de união dos blocos e o intertravamento da parede são feitos pela fixação do tipo “contínua” (macho e fêmea) nas faces horizontais do tijolo e a fixação, também “contínua”, por cimentação em suas faces verticais.

Apesar do sistema de acoplamento horizontal dos blocos possibilitar a redução do uso da argamassa de assentamento, a fixação vertical dos blocos por aplicação de argamassa fluída, quase que desconsidera esta vantagem econômica do sistema.

O sistema de acoplamento do TIJOLITO e demais componentes desta técnica construtiva foram desenvolvidos de forma “estanque”, devido as suas características de sistema de produção industrializada de *ciclo fechado*, como foi dito anteriormente (Critérios Dimensionais), dificultando possíveis interconexões com diferentes tipologias de componentes e outros sistemas construtivos sem a realização de soluções improvisadas de união em suas interfaces.

6.3.3 – Tijolos de Solo-Cimento Produzidos pelas Prensas SAHARA

Crítérios para Dosagem da Mistura de Solo-Cimento

O solo recomendado para a fabricação dos tijolos produzidos pela prensa SAHARA deve conter baixa umidade e ser isento de matéria orgânica. O solo adequado possui a porcentagem de 70% de areia e 30% de argila. A composição ainda admissível de ser utilizada deve possuir 50% de argila e 50% de areia, sendo considerado inadequado se tiver mais de 55% de argila e menos de 45% de areia (SAHARA, Manual Informativo).

Segundo método indicado pela empresa, a qualidade do solo pode ser observada pela a sua coloração (SAHARA, Manual Informativo, p. 11):

- Vermelho ou amarelo = boa qualidade
- Saibro ou arenoso (cor ?) = Excelente qualidade
- Preto (contém matéria orgânica) = má qualidade

O solo selecionado é passado em uma peneira de 4 a 6 mm (malha), antes de iniciar a mistura com o estabilizante. Para a mistura de solo-cimento, segundo as recomendações da empresa pode-se utilizar o traço de 1:7 ou 1:10 (uma parte de cimento para sete ou dez de solo), com a umidade da mistura em torno de 4% a 5%. Para a argamassa para a correção das irregularidades utilizada durante o assentamento, recomenda-se o traço 1:1:12 (uma parte de cimento, para uma de cola PVA, para doze partes de solo) (SAHARA, Manual Informativo).

A umidade ideal da mistura a ser usada pode ser verificada por um teste prático sugerido pela empresa, que consiste em encher a mão com um punhado da mistura já úmida e em seguida contrair a mão com força contra a palma da mão. Ao abrir a mão o bolo formado deve apresentar as marcas dos dedos com nitidez e, partindo o bolo em duas partes, este não deverá esfarelar-se (consistência ideal de água). Pouca água, o bolo esfarela-se com facilidade, e se a mão ficar suja com uma certa umidade é porque existe excesso de água (SAHARA, Manual Informativo).

Considerações sobre a Dosagem da Mistura

Em contatos diversos feitos com o escritório da empresa SAHARA em São Paulo e consultas realizadas a materiais informativos fornecidos, não foram obtidas maiores informações e dados técnicos mensuráveis, para a análise detalhada dos

critérios adotados para a dosagem da mistura de solo-cimento recomendada pela empresa.

Entretanto é importante ressaltar que algumas informações técnicas fornecidas pela empresa, em seu manual informativo, carecem ou não são apresentados os ensaios laboratoriais realizados e os parâmetros científicos mensuráveis para a constatação dos resultados, como o traço da mistura e o teor de umidade recomendado. Alguns métodos práticos, como a escolha do solo ideal pela sua coloração, por exemplo, são muito subjetivos, passíveis de inúmeras interpretações de resultados. Não apresentando uma confiabilidade e segurança total de utilização das recomendações pelo usuário.

Resistência Estrutural

As condições de apoio da parede executada com a técnica construtiva desenvolvida pela empresa SAHARA são de engaste através do transpasse e concretagem da ferragem introduzida no interior dos blocos na fundação e no topo. As cargas de compressão incidentes sobre a parede serão seu peso próprio, laje, telhado e cargas acidentais. Segundo a Empresa SAHARA podem ser construídos edifícios com 3 pavimentos com a tecnologia, deste que seja feito o dimensionamento estrutural das paredes e a orientação técnica pelo engenheiro responsável (SAHARA, Manual Informativo).

A alvenaria na tecnologia construtiva desenvolvida pela SAHARA é portante, tendo em vista que os furos internos de alguns tijolos (Foto 6.11) são armados, grauteados e locados em pontos essenciais da construção (segundo orientações e projeto estrutural definido pelo engenheiro responsável), formando pilaretes²¹ para a estabilização da parede. É realizada ainda, uma amarração dos pilaretes, por meio de uma cinta de amarração (blocos canaletas armados e grauteados) feita pelo prolongamento das vergas e contra-vergas das esquadrias. A “amarração área” (vigamento superior) da parede é feita pelo mesmo sistema.

Os pilaretes são engastados também no vigamento superior ou laje através do transpasse da ferragem para maior rigidez do conjunto. Os pilaretes embutidos dentro da alvenaria são distribuídos de acordo com a necessidade estrutural do projeto. Sempre em maiores quantidades que o sistema estrutural de concreto armado convencional, devido as suas dimensões menores de seção, armadura e concretagem (menor resistência estrutural). Quanto maior a carga de compressão sobre a parede,

²¹ Ver Glossário p. 238.

maior será a quantidade de pilaretes e menor o espaçamento entre eles, pois não é possível redimensionar a seção e armadura que é inserida nos buracos dos tijolos de dimensões restritas.

Segundo a empresa, intertravamento da parede, proporcionado pelo sistema de encaixe dos blocos em sua face horizontal, possibilita distribuir também os esforços de compressão ao longo da parede (SAHARA, Manual Informativo). É importante ressaltar que esta característica da parede mencionada pela empresa proporcionada pelo sistema de acoplamento do tijolo será melhor analisada, posteriormente, pelo critério Sistema de Acoplamento. Os esforços estruturais maiores de compressão e tração são realizados pelos pilaretes e vigas embutidos dentro da parede.

Considerações sobre a Resistência Estrutural

Os critérios para a análise da resistência estrutural da parede construída com a tecnologia desenvolvida pela empresa SAHARA, podem ser resumidas em:

- Número de pavimentos;
- Condições de apoio;
- Peso próprio da parede;
- Peso da laje e/ou telhado;
- Cargas acidentais e excêntricas;

Através de contatos realizados com a empresa e estudo feito sobre o material técnico informativo fornecido pela empresa e pesquisas na Internet, não foram obtidos maiores informações sobre dados científicos mensuráveis para uma análise aprofundada, e nem a constatação de que tenham sido realizados ensaios laboratoriais normalizados sobre os esforços de compressão de cargas axiais e excêntricas incidentes, tanto no tijolo produzido pelas prensas como na parede portante da técnica construtiva desenvolvida pela empresa.

Desempenho Térmico

Não foram obtidas informações técnicas e dados científicos mensuráveis para a análise deste critério na técnica construtiva desenvolvida pela empresa. É importante citar que foram feitos contatos e consultas ao material informativo fornecido pela empresa não sendo obtido nenhuma informação significativa para a análise.

Critérios Dimensionais

O tijolo de solo-cimento, principal componente dimensional da técnica construtiva desenvolvida pela empresa SAHARA com o nome de Sistema Construtivo Modular, podem ser produzidos pelos seguintes tipos de prensas:

- Modelo Modular
- Modelo Mutirão
- Modelo Hobby

Tipo 1: Modelo Modular

Os tijolos produzidos por este tipo de prensa são caracterizados pelo sistema de encaixe nas faces horizontais do tijolo e pelos dois furos para a passagem de tubulações e confecção de pilaretes (Foto 6.11). São produzidos em três dimensões diferentes por três variantes deste mesmo modelo:

- Modular 10 x 20
- Modular 12,5 x 25
- Modular 15 x 30

Modular 10 x 20

Produz tijolos com as dimensões padronizadas de 10 x 20 x 5 cm e furos internos de 5 cm. Esta prensa permite, através de uma ferramenta que acompanha o equipamento, produzir o meio tijolo (10 x 10 x 5 cm) indicado para o encontro de paredes, evitando o corte do tijolo.

Modular 12,5 x 25

Produz tijolos nas dimensões 12,5 x 25 x 6,25 cm e furos internos de 6,66 cm. Produz o meio tijolo (12,5 x 12,5 x 6,25 cm).

Modular 15 x 30

Produz tijolos com as dimensões 15 x 30 x 7,5 cm com furos internos de 9 cm. Produz o meio tijolo (15 x 15 x 7,5 cm).

Tipo 2: Modelo Mutirão

Este tipo de prensa produz tijolos maciços de solo-cimento para assentamento com argamassas e com a troca de molde, também produz tijolos encaixáveis de solo-cimento. Esta prensa possui duas variantes:

- Modelo 10 x 21
- Modelo 11 x 23

O Modelo 10 x 21 produz tijolos com as dimensões de 10 x 21 x 5 cm. O Modelo 11 x 23 produz tijolos nas dimensões de 11 x 23 x 5 cm. Ambas permitem a produção do meio tijolo.

Tipo 3: Modelo Hobby

Produz somente tijolos maciços para assentamento com argamassa. Esta prensa possui duas variantes:

- Modelo 10 x 21
- Modelo 11 x 23

O Modelo 10 x 21 produz tijolos com as dimensões de 10 x 21 x 5 cm. O Modelo 11 x 23 produz tijolos nas dimensões de 11 x 23 x 5 cm. Ambas permitem a produção do meio tijolo.

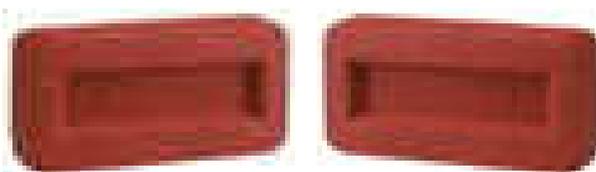
TIJOLOS / PRENSAS SAHARA		
Prensa	Dimensões l/c/h (cm)	Tipologia
Modular 10 x 20	10 x 20 x 5	Furos Circulares
Modular 12,5 x 25	12,5 x 25 x 6,25	Furos Circulares
Modular 15 x 30	15 x 30 x 7,5	Furos Circulares
Mutirão / Modelo 10 x 21	10 x 21 x 5	Maciço
Mutirão / Modelo 11 x 23	11 x 23 x 5	Maciço
Hobby / Modelo 10 x 21	10 x 21 x 5	Maciço
Hobby / Modelo 11 x 23	11 x 23 x 5	Maciço

Tabela 6.0.2 – Tabela com as características dos diversos tijolos de solo-cimento produzidos pelas prensas manuais SAHARA.

Obs.: Todas as prensas possibilitam a fabricação do meio-tijolo.

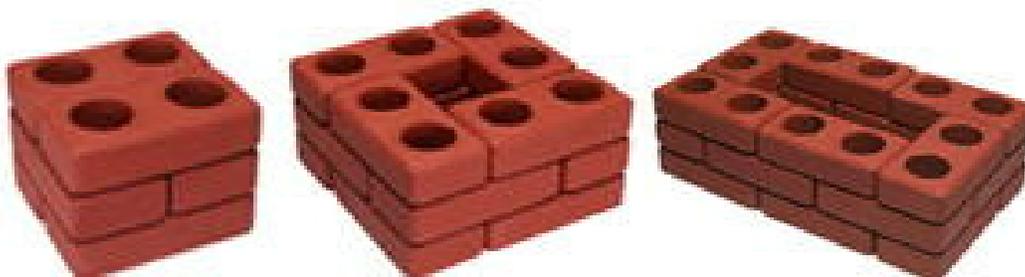


a) Tijolo Modular: 10x20x5 cm / 12,5x25x6,25 cm / 15x30x7,5cm.



Tijolos maciços de solo-cimento.

b)



Colunas (Coluna sólida e colunas vazadas).

c)



Parede reta e encontro de paredes (amarração).

Foto 6.11 – a) Tipologia dos componentes produzidos pelas prensas e utilizações. b) Colunas. c) Tipos de amarrações da parede.

Considerações sobre os Critérios Dimensionais

Diante dos dados acima descritos, pode-se concluir que os principais critérios observados para o controle dimensional dos diversos tijolos produzidos pelos diferentes tipos de prensa foram:

- Otimização das condições de acoplagem entre os tijolos;
- Melhor alinhamento e aprumo da parede;
- Economia de argamassa de assentamento;
- Redução de desperdícios;
- Sistematização do processo construtivo;

Não foram obtidas informações técnicas sobre os critérios dimensionais adotados que justificassem a definição e a origem das diferentes medidas dos tijolos produzidos pelos diversos modelos de prensas. É importante citar que foram feitos contatos ao escritório central e consultas ao material informativo fornecido pela empresa não sendo obtida nenhuma informação significativa para a análise.

Entretanto uma observação importante deve ser feita em relação à diversidade de dimensões estabelecidas e adotadas comercialmente para os tijolos produzidos pelos vários modelos de prensas da SAHARA. Não há uma preocupação com a correlação dimensional, mesmo entre as medidas estabelecidas para os tijolos produzidos pelas diferentes prensas SAHARA, dificultando a utilização dos diferentes tipos produzidos para uma mesma edificação, devido à incompatibilidade dimensional de suas interfaces, quanto menos com outros sistemas.

Outro fato importante a considerar diz respeito à terminologia utilizada pela empresa para designar a técnica construtiva utilizada para os tijolos produzidos pelas prensas Modelo Modular denominada de *Sistema Construtivo Modular* (SAHARA, Manual Informativo, 2001, p. 7).

Segundo definições encontradas no Dicionário Aurélio, a terminologia *Sistema Construtivo Modular* significa o conjunto de elementos, materiais que são utilizados para a construção que se relacionam dimensionalmente com uma medida padronizada estabelecida (módulo) (AURÉLIO, 1999).

Entretanto não foi constatada nenhuma referência concreta aplicada ao conceito intrínseco desta terminologia empregada na técnica construtiva durante a pesquisa, seja para a fase de projeto da edificação ou a utilização dos diferentes componentes empregados.

Citando ainda a norma brasileira como menção, NBR 5706 de dezembro de 1977, esta define como *Coordenação Modular* a técnica que permite relacionar as medidas de projeto com as medidas modulares através de um reticulado espacial modular de referência (ABNT,1977).

Sistema de Acoplamento

O sistema de união “contínua” utilizado para os tijolos produzido pelas prensas Modelo Modular, principal componente da técnica construtiva (Sistema Construtivo Modular), é realizado por um mecanismo de encaixe das faces horizontais do tijolo do tipo “macho e fêmea”.

As condições de união da parede com a fundação são feitas pelo assentamento dos tijolos sobre o baldrame, sapata corrida ou radier; e pelo engaste feito pelo transpasse da ferragem dos pilaretes e concretagem junto à fundação utilizada.

Segundo dados fornecidos pela empresa não há a necessidade de unir os tijolos através da aplicação de argamassa. O filete de argamassa utilizado para o assentamento tem a função de alinhar e corrigir eventuais irregularidades da parede (SAHARA, Manual Informativo, 2001).

O desenho do tijolo Modular possui uma pequena folga na junção em sua face horizontal (encaixe) para prevenir de fissuras ocasionadas pelo choque entre as superfícies dos tijolos, provocadas pela dilatação do material por ação térmica. Outro procedimento recomendado pela empresa para prevenir os efeitos da dilatação é de deixar uma folga entre os tijolos de 1 a 2 mm. O tijolo possui, ainda, frisos rebaixados em suas bordas para facilitar a união por fixação “contínua” (aderência) entre os materiais no acabamento. (SAHARA, Manual Informativo, 2001, p. 23).

A “amarração aérea” da parede é feita por um vigamento armado confeccionado em tijolos do tipo canaleta (encaixados à última fiada) que recebem as barras de ferro provenientes dos pilaretes. Esta solução de vigamento é utilizada no caso de não haver laje na construção.

No caso de construções com lajes, pode ser dispensado o vigamento superior e a união da parede com a mesma é feita pelo transpasse das barras de ferro sobre a última fiada, e depois são dobradas e fixadas à laje pela ação da concretagem que une o conjunto, pilaretes e lajes pré-fabricadas. Posteriormente, o telhado será apoiado sobre a parede e os oitões.

A acoplagem das esquadrias na parede é feita pelo método convencional através dos “chumbamentos” (fixação por cimentação / união do tipo “contínua”) dos

tacos na parede, e posteriormente é pregado o caixilho aos tacos (união por “pontos”). Em seguida os demais componentes da esquadria são fixados ao caixilho por pregos ou parafusos.

Os furos dos tijolos são utilizados para a passagem das tubulações na interface da parede com as instalações elétricas e hidráulicas. Para a acoplagem dos acessórios e conexões de instalações elétricas e hidráulicas, como caixas para tomadas e interruptores e além de conexões (curvas de 45° e joelhos), é utilizado o método convencional cortando o tijolo para permitir a mudança de direção do ramal ou o embutimento.

É importante citar que a aplicação de uma argamassa entre as juntas verticais e horizontais do tijolo tem apenas a função de calafetação, não contribuindo para a união dos tijolos e estabilidade da parede de forma significativa.

Considerações sobre o Sistema de Acoplamento

O sistema de acoplamento dos componentes da parede construída com a técnica construtiva desenvolvida pela empresa SAHARA e denominado Sistema *Construtivo Modular* tem como principal referência o tijolo produzido pelas prensas Modelo Modular. Os critérios analisados para as interfaces com os diferentes componentes e elementos construtivos da técnica são baseados em:

- Economia de argamassa para o assentamento dos tijolos;
- Intertravamento e estabilidade da parede;
- Rapidez para a montagem da alvenaria;
- Alinhamento e aprumo da parede;
- Diminuição dos desperdícios durante a obra;
- Sistematização do processo construtivo da parede;

Uma característica importante de ser analisada, diz respeito às condições de intertravamento e estabilidade da parede, proporcionada pelas condições de união entre os tijolos, conforme citado pela empresa. Segundo a empresa, a interligação dos tijolos em “múltiplos sentidos” se dá em toda a extensão da parede, descarregando os esforços de compressão nos pilaretes, e contribuindo para estabilidade da parede (SAHARA, Manual Informativo, 2001, p. 36).

Entretanto é importante ressaltar que mesmo as juntas na alvenaria, sendo intercaladas e o sistema de encaixe nas faces horizontais do tijolo, não existem condições de união por encaixe ou cimentação lateral entre os tijolos nos painéis de

fechamento da alvenaria e com os pilaretes. É preservada, ainda, uma distância de 1 a 2 mm entre os tijolos para prevenir os efeitos provocados pela dilatação térmica do material (fissuração provocada pelo choque entre os componentes por expansão) e para possibilitar melhor aderência do reboco ou rejuntamento (SAHARA, Manual Informativo, 2001, p. 22 e 23). É importante ressaltar, que a própria empresa cita a condição de instabilidade da parede ao recomendar que este procedimento poderá ser evitado em prol de uma melhor condição de estabilidade da parede (SAHARA, Manual Informativo, 2001, p.22).

A argamassa utilizada tem somente a função de corrigir irregularidades durante o assentamento do tijolo e calafetação das juntas de acabamento, não possuindo a função de união entre os blocos. Pode-se concluir, que essa distribuição dos esforços de compressão na parede é feita de forma incompleta e somente no sentido horizontal. É a contribuição do travamento dos tijolos dos painéis de fechamento da alvenaria no sentido vertical (face lateral dos tijolos) para esforços perpendiculares à parede, desconsiderada pela técnica construtiva desenvolvida.

Em visita a algumas construções realizadas com a técnica construtiva desenvolvida pela empresa por utilização das prensas, na cidade de Nova Friburgo, Estado do Rio de Janeiro, foi possível verificar a instabilidade da parede já concluída a esses esforços perpendiculares. Este fato é atribuído: ao sistema de acoplamento entre os tijolos realizados somente nas faces horizontais; a pouca quantidade da argamassa utilizada somente para a correção de irregularidades e calafetação; ao desenho do tijolo que permite uma folga nas faces horizontais para melhor aderência entre os materiais de acabamento; e a distância recomendada entre as faces verticais (laterais) dos tijolos para a atenuar os efeitos provocados pela dilatação térmica do material.

6.3.4 – Tijolo Prensado Idealizado pelo Prof. Mattone / Falcoltà di Architettura, Politécnico di Torino e a Universidade Federal da Paraíba

CrITÉrios para Dosagem da Mistura de Solo-Cimento

O solo recomendado para a mistura do tijolo prensado deve ter de 10% a 20% de argila; 10% a 20% de silte; 50% a 70% de areia; e ser isento de matéria orgânica. O teor da composição granulométrica terá influência na qualidade da mistura.

É importante que o solo apresente plasticidade e que seu limite de liquidez não seja excessivo, de preferência menor de 45%. Existem alguns tipos de argila como a

montmorilonita, que deve ser evitada por serem bem expansivos e necessitarem de maiores quantidades de cimento para a estabilização.

Foram definidos pelos pesquisadores alguns parâmetros determinantes para a qualidade da mistura e conseqüentemente para o tijolo. Estes podem ser de dois tipos (SIACOT, 2002):

- Parâmetros intrínsecos do material:
 - Tipo
 - Porcentagem de argila
 - Quantidade de areia
 - Distribuição da curva granulométrica

- Parâmetros físicos (que dependem do processo de fabricação):
 - Porcentagem de água
 - Pressão de compactação
 - Natureza e porcentagem de estabilizante
 - Cura

A qualidade ótima do tijolo é determinada pela porcentagem ideal de água e o grau de compactação aplicado ao material. Estes valores são baseados no valor máximo de densidade seca. Para determinar o valor desta grandeza, é feito um ensaio de laboratório para determinar a umidade natural do solo. Caso se conheça a umidade ótima do ensaio de compactação estática, será este valor considerado. A variável fica sendo o peso de terra a ser posto na prensa. Através da variação deste parâmetro, será pesado e medido o tijolo para obter o seu volume e conseqüentemente a densidade seca por meio da equação:

$$Y_d = P_w / [(1 + w) \cdot V]$$

Onde:

Y_d = Densidade seca

P_w = Peso do corpo de prova logo após a moldagem, ainda úmido.

W = Teor de água presente

V = Volume do tijolo

Não conhecendo a umidade ótima, são feitas variações na quantidade de água para a obtenção de um gráfico (com as variáveis da umidade do solo e quantidade de material a ser colocado na prensa). O pico mais alto de todas as curvas indica o teor ótimo de umidade e o peso do material a ser colocado na prensa (SIACOT, 2002). Para o cálculo do teor de água é descontada a água presente na terra durante a moldagem. Portanto a quantidade de água a ser utilizada na mistura será obtida pela fórmula (MATTONI, 2002):

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

Onde:

P_{ag} = Peso da 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

O teor de cimento indicado para a estabilização da mistura varia de 4% a 6%. A composição da argamassa a ser utilizada no assentamento dos tijolos será uma mistura de terra peneirada em uma malha de cerca de 2 mm e o teor de cimento em torno de 8% a 10% numa consistência pastosa quase fluída (SIACOT, 2002).

É importante ressaltar que foi preferível adotar pelos pesquisadores a terminologia *tijolos prensados de terra crua estabilizados com cimento ou tijolos de concreto de terra* em vez de tijolos de solo-cimento comumente empregado, devido à pressão de compactação aplicada ao material nos moldes da prensa que atinge cerca de 2 Mpa (SIACOT, 2002, p. 82).

Considerações sobre a Dosagem da Mistura

Os critérios utilizados para o estudo da dosagem da mistura para o tijolo podem ser resumidos em:

- Caracterização do solo (tipo)
- Composição granulométrica
- Limite de liquidez
- Limite de plasticidade

- Porcentagem de estabilizante
- Pressão de compactação
- Densidade seca após a compactação

De acordo com a pesquisa feita, não foram constatados quais os critérios adotados para estabelecer as porcentagens do estabilizante cimento recomendado para a mistura do tijolo e para a argamassa de assentamento. Também não foram encontradas considerações a respeito do índice ideal de água para a hidratação do cimento.

A respeito dos valores obtidos para as grandezas utilizadas para o cálculo de densidade seca e umidade, não foi possível constatar se os testes e ensaios laboratoriais realizados para a determinação destes foram “normalizados”.

Outro fato importante a ser citado é a utilização da terminologia *tijolos prensados de terra crua estabilizados com cimento ou tijolos de concreto de terra* em vez de tijolos de solo-cimento comumente empregado. A adoção de diferentes terminologias entre os pesquisadores, centros de pesquisas, e demais profissionais envolvidos com as técnicas construtivas de solo-cimento, segundo seus próprios critérios de análise, dificultam o desenvolvimento e a instituição de uma nomenclatura “universal” e normalizada para as tecnologias de solo-cimento.

Resistência Estrutural

A análise da resistência da parede e do tijolo desenvolvido pelo prof. Mattone são baseados em parâmetros estabelecidos pelos ensaios de resistência à tração indireta e à compressão simples. Estes ensaios são realizados segundo critérios estabelecidos pelo documento da École Nationale de Travaux Publics de l'Etat, Lyon, França, que foram validados pelo comitê técnico TC-EBM da RILEM (SIACOT, 2002, p. 88). A resistência à tração do tijolo é dada por:

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

F = força de ruptura

b = largura

h = espessura do tijolo

As condições de apoio da parede são feitas através do assentamento dos tijolos sobre o baldrame da fundação por meio de argamassa cimentícia e também

por cimentação da última fiada de tijolos à viga de respaldo no topo da parede. Segundo Mattone, devido ao controle de qualidade do tijolo é possível realizar construções com até três pavimentos com os blocos tendo função estrutural (SIACOT, 2002, p. 90).

É importante ressaltar que para a construção de casas populares, as paredes são consideradas como portantes aos esforços submetidos, sem os tijolos serem armados ou grauteados internamente. Somente sendo utilizado para a amarração no topo da parede (correspondente a altura das esquadrias) e apoio para o telhado, uma viga de concreto armado. Esta viga de concreto de amarração também funciona como uma verga para as esquadrias, devido ao seu prolongamento ao longo do topo destas.

As cargas incidentes sobre a parede consideradas para uma casa popular de um pavimento sem laje, para este caso em particular, são basicamente:

- Peso próprio da parede
- Peso do telhado

Diversos painéis de paredes com estes tijolos foram testados experimentalmente no Politécnico di Torino e também na Universidade Federal da Paraíba.

Considerações sobre a Resistência Estrutural

Sintetizando, os critérios considerados para análise da resistência estrutural da parede construída com o tijolo desenvolvido pelos pesquisadores foram

- Esforços de tração
- Esforços de compressão
- Número de pavimentos
- Cargas incidentes sobre a parede
- Altura da parede
- Condições de apoio

Entretanto é importante ressaltar que embora tenha sido apresentado o cálculo para determinar a resistência à tração do tijolo, o mesmo não foi apresentado para a resistência à compressão, bem como os parâmetros conceituais para a análise destes.

Desempenho Térmico

Não foram obtidos dados técnicos e informações através dos materiais bibliográficos consultados e contatos feitos, ou mesmo, menções a respeito deste critério para a análise do desempenho térmico da parede construída com o tijolo desenvolvido pelo prof. Mattone do Politécnico di Torino (Itália) e a Universidade Federal da Paraíba.

Critérios Dimensionais

O dimensionamento do projeto de arquitetura e demais projetos necessários para a construção da edificação com a técnica construtiva do tijolo idealizado pelo prof. Mattone em parceria com a UFPB tem como principal critério a utilização de números inteiros ou inteiros mais a metade do tijolo. Portanto os projetos são modulados dimensionalmente em função das medidas estabelecidas pelo tijolo.

O tijolo idealizado pelo prof. Mattone foi desenvolvido com base em estudos feitos sobre o tijolo que é fabricado pela empresa francesa ALTECH.

As dimensões do tijolo são 14 x 28 x 9,5 cm, sendo o seu comprimento o dobro de sua largura. O peso está em torno de 6,6 a 7 kg. Para a fabricação de meio-tijolos, necessários para a amarração de encontro de paredes foi desenvolvido um dispositivo que acoplado na prensa permite a sua confecção.

Segundo informações fornecidas pelo prof. Normando Perazzo da Universidade Federal da Paraíba, a adoção da medida de 14 cm para a espessura do tijolo foi utilizada, por este valor corresponder a uma parede de esbeltez relativamente baixa, conduzindo a uma alvenaria de boa rigidez (PERAZZO, 2002).

Considerações sobre os Critérios Dimensionais

Através de contatos com a Universidade Federal da Paraíba e pesquisas bibliográficas realizadas, não foram obtidos parâmetros claros a respeito dos critérios dimensionais adotados para o dimensionamento do tijolo, de projeto, e sua aplicabilidade no processo construtivo, nem a sua possível inter-relação dimensional com os demais componentes da construção para uma análise detalhada deste critério.

Sistema de Acoplamento

O sistema de acoplamento desenvolvido para o tijolo permite o intertravamento da parede através das condições de fixação do tipo “contínua” (macho e fêmea), nas faces horizontais e laterais do componente. Os tijolos se encaixam uns nos outros através das saliências, porém essas permitem pequenos deslocamentos que possibilitam a correção de verticalidade e linearidade da parede durante a construção. Os tijolos são unidos também, através da aplicação de uma pequena quantidade de argamassa durante o assentamento (SIACOT, 2002).

A união da parede com a fundação é feita através do assentamento dos tijolos sobre a fundação, por aplicação de argamassa na primeira fiada sobre o baldrame. A amarração no topo da parede é feito através de um vigamento de concreto armado, por sobre a última fiada. O sistema de acoplamento do tijolo (macho e fêmea) com suas saliências superiores permitem uma ancoragem eficiente com a viga de respaldo. As condições de união da cobertura com a parede são de apoio livre sobre a viga de respaldo e engastamento das terças no oitão.

Considerações sobre o Sistema de Acoplamento

O mecanismo de acoplamento desenvolvido para o tijolo, principal componente no estudo do sistema de acoplamento da técnica construtiva, se baseia nos seguintes critérios conforme descrito:

- Evitar desperdícios;
- Alinhar e aprumar a parede;
- Sistematizar o processo construtivo na etapa de execução da alvenaria;
- Minimizar o tempo de execução da alvenaria;
- Intertravar e estabilizar a parede;

O sistema de acoplamento desenvolvido para o tijolo idealizado pelo prof. Mattone fornece boas condições de união entre os mesmos e o intertravamento da parede. As condições de fixação do tipo “contínua” (macho e fêmea) utilizadas em suas faces horizontais superiores e inferiores, e também laterais através de reentrâncias e saliências proporcionam a estabilidade conjunta da parede.

Entretanto é importante ressaltar que soluções para a compatibilização associativa de acoplamento do tijolo com outros componentes intermediários, e/ou vice-versa, em interfaces com a parede construída com o tijolo não foram

apresentadas. Sendo o sistema de acoplamento entre os tijolos uma característica “isolada” da alvenaria sem considerar a sua interação geométrico-dimensional de seus contornos com os demais componentes, e até mesmo, condições possíveis de interconexões com diferentes sistemas construtivos.

6.4 – Considerações Gerais

6.4.1 – Tabelas

Avaliação dos Resultados da Análise dos Parâmetros

Os resultados obtidos com análise das técnicas construtivas sob os cinco parâmetros estabelecidos permite reunir dados relevantes para uma análise conclusiva sobre os aspectos possíveis de serem considerados para propiciar e possibilitar condições para o aperfeiçoamento das tecnologias de solo-cimento.

Para a sistematização dos resultados obtidos foram feitas tabelas para melhor interpretação destes. O primeiro grupo de tabelas refere-se aos dados coletados relacionados aos parâmetros analisados sobre as quatro técnicas construtivas, que estão agrupados em dois sistemas: painéis e alvenaria de solo-cimento. O segundo grupo refere-se ao levantamento dos resultados (tabulação) dos dados obtidos no primeiro grupo de tabelas. A legenda e as tabelas são descritas a seguir:

Legenda:

Item considerado = ■

Item parcialmente considerado = ○

Item desconsiderado e/ou não foram obtidas informações para análise = □

Obs.: Na técnica construtiva desenvolvida pela empresa SAHARA, serão analisados os componentes produzidos pelas prensas modelo Modular, tendo em vista que a técnica construtiva for desenvolvida para a utilização desses.

Tabelas / Grupo 1

DOSAGEM DA MISTURA				
Itens	CEPED	TIJOLITO	SAHARA	MATTONE
Crêterios Normalizados ABNT	○	□	□	○
Ensaio Laboratoriais Normalizados ABNT	○	■	□	□
Ensaio Empíricos	■	□	■	□

Tabela 6.1 – Dosagem da Mistura

Tabelas / Grupo 1

RESISTÊNCIA ESTRUTURAL				
Itens	<i>CEPED</i>	<i>TIJOLITO</i>	<i>SAHARA</i>	<i>MATTONE</i>
Crêterios Normalizados ABNT	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Flexibilidade de Par�metros de Dimensionamento	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Esforços de Compressão	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Esforços de Tra�o	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Ensaio Laboratoriais Normalizados ABNT	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Tabela 6.2 – Resist ncia Estrutural

Tabelas / Grupo 1

DESEMPENHO TÉRMICO				
Itens	<i>CEPED</i>	<i>TIJOLITO</i>	<i>SAHARA</i>	<i>MATTONE</i>
Crêterios Normalizados ABNT	■	□	□	□
Coeficiente de Condutibilidade Térmica	○	□	□	□
Capacidade de Absor�o Térmica da Parede	□	□	□	□
Ensaio Laboratoriais Normalizados ABNT	□	■	□	□

Tabela 6.3 – Desempenho Térmico

Tabelas / Grupo 1

CRITÉRIOS DIMENSIONAIS				
Itens	CEPED	TIJOLITO	SAHARA	MATSTONE
Crítérios Normalizados ABNT	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Medida Base (L / C / h)	214 cm (comprimento)	11 x 22 x 11 cm	10 x 20 x 5 cm 12,5 x 25 x 6,25 cm 15 x 30 x 7,5 cm	14 x 28 x 9,5 cm
Correlação Dimensional entre os Componentes	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Correlação Dimensional com outros Componentes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dimensionamento de Projeto (Modulação)	<input type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sistematização do Processo Executivo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Tabela 6.4 – Critérios Dimensionais.

Tabelas / Grupo 1

SISTEMA DE ACOPLAMENTO				
Itens	CEPED	TIJOLITO	SAHARA	MATSTONE
Cráterios Normalizados	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tipo de União (Painéis / Tijolos)	Contínua (macho e f�mea / compacta�o)	Contínua (macho e f�mea / ciment�o)	Contínua (macho e f�mea)	Contínua (macho e f�mea)
Compatibiliza�o Associativa entre os Componentes	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Compatibiliza�o Associativa com outros Componentes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ensaio Laboratoriais Normalizados	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Tabela 6.5 – Sistema de Acoplamento

Tabelas / Grupo 2

LEVANTAMENTO DOS RESULTADOS	
Itens	Porcentagem dos Resultados
<p align="center">Crêterios Normalizados para Análise dos Parâmetros (5 parâmetros)</p>	<p align="center">■ 0 % = Considerado.</p>
	<p align="center">○ 25 % = Parcialmente considerado.</p>
	<p align="center">□ 75 % = Desconsiderado /ou não foram obtidas informa�es para análise.</p>
<p align="center">Ensaio Laboratoriais Normalizados (5 parâmetros)</p>	<p align="center">■ 25 % = Considerado.</p>
	<p align="center">○ 6,25% = Parcialmente considerado.</p>
	<p align="center">□ 68,75% = Desconsiderado e/ou não foram obtidas informa�es para análise.</p>

Tabela 6.6 – Levantamento dos Resultados das Tabelas do Grupo1.

Tabelas / Grupo 2

LEVANTAMENTO DOS RESULTADOS	
Itens	Porcentagem dos Resultados
<p style="text-align: center;">Dosagem da Mistura</p> <p>Ensaio Laboratoriais Normalizados</p>	<p style="text-align: center;">■ 25 % = Considerado.</p>
	<p style="text-align: center;">○ 25 % = Parcialmente considerado.</p>
	<p style="text-align: center;">□ 50 % = Desconsiderado e/ou não foram obtidas informações para análise.</p>
<p style="text-align: center;">Dosagem da Mistura</p> <p>Ensaio Empíricos</p>	<p style="text-align: center;">■ 50 % = Considerado.</p>
	<p style="text-align: center;">○ 0 % = Parcialmente considerado.</p>
	<p style="text-align: center;">□ 50 % = Desconsiderado e/ou não foram obtidas informações para análise.</p>

Tabela 6.7 – Levantamento dos Resultados das Tabelas do Grupo1.

Tabelas / Grupo 2

LEVANTAMENTO DOS RESULTADOS	
Itens	Porcentagem dos Resultados
Resistência Estrutural Flexibilidade de Parâmetros de Dimensionamento	<input checked="" type="checkbox"/> 0 % = Considerado.
	<input type="checkbox"/> 0% = Parcialmente considerado.
	<input type="checkbox"/> 100 % = Desconsiderado e/ou não foram obtidas informações para análise.
Resistência Estrutural Esforços de Compressão	<input checked="" type="checkbox"/> 0 % = Considerado.
	<input type="checkbox"/> 25 % = Parcialmente considerado.
	<input type="checkbox"/> 75% = Desconsiderado e/ou não foram obtidas informações para análise.

Tabela 6.8 – Levantamento dos Resultados das Tabelas do Grupo1.

Tabelas / Grupo 2

LEVANTAMENTO DOS RESULTADOS	
Itens	Porcentagem dos Resultados
Resistência Estrutural Esforços de Tração	<input checked="" type="checkbox"/> 25 % = Considerado.
	<input type="checkbox"/> 0 % = Parcialmente considerado.
	<input type="checkbox"/> 75 % = Desconsiderado e /ou não foram obtidas informações para análise.
Desempenho Térmico (4 Técnicas Construtivas)	<input checked="" type="checkbox"/> 6,25 % = Considerado.
	<input type="checkbox"/> 12,5 % = Parcialmente considerado.
	<input type="checkbox"/> 81,25 % = Desconsiderado e/ou não foram obtidas informações para análise.

Tabela 6.9 – Levantamento dos Resultados das Tabelas do Grupo1.

Tabelas / Grupo 2

LEVANTAMENTO DOS RESULTADOS	
Itens	Porcentagem dos Resultados
<p>Critérios Dimensionais</p> <p>Dimensionamento de Projeto (Modulação)</p>	<p><input checked="" type="checkbox"/> 25 % = Considerado</p>
	<p><input type="checkbox"/> 25% = Parcialmente considerado.</p>
	<p><input type="checkbox"/> 50 % = Desconsiderado e /ou não foram obtidas informações para análise.</p>
<p>Critérios Dimensionais</p> <p>Correlação Dimensional entre os Componentes</p>	<p><input checked="" type="checkbox"/> 25 % = Considerado.</p>
	<p><input type="checkbox"/> 0% = Parcialmente considerado.</p>
	<p><input type="checkbox"/> 75 % = Desconsiderado e/ou foram não obtidas informações para análise.</p>

Tabela 6.10 – Levantamento dos Resultados das Tabelas do Grupo1.

Tabelas / Grupo 2

LEVANTAMENTO DOS RESULTADOS	
Itens	Porcentagem dos Resultados
<p>Critérios Dimensionais</p> <p>Sistematização do Processo Construtivo</p>	<p><input checked="" type="checkbox"/> 100% = Considerado.</p>
	<p><input type="checkbox"/> 0 % = Parcialmente considerado.</p>
	<p><input type="checkbox"/> 0% = Desconsiderado e /ou não foram obtidas informações para análise.</p>
<p>Sistema de Acoplamento</p> <p>Compatibilização Associativa entre os Componentes</p>	<p><input checked="" type="checkbox"/> 25 % = Considerado.</p>
	<p><input type="checkbox"/> 0% = Parcialmente considerado.</p>
	<p><input type="checkbox"/> 75 % = Desconsiderado e/ou foram não obtidas informações para análise.</p>

Tabela 6.11 – Levantamento dos Resultados das Tabelas do Grupo1.

6.4.2 – Análise dos Resultados

Tabelas 6.6 e 6.7

Os critérios normalizados e os ensaios de laboratórios foram pouco considerados pelas instituições de pesquisas, empresas e construtoras para a análise dos diversos parâmetros necessários para a fundamentação científica dos resultados obtidos por estas, a respeito de suas técnicas construtivas (Tabela 6.6). Esta consideração é atribuída a dois aspectos: a falta de normas específicas sobre tecnologias de solo-cimento que possibilite a análise dos diversos parâmetros necessários para a fundamentação científica destes, e a necessidade da padronização destas normas para a sua universalização.

Outro aspecto relevante diz respeito à necessidade da padronização dos corpos de prova dos ensaios, bem como às metodologias aplicadas e às condições físicas e químicas para a sua realização, tendo como critério para a elaboração desse as características intrínsecas da mistura utilizada.

Em relação aos ensaios empíricos para a dosagem da mistura de solo-cimento (Tabela 6.7), foi verificado que a metade dos casos analisados a consideram como item relevante para a constatação das características e propriedades da mistura. Comparando os resultados entre este item com o de Ensaios Laboratoriais Normalizados na mesma tabela, conclui-se que os ensaios práticos muitas vezes realizados em campo sem base científica e baseados em critérios, muitas vezes, subjetivos de análise foram mais considerados pela maioria dos casos analisados que os próprios ensaios de laboratórios normalizados; o que demonstra (para estes casos específicos) a falta de dados científicos mensuráveis para a determinação da dosagem da mistura nas técnicas construtivas de solo-cimento.

É importante citar que não foram obtidas informações sobre a possibilidade dos diversos ensaios empíricos citados pelos casos analisados terem sido fundamentados cientificamente e correlacionados, de forma aproximada, com os critérios subjetivos dos ensaios empíricos.

Tabelas 6.8 e 6.9

As tabelas 6.8 e 6.9 abordam alguns itens considerados para análise da resistência estrutural da parede. O primeiro item relacionado diz respeito à flexibilidade dos parâmetros de dimensionamento das paredes nas técnicas construtivas, constatando-se que este item não é considerado pelos casos analisados. Os critérios

adotados para a realização do cálculo de dimensionamento da parede são específicos e particulares, em relação às tipologias arquitetônicas, esforços estruturais, condições de apoio e cargas incidentes sobre a parede, e estabelecidos pelas instituições de pesquisas, empresa ou construtora durante o desenvolvimento das técnicas construtivas.

A observação deste dado reflete a natureza “estanque” da escolha dos critérios para o dimensionamento da parede, o que conseqüentemente dificulta a aplicação de determinadas técnicas construtivas em condições de pluralidade de variáveis arquitetônicas e estruturais.

Os esforços de compressão e tração são dois parâmetros para o dimensionamento dos esforços estruturais da parede pouco considerados. Os esforços de compressão foram parcialmente utilizados para o dimensionamento dos painéis. Entretanto os esforços de tração foram desconsiderados. Com exceção à técnica construtiva do tijolo idealizado pelo prof. Mattone, onde os esforços de tração foram considerados como parâmetro para análise da resistência estrutural da parede. Apesar dos esforços de compressão simples serem citados como parâmetro para a análise estrutural da parede não foram obtidos dados técnicos a respeito deste item para análise. Em relação aos demais casos analisados não foram obtidos dados técnicos para análise.

Dois aspectos conclusivos são observados a respeito desta análise: os parâmetros básicos para o estudo da resistência estrutural em alguns casos, não são considerados completamente ou são parcialmente considerados, o que demonstram a adoção de critérios incompletos para análise e dimensionamento estrutural da parede por algumas técnicas construtivas de solo-cimento, como também a dificuldade e a falta de disponibilização de acesso aos dados técnicos sobre este parâmetro para alguns casos analisados.

Na tabela 6.9, ainda é abordado o levantamento dos resultados referentes ao desempenho térmico das paredes construídas com as quatro técnicas construtivas de solo-cimento. Foi constatado, conforme a análise dos resultados, que este parâmetro é pouco considerado pelos casos descritos. Este fato pode ser atribuído à falta de normas específicas e ensaios laboratoriais normalizados para avaliar esta característica da parede de solo-cimento em particular, à falta da disponibilização de acesso aos dados técnicos relativos aos ensaios realizados, como também para alguns casos, à desconsideração da importância da análise científica deste parâmetro para a técnica construtiva.

Tabelas 6.10 e 6.11

O item de dimensionamento (modulação) de projeto do parâmetro analisado sobre os critérios dimensionais das técnicas construtivas, teve a metade da porcentagem dos resultados considerada este item e a outra metade desconsiderada a sua importância e/ou não fornecido informações “claras” e precisas sobre este parâmetro pelos casos analisados. Entretanto é importante ressaltar que da metade dos resultados sobre os casos analisados consideraram a importância deste item, 25% o considerou totalmente e os outros 25% o considerou parcialmente, ou seja, de forma incompleta.

Diante desses dados constataram-se três situações distintas de análise. A primeira diz respeito a uma aplicação incompleta desse critério, devido à falta de um conhecimento mais aprofundado relativo a esta “ferramenta” de projeto para alguns casos analisados. Na segunda situação comprova-se o uso, apesar da adoção de critérios próprios e “isolados” de dimensionamento por parte de algumas técnicas construtivas, desconsiderando a norma específica existente para este assunto (Coordenação Modular da Construção / NBR 5706 – Dez/1977). Por último a interpretação equivocada de sua terminologia bem como a sua aplicação.

Outro fato importante a ser considerado, diz respeito aos critérios dimensionais normalizados da ABNT. Mais da metade desconsiderou as normas existentes sobre o assunto e o único caso que considerou a adotou parcialmente somente em relação à espessura de acabamento (emboço e reboco) da parede acabada.

A diversidade de medidas base adotadas para os critérios dimensionais das técnicas construtivas é constatada na tabela 6.4 do Grupo 1 (segundo item), que pode ser atribuída aos critérios particulares adotados pelos diversos casos, desconsiderando as normas existentes sobre o assunto e o valor do módulo de um decímetro adotado pela norma (NBR 5706 – Dez/1977).

O item correlação dimensional entre os componentes é quase que totalmente desconsiderado pelos casos analisados, só encontrando a preocupação na inter-relação dimensional entre a medida base e os diversos componentes, bem com entre os diferentes componentes em um único caso específico, entretanto de forma estanque (ciclo fechado).

Um aspecto inusitado é observado no item Sistematização do Processo Construtivo na tabela 6.11 do Grupo 2. Todos os casos analisados consideraram este item relevante e característico de sua técnica construtiva como parâmetro para a análise de critérios dimensionais. Esta conclusão está relacionada ao fato de que a adoção de uma medida base mesmo para um único componente na técnica

construtiva, embora sem adotar critérios dimensionais normalizados e completos, possibilita uma maior exigência no controle dimensional de produção e, conseqüentemente, melhores condições de acoplamento dos componentes e execução da parede, proporcionando a minimização de custo de materiais, como argamassas de assentamento, tempo de execução da parede e desperdícios de produção e de execução durante a obra.

A compatibilização associativa entre os componentes na tabela 6.11 (Grupo 2) foi considerada somente por uma técnica construtiva, que conseqüentemente, apresentava melhores condições de correlação dimensional entre os seus componentes, o que demonstra que a correlação dimensional é um aspecto intrinsecamente relacionado com a compatibilização associativa entre componentes.

7 – CONCLUSÕES

7.1 – Conclusões Finais e Recomendações

Durante o desenvolvimento de toda a pesquisa e, mais efetivamente, durante o estudo de casos realizado sobre as tecnologias de solo-cimento, classificadas em dois sistemas construtivos (painéis e alvenaria), constataram-se questões relevantes para serem abordadas e observações admissíveis e propícias ao aperfeiçoamento das tecnologias de solo-cimento, como também para a sua inclusão efetiva no grupo das tecnologias convencionais e usuais da construção.

A diversidade de critérios que são adotados para a análise dos vários parâmetros determinantes da qualidade das tecnologias de solo-cimento por instituições de pesquisas, empresas e construtoras no Brasil, assim como também em outros países, demonstra a necessidade cada vez maior de serem adotadas normas padronizadas e universalizadas que possibilitem a redução da grande quantidade de resultados científicos obtidos, bem como a sua validação. Os critérios adotados para análise são muitas vezes utilizados de forma incompleta, sem atender a todas as especificações necessárias para o diagnóstico do parâmetro.

Os ensaios de laboratórios estão relacionados diretamente com a necessidade da adoção de normas específicas e completas para as tecnologias de solo-cimento. Algumas normas, critérios e métodos utilizados para o estudo e a análise do solo-cimento, não estão relacionados diretamente com o próprio material ou a efetiva utilização que se dará a este. São adaptações, muitas vezes, de procedimentos de ensaios de laboratórios ou de critérios utilizados para outros tipos de materiais, aplicações ou técnicas construtivas (ver sub-itens 5.1.1 e 5.1.2).

A adoção de metodologias e corpos de provas padronizados para ensaios de laboratórios, possibilita condições de análise comparativa entre as tecnologias construtivas de solo-cimento e também entre outras técnicas e materiais.

Outro aspecto importante analisado, diz respeito aos ensaios empíricos descritos. Como visto, muitos destes ensaios não possuem validade científica, por serem baseados em critérios subjetivos de comprovação de resultados (ver sub-item 3.3.2). Entretanto deve ser considerada a sua utilidade de aplicação para casos onde os ensaios laboratoriais não são possíveis de serem realizados ou inviáveis sob o ponto de vista econômico.

O desenvolvimento de testes ou ensaios empíricos padronizados e normalizados inter-relacionados (de forma aproximada) com critérios de análise e

metodologias científicas adotadas em ensaios de laboratórios, norteados por limites de segurança pré-estabelecidos, podem tornar mais válidos e confiáveis os resultados apontados por estes tipos de ensaio.

Muitas das pesquisas realizadas sobre as tecnologias de solo-cimento possuem terminologias particulares desenvolvidas pelos próprios pesquisadores ou influenciadas por fatores locais característicos da técnica. Este aspecto impede uma melhor compreensão e muitas vezes confunde a interpretação de um termo utilizado para designar, por exemplo, uma determinada propriedade do material, pelo fato de existirem várias conotações diferentes para esse mesmo termo.

O processo de normalização das tecnologias de solo-cimento possibilita a oportunidade de criar nomenclaturas próprias e padronizadas proporcionando condições de universaliza-las. Entretanto deve ser ressaltada a necessidade da participação conjunta de todos os protagonistas envolvidos (centros de pesquisas, instituições, profissionais) na discussão.

A normalização de ensaios e critérios para análise de parâmetros está vinculada diretamente à adoção de uma medida padronizada universal pelos sistemas construtivos de solo-cimento, valor este já estabelecido pela norma de um decímetro, como critério para o controle e a padronização de dados técnicos, e a análise comparativa entre as tecnologias de solo-cimento e outras (ver sub-item 5.2.1/ pg. 88).

Existe uma diversidade de critérios dimensionais adotados para as tecnologias de solo-cimento, onde as medidas base são estabelecidas por um único componente. Desta maneira, as dimensões dos demais componentes da construção devem ser adaptados às medidas impostas pelas medidas base desse componente, sem propensão a possíveis interconexões com outras técnicas construtivas. Em outra situação, o elemento construtivo dimensionado submetido a esse critério sofrerá adaptações nas interfaces com outros elementos construtivos e componentes que não possuam compatibilidade de medidas. As duas situações são suscetíveis de gerar desperdícios e onerar o custo da obra decorrente da adoção de critérios dimensionais “hierárquicos” em função de um único componente para o projeto e construção.

A medida de 10 cm estabelecida pela norma NBR 5706 – Dez/1977 considera este valor como a base, não só para o dimensionamento de um único componente, mais para todos os projetos, componentes, elementos construtivos e demais intervenções necessárias à construção de uma edificação. Desta forma há a correlação dimensional da edificação como um todo e não em “partes isoladas” desta.

Essa característica das tecnologias de solo-cimento é observada em outras técnicas atuais. Devido à diversidade de medidas adotadas pelas técnicas construtivas, indústrias de componentes e profissionais de todos os níveis, não há a

correlação dimensional, ou melhor, o “diálogo entre as medidas” na edificação, gerando o que se costumou denominar de desperdícios de materiais.

Uma das vertentes dos desperdícios de materiais na obra é consequência dos “rasgos”, “cortes”, “furos”, adaptações e improvisos necessários a serem feitos para haver o acoplamento entre os componentes.

As condições ótimas de união entre componentes têm que estar relacionadas diretamente com as condições de compatibilização geométrico-dimensional dos contornos entre os componentes.

A correlação dimensional a partir de medidas inter-relacionadas propicia condições de sistematização do processo de produção prevendo e desenvolvendo métodos construtivos menos custosos e mais eficientes para a construção de uma edificação. Esse fato é relacionado à otimização das condições de análise e estudo de novas soluções construtivas possibilitadas pela padronização de medidas e ensaios laboratoriais normalizados, resultando no controle seguro sobre parâmetros relativos ao desempenho da técnica construtiva.

O aperfeiçoamento das tecnologias de solo-cimento está vinculado intrinsecamente, com a necessidade da utilização de normas já existentes, como a norma de Coordenação Modular da construção da ABNT (correlação de medidas), e a formulação de novas normas específicas sobre o material.

Os resultados da adoção de procedimentos normalizados refletem em todo processo do desenvolvimento de uma edificação, proporcionando condições para a otimização das etapas de: Planejamento e Projeto; Produção; e Processo Construtivo.

As técnicas construtivas convencionais, hoje, cada vez mais, adotam procedimentos racionalizados que permitam inseri-las, progressivamente, em um contexto de industrialização da construção. Ciribini define como sendo método de industrialização, as diversas modalidades de produção baseadas em processos organizados de natureza repetitiva, e nos quais a variabilidade incontrolável e casual de cada etapa de trabalho, característicos da produção artesanal, são substituídas por procedimentos pré-determinados de uniformidade e continuidade executiva, característicos de operações de produção parcial ou totalmente mecanizadas (citado por ROSSO, 1980).

A inserção das tecnologias de solo-cimento no processo de industrialização da construção “passa”, indubitavelmente a priori, pelo desenvolvimento de normas cada vez mais específicas, bem como a sua aplicação e difusão em todo o setor da construção civil, proporcionando cada vez mais, condições propícias para o

desenvolvimento de procedimentos racionalizados e operações sistematizadas nas várias etapas da construção da edificação (Fluxograma 6.1).

Durante a análise das tecnologias de solo-cimento, pode ser constatado que para alguns critérios não foram obtidas informações ou estas eram incompletas e imprecisas, não sendo possível constatar a sua validade científica para análise. Este fato é atribuído a dificuldade de acesso às pesquisas desenvolvidas por entidades, instituições e empresas, e a falta de disponibilidade destas informações para o estudo e o aperfeiçoamento de novas pesquisas tecnológicas sobre os sistemas construtivos de solo-cimento.

Este dado desperta a atenção para a necessidade de uma melhor intercambialidade entre as pesquisas tecnológicas de solo-cimento desenvolvidas no país de forma a propiciar o fomento necessário ao aperfeiçoamento destas. O desenvolvimento científico e tecnológico é realizado pela “construção” gradativa do conhecimento adquirido sobre um determinado assunto, e para que isto ocorra, é necessário o compartilhamento.

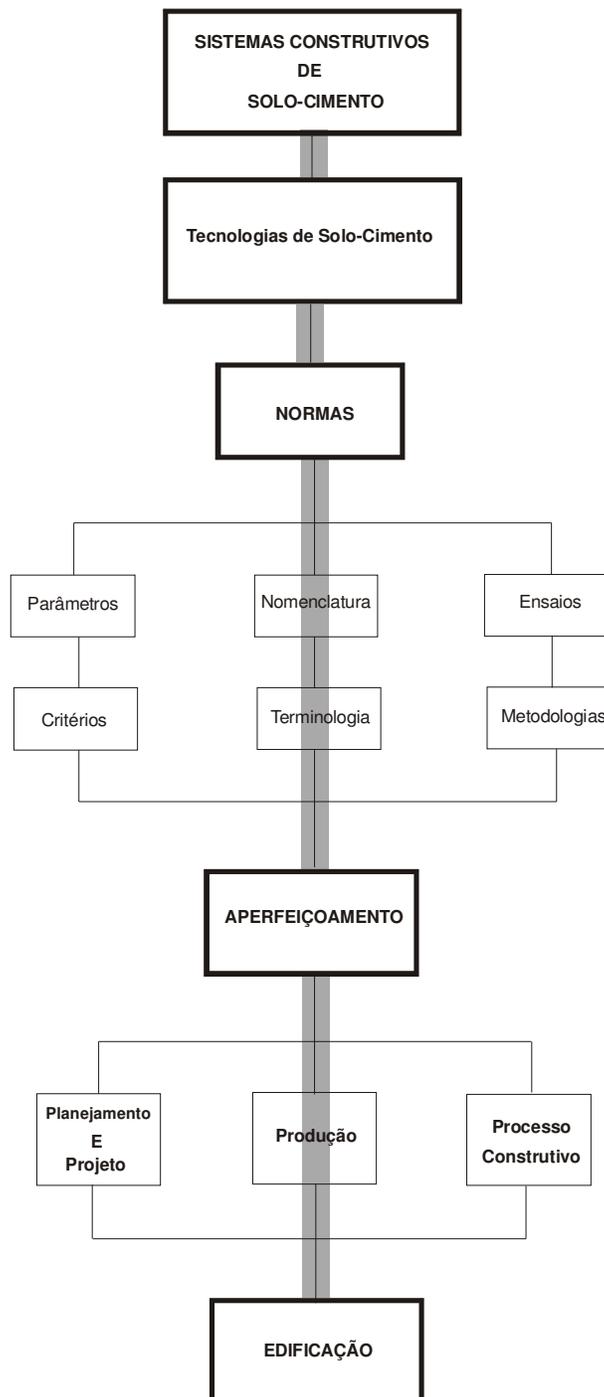
Outro fator dificultador da difusão das tecnologias de solo-cimento, embora não seja técnico, está vinculado a pré-conceitos subjetivos relacionados ao uso das técnicas tradicionais de terra (pau-a-pique, taipa de pilão e adobe) pelas populações mais carentes e de menor poder aquisitivo, sem recursos para a construção de moradias, principalmente em zonas rurais.

Esta conotação a respeito das tecnologias de terra utilizada muitas vezes de forma “inconsciente” por profissionais da construção civil, bem como pela própria população, se estabeleceu com o tempo como um pré-conceito que vincula o uso da terra como material de construção, ao caráter simplório desprovido de conforto e segurança, menos “nobre” das construções de baixo custo.

O estigma do retrocesso tecnológico vinculado ao primitivismo das tecnologias mais rudimentares de terra utilizada pelo homem no passado, também estimula os pré-conceitos a respeito do material e do escopo de suas tecnologias construtivas. Muitas vezes este estigma também relaciona o uso do material a efeitos estéticos e arquitetônicos incomuns e exóticos que contribui para o caráter excludente das tecnologias de solo-cimento na construção civil.

Esta conotação se torna equivocada diante das diferentes e flexíveis aplicações dada ao material desde construções simples até edificações com padrões estéticos refinados e funcionais diversificados (Fotos 7.1 e 7.2), como descrito ao longo do trabalho. A mesma analogia pode ser feita durante toda a história da humanidade, onde o uso diversificado da terra como material de construção atendia a diferentes

“castas sociais” e padrões de conforto em diversas culturas no mundo, desde moradias simples até palácios suntuosos (ver item 2.1).



Fluxograma 6.1 – Procedimentos para o Aperfeiçoamento Tecnológico de Edificações de Solo-Cimento.

O uso das tecnologias de solo-cimento em diferentes tipologias arquitetônicas e padrões estéticos, junto com outras técnicas construtivas, desempenhando uma função específica na edificação determinada pelo projetista, demonstra o seu caráter intercambiável com outras tecnologias construtivas (ver Fotos 3.1 a 3.4, p. 31 a 33).

O solo-cimento está longe de ser uma solução “milagrosa” para solucionar o déficit habitacional no país, entretanto as suas potencialidades relevantes já conhecidas como material de construção e tecnologia, poderiam ser mais bem exploradas pelos profissionais da construção por meio de um uso diversificado e amplo, através de uma “ótica” de industrialização. As considerações apresentadas apontam possíveis “caminhos” para o aperfeiçoamento das tecnologias de solo-cimento. “Caminhos” estes já percorridos por diversas outras tecnologias como o concreto armado ou o aço, até serem absorvidas pelo “universo da construção” e consideradas como convencionais e usuais pela construção civil.



Foto 7.1 – Casa construída utilizando uma combinação técnica e estética de diferentes materiais: paredes de terra estabilizada, pedra e vidro – Mandurah / Austrália.



Foto 7.2 – Igreja construída utilizando técnica construtiva de terra (Rammed Earth).

Margaret River / Austrália.

8 – BIBLIOGRAFIA

FATHY, Hassan. **Construindo com o Povo**. Editora Salamandra / USP. São Paulo, 1980.

BARDOU, Patrick, ARZOUMANIAN, Varoujan. **Arquitecturas de Adobe**. Editorial Gustavo Gili, S.A.. Barcelona, 1979.

MINKE, Gernot. **Manual de Construcción en Tierra**. La Tierra como Material de Construcción y sus Aplicaciones en la Arquitectura Actual. Editorial Nordan-Comunidad. Montevideo, Uruguay. Agosto de 2001.

CENTRO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO - CEPED. PROGRAMA THABA – Camaçari / BA. **Manual de Construção com Solo-Cimento**. São Paulo, 1984.

CENTRO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO – CEPED. **Cartilha para Construção de Paredes Monolíticas em Solo-Cimento**. CEPED / BNH-DEPEA. 4ª Edição revista e ampliada. Rio de Janeiro, 1985.

NEVES, Célia Maria Martins. **Inovações Tecnológicas em Construção com Terra na Ibero-América**. CEPED – Centro de Pesquisas e Desenvolvimento. BA. Disponível na Internet via correio eletrônico: cneves@ufba.br. Arquivo consultado em novembro de 2001.

BNH-DEPEA *et al.* **Uniformização das Técnicas de Aplicação do Solo-Cimento na Construção Habitacional**. BNH-DEPEA. Rio de Janeiro, 1985.

BAPTISTA, Cyro de Freitas Nogueira. **Pavimentação**. Tomo II : Compactação dos Solos no Campo; Camadas de Base; Estabilização dos Solos. 4ª Edição. Editora Globo. Rio de Janeiro, 1986.

MONTORO, Paulo. **Como Construir Paredes de Taipa**. Publicação: ILAM, Instituto Latino Americano / Arquiteto Paulo Montoro e Associados. São Paulo. 1994.

OTAZZI, P.G. *et al.* **Sistematización del Uso de La Tierra en Vivendas de Interés Social**. Edição Red. XIV. A HABITERRA - CYTED. CD-Rom. La Paz / Bolívia. Agosto de 1995.

LEITÃO, Gerônimo Emílio Almeida. **Tecnologias Construtivas Alternativas e Programas Habitacionais de Interesse Social: O Uso do Solo-cimento em Assentamentos Rurais no Estado do Rio de Janeiro**. Tese de mestrado – UFRJ / FAU-PROARQ. Rio de Janeiro, junho de 1993.

LACERDA, Wharrysson. E do Barro Fizeram-se Casas. **Revista Arquitetura e Construção**. Editora Abril. nº 8/Agosto de 98. p. 30-39.

LIMA, Marco Aurélio de, MYRRHA. **Guia de Construções Rurais: à Base de Cimento**. ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland). São Paulo.

LACERDA, Wharrysson. Planeta Terra. **Revista Arquitetura e Construção**. Editora Abril. nº 8/Agosto de 98. p. 40-43.

BADC, Belgian Administration for Development Cooperation. **Building with Earth**. Dimension 3. Bimonthly Review issued by the Information Service of the Belgian Administration for Development Cooperation / nº 4. Brussels / Belgium. July-August, 1985.

I SIACOT. Seminário Ibero-Americano de Construção com Terra (vários). **Anais**. Edit. C. Neves; C. Santiago. Projeto PROTERRA. Salvador, 2002.

TAVEIRA, Eduardo Saliviar Nogueira e. **Construir, Morar, Habitar: O Solo-Cimento no Campo e na Cidade**. Editora ÍCONE Ltda. São Paulo.

ABCTerra (Associação Brasileira dos Construtores de Terra). **Integração Latino-Americana pela Terra**. Folder/BIA 99.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 8491: **Tijolo Maciço de Solo-Cimento / Especificações**. Abril de 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 8545: **Execução de Alvenaria sem Função Estrutural de Tijolos e Blocos Cerâmicos / Procedimento**. Julho de 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 10832: **Fabricação de Tijolo Maciço de Solo-Cimento com a Utilização de Prensa Manual / Procedimento**. Novembro de 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 10833: **Fabricação de Tijolo Maciço e Bloco Vazado de Solo-Cimento com a Utilização de Prensa Hidráulica / Procedimento**. Novembro de 1989.

BRASILEIRO, Alice *et al.* **Novos Estudos sobre a Questão da Normalização Brasileira**. Trabalho da Disciplina: Coordenação Modular da Construção. Mestrado em Arquitetura. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo / UFRJ. Rio de Janeiro, 1997.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de Construção / Volume 1**. LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. / Rio de Janeiro, 1985.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de Construção / Volume 2**. LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. / Rio de Janeiro, 1985.

LENGEN, Johan Van. **Manual do Arquiteto Descalço**. TIBÁ/1999

COSTA, Lucio. **Arquitetura**. Biblioteca Educação é cultura. Editora Bloch / FENAME. Rio de Janeiro, 1980.

RIBEIRO, Luís César de Queirós, PECHMAN, Robert Moses. **O que é Questão da Moradia**. Editora Brasiliense / Nova Cultural. São Paulo, 1985.

UMBERTO, Eco. **Como se Faz uma Tese**. Editora Perspectiva. São Paulo, 2000.

RUSSO, Mariza. **Manual para Elaboração e Normalização de Dissertações e Teses**. SiBI / UFRJ. Rio de Janeiro. 1997.

BRUNA, Paulo J.V. **Arquitetura, Industrialização e Desenvolvimento**. Perspectiva – 1983.

ARANTES, Pedro Fiori. **Arquitetura Nova: Sérgio Ferro, Flávio Império e Rodrigo Lefèvre, de Artigas aos Mutirões**. Editora 34 / 1^o edição. São Paulo, 2002.

SOUZA de, Roberto. Inovação Tecnológica, Desempenho e Qualidade. **Revista Sistemas Construtivos**. nº 86/1987. p. 9 e 10.

AYMAT, Carlos. **Patología y Rehabilitación de Cajones de Tapial**. Disponível na Internet: <http://www.arquitectura-tecnica.com/ARTICULO15.htm>. Arquivo consultado em agosto de 2001.

ESPÍ, Mariano Vázquez. **Construcción e Impacto sobre El Ambiente**: El Caso de La Tierra y otros Materiales. Departamento de Estruturas de Edificações/Universidade Politécnica de Madrid – Espanha. Disponível na internet via: <http://www.elistas.net/lista/arqui-terra/ficheros>. Arquivo consultado em junho de 2001.

ROSSO, Teodoro. **Racionalização da Construção**. FAU/USP. São Paulo, 1980.

ROSSO, Teodoro. **Teoria e Prática da Coordenação Modular**. Apostila da disciplina. Curso de Pós-Graduação / FAU-USP. São Paulo, 1976.

MANDOLESI, Enrico. **Edificación**: El Proceso de Edificación, La Edificación Industrializada, La Edificación del Futuro. CEAC – Ediciones CEAC. Barcelona / Espanha, 1981.

CAPORIONI, Garlatti, Tenca-Montini. **La Coordinación Modular**. Editorial, Gustavo Gili, S.A.. Barcelona / Espanha, 1971.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Catálogo de Processos e Sistemas Construtivos para Habitação**. Divisão de Engenharia Civil, Agrupamento de Componentes e Sistemas Construtivos. São Paulo, 1998.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de Tipologias de Projeto e de Racionalização das Intervenções por Ajuda-Mútua**. Divisão de Edificações. São Paulo, 1988.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Manual de Orientação para Execução Racionalizada de Instalações em Intervenções por Ajuda-Mútua**.

Instalações Hidráulico-Sanitárias. Divisão de Edificações. IPT/DEPEA-CEF. São Paulo, 1989.

SAHARA. O Tijolo Ecológico e o Sistema Construtivo Modular. **Manual Informativo Ilustrado – Tecnologia SAHARA**. São Paulo, 2001.

SAHARA. O Solo-Cimento na Fabricação do Tijolo Modular. **Manual Informativo Ilustrado – Tecnologia SAHARA**. São Paulo, 2001.

SAHARA. SAHARA: Em Harmonia com a Natureza. **Catálogo de Equipamentos (prensas)**. São Paulo, 2001.

MONTEIRO, Márcio et all. **Novos Estudos sobre a Questão da Normalização Brasileira**. Trabalho de Mestrado. Disciplina Coordenação Modular da Construção. UFRJ-FAU/PROARQ. Maio de 1997.

RIBEIRO, Marcellus Serejo. **A industrialização como Requisito para a Racionalização da Construção**. Tese de mestrado. UFRJ / FAU – PROARQ. Rio de Janeiro, 2002.

MICHALKA, Camilo. **Coordenação Modular**. Apostila da Disciplina do Curso de Mestrado: Materiais, Componentes e Sistemas Construtivos. UFRJ / FAU – PROARQ. Rio de Janeiro, 1996.

ALVARENGA, Maria Auxiliadora Afonso. **Parâmetros de Projetos para Edificações Bioclimáticas Utilizando Adobes na Região de Araxá**: Avaliação da Inércia Térmica em Paredes de Adobe e Tijolo Maciço. Tese de Mestrado. UFRJ / FAU – PROARQ. Rio de Janeiro, 1990.

SANTOS, Mauro César de Oliveira. **Habitação Popular no Brasil**: Solução pela Autoconstrução, Um processo de Racionalização. Tese de mestrado. UFRJ / FAU – PROARQ. Rio de Janeiro, 1990.

COSTA, Carlos Eduardo da Silva. **Habitação como Instrumento do Desenvolvimento Rural Integrado**: Um Estudo de Racionalização pela Autoconstrução. Tese de Mestrado. UFRJ / FAU – PROARQ. Rio de Janeiro, 1992.

FAY, Liliana. **Desenvolvimento de um Elemento Construtivo de Encaixe Utilizando Solo-Cimento para a Construção de Alvenarias com a Intenção de Eliminar a Argamassa de Assentamento.** Dissertação de Mestrado / Racionalização da Construção. UFRJ / FAU – PROARQ. Rio de Janeiro, 1999.

LADAGA, Francisco José T.C.. **Análise do Solo-Cimento como Material Alternativo em Edificações de Baixo-Custo na Região do Noroeste do Paraná.** Dissertação de Mestrado. UFF / Engenharia Civil – Centro Tecnológico. Niterói, 1993.

DIAS DE OLIVEIRA, Luís Carlos. **A Estabilização de Solos Aplicada à Habitação, Um Estudo de Misturas de Solo-Cimento.** Dissertação de Mestrado. UFRJ /CT – COPPE. Rio de Janeiro, 1994.

FILHO, Emil de Souza Sánchez Filho *et al.* **Alvenaria Estrutural: Novas Tendências Técnicas e de Mercado.** Rio de Janeiro: Interciência: SENAI, 2002.

TAUIL, Carlos Alberto, RACCA, Cid Luiz. **Alvenaria Armada.** 3^o edição. PROJETO. São Paulo, 1981.

LORDSLEEM Júnior, Alberto Casado. **Execução e Inspeção de Alvenaria Racionalizada.** Editora O Nome da Rosa. São Paulo, 2000.

GUTIÉRREZ Ramón. **Arquitetura Latino-Americana: Textos para reflexão e polêmica.** São Paulo: Nobel, 1989.

BNH / DEPEA – Departamento de Estudos e Pesquisas Aplicadas. **Tijolos Maciços de Solo-Cimento: Fabricação e Utilização.** Banco Nacional de Habitação. Rio de Janeiro, 1983.

PITTA, Márcio. **Características Tecnológicas dos Solos Estabilizados com Cimento.** São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland, 1980.

CAPRA, Fritjof. **O Ponto de Mutação.** Editora Cultrix, São Paulo. Copyright 1982 by Fritjof Capra.

BRANDÃO, Zaia. **Pesquisa em Educação: conversas com pós-graduandos / Zaia Brandão.** Rio de Janeiro. Ed. PUC – Rio ; São Paulo – 2002.

SOUZA, Angela Gordilho (org.). **Habitar Contemporâneo**: Novas Questões no Brasil dos Anos 90. Universidade Federal da Bahia/Faculdade de Arquitetura/Mestrado em Arquitetura e Urbanismo/Lab-Habitar. Salvador, 1997.

ADAM, Roberto Sabatella. **Princípios do Ecoedifício**: Interação entre Ecologia, Consciência e Edifício. Editora Aquariana. São Paulo, 2001.

HERTZ, John B. **Ecotécnicas em Arquitetura** : Como Projetar nos Trópicos Úmidos do Brasil. Editora Pioneira.

9 – GLOSSÁRIO

Adensamento (13) p. 78: Ato ou efeito de adensar(-se). Ação de agitar o concreto com varas de ferro ou com vibrador, fazendo-o ocupar todo o espaço das fôrmas e envolver bem os ferros. Consolidação de solos (AURÉLIO,1998). A terra é adensada (e não comprimida) por compactação ou prensagem (NEVES, 2002).

Autoclave (14) p. 99: Aparelho de desinfecção por meio do vapor a alta pressão e temperatura; esterilizador (AURÉLIO,1998). Tratamento esterilizante e imunizante dado à madeira utilizada na construção.

Barro (7) p. 26: Massa fluída de terra (ou solo) e água com ou sem fibras (ou palha), com ou sem aglomerantes (cimento ou cal principalmente) para fabricação de adobes ou enchimento da taipa-de-sopapo ou taipa-de-mão (NEVES, 2002).

Cal “Viva” e “Apagada” (9) p. 39: 1) Cal Viva: A que não sofreu a ação da água; cal virgem. 2) Cal Apagada: A cal virgem que foi submetida à ação da água com a conseqüente transformação do óxido de cálcio em hidróxido; cal aérea, cal extinta (AURÉLIO,1998).

Compactação (3) p. 15: Corresponde ao processo de adensamento em que existe o esforço intermitente por meio de soquete (pilão) (NEVES, 2002).

Clinker (11) p. 66: Produto de natureza granulosa, constituído essencialmente de silicatos hidráulicos de cálcio e sulfato de cálcio (entre outros materiais adicionais que melhoram a sua aplicação), resultante da calcinação desta mistura quando conduzida até a temperatura de sua fusão incipiente (BAUER, L.A. Falcão, 1985).

Correlação Dimensional (1) p. 1: Mecanismo de simplificação e conexão de magnitudes relativas de objetos vários, de diversas procedências que devem acoplar-se na fase de montagem, sem retoques ou ajustes (MICHALKA, 1996).

Déficit Habitacional (2) p. 13: Relação de defasagem entre o ritmo de crescimento da população urbana e o da construção de novas residências (RIBEIRO, 1985).

Estabilizantes (8) p. 26: Substância com propriedades químicas intrínsecas que permite controlar o comportamento interno da argila na mistura de terra (expansão e retração).

Exotérmicas (15) p. 100: Diz-se de processo ou de reação química que ocorre em um sistema, e em que há liberação de calor para o meio externo (AURÉLIO, 1998). Reação interna que ocorre no concreto durante o processo de cura.

Floculação (12) p. 68: Passagem de um líquido ao estado de sólido (AURÉLIO, 1998).

Gipsita (15) p. 89: Mineral monoclinico, sulfato de cálcio hidratado; gesso (AURÉLIO,1998).

Grout (18) p. 127: Micro-concreto para preenchimento dos vazados dos blocos (SÁNCHEZ, 2002).

Junta (19) p. 130: Intervalo entre dois componentes ou materiais adjacentes, que poderá ser preenchido ou não por um material (calafetação).

“Kits” (17) p. 119: Trechos de elementos funcionais da edificação pré-montados em instalações apropriadas, como ramais de tubulações de hidráulicas ou componentes de cobertura, e depois transportados e acoplados à construção.

Pilaretas (21) p. 189: Pequeno pilar (sing.) (AURÉLIO,1998).

Pozolânico / Pozolana (10) p. 41: Produto de origem vulcânica, que se encontra nas imediações de Pozzuoli (Itália), e que, misturado com cal, se usa como cimento hidráulico (AURÉLIO,1998).

Prensagem (4) p. 15: Corresponde ao adensamento por um esforço único (máquina manual ou automática) (NEVES, 2002).

Reticulado Espacial Modular de Referência (20) p. 133: Aquele constituído pelas linhas de interseção de um sistema de planos separados entre si por uma distância igual ao módulo e paralelo a três planos ortogonais dois a dois (ABNT/NBR 5706, 1977).

Solo (5) p. 23: Corresponde a terra quando são especificadas as características da matéria-prima (teor de areia, teor de argila, limites, etc.) para determinado sistema construtivo (taipa, taipa-de-pilão, adobe, painéis de solo-cimento, etc.) (NEVES, 2002).

“**Shaft**” (16) p. 113: Duto compartimentado, com aberturas para manutenção, em uma edificação destinado à passagem de tubulações.

Terraplenagem (6) p. 24: Conjunto de operações de escavação, transporte, depósito e compactação de terras, necessárias à realização de uma obra; movimento de terra (AURÉLIO, 1998).

10 – ANEXOS

10.1 – ANEXO 1

Relação de Algumas Entidades e Instituições que Desenvolvem Trabalhos e Pesquisas Relacionados ao Uso da Terra como Material de Construção:

ABCTerra - Associação Brasileira dos Construtores com Terra – São Paulo / Brasil.

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland - São Paulo / Brasil.

ABMTENC – Associação Brasileira de Ciências de Materiais e Tecnologias Não-Convencionais.

CEPED / BA – Centro de Pesquisas e Desenvolvimento – Camaçari, Bahia / Brasil.

COPPE / UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro – Rio de Janeiro / Brasil.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas – São Paulo / Brasil.

NUTAU – Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo. Departamento de Tecnologia da Arquitetura / Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Cidade Universitária – São Paulo / Brasil.

OIKOS Ecologia do Habitat – Minas Gerais / Brasil.

Solo-Cimento Projetos e Assessoria Técnica – Campinas, São Paulo / Brasil.

TIBÁ – Instituto de Tecnologia Intuitiva e Bio-Arquitetura - Rio de Janeiro / Brasil.

THABA – Programa de Tecnologias da Habitação / Universidade do Estado da Bahia – Bahia / Brasil.

UFPB – Universidade Federal da Paraíba – Paraíba / Brasil

UNICAMP - Laboratório de Habitação – São Paulo / Brasil.

Outros países:

ATT e T - Arquitecturas de Tierra e Tecnologías Tradicionales / Argentina.

AVCTierra – Asociación Venezolana de Constructores con Tierra / Venezuela.

Centro de Estudios de la Tierra – Santiago / Chile.

CYTED - Programa Ibero-Americano de Ciência y Tecnologia para el Desarrollo – (vários países Ibero-americanos)

CRATERRE – Faculte d'Architecture – Universidade Grenoble (França).

D'ARQUITERRA – Albufeira / Portugal.

Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas – Habana / Cuba.

Fundación Navapalos – Madrid / Espanha.

Fundación Tierra – Montevideo / Uruguai.

HABITERRA – Bogotá / Colômbia.

Inter-acción – Madrid / Espanha.

PROTIERRA – Red Argentina para la promoción y desarrollo de la arquitectura de tierra / Argentina.

Tierra Nueva Investigaciones A.C. / México.

10.2 – ANEXO 2

Normas Brasileiras Relativas à Execução de Tijolo Maciço e Bloco Vazado de Solo-Cimento:

- 1) **NBR 8491** – Tijolo Maciço de Solo-Cimento – Especificação (ABNT, 1983).
- 2) **NBR 8492** – Tijolo Maciço de Solo-Cimento – Determinação da Resistência à Compressão e da Absorção d'água – Método de Ensaio (ABNT, 1983).
- 3) **NBR 10832** – Fabricação de Tijolo Maciço de Solo-Cimento com a Utilização de Prensa Manual – Procedimento (ABNT, 1989).
- 4) **NBR 10833** – Fabricação de Tijolo Maciço e Bloco Vazado de Solo-Cimento com a Utilização de Prensa Hidráulica – Procedimento (ABNT, 1989).
- 5) **NBR 10834** – Bloco Vazado de Solo-Cimento sem Função Estrutural – Especificação (ABNT, 1994).
- 6) **NBR 10835** – Bloco Vazado de Solo-Cimento sem Função Estrutural – Formas e Dimensões – Padronização (ABNT, 1994).
- 7) **NBR 10836** – Bloco Vazado de Solo-Cimento sem Função Estrutural – Determinação de Resistência à Compressão e da Absorção d'água – Método de Ensaio (ABNT, 1983).

Norma Brasileira Relativas à Execução de Paredes Monolíticas de Solo-Cimento:

- 1) **NBR 13553** – Materiais para Emprego em Paredes Monolíticas de Solo-Cimento sem Função Estrutural – Especificações (ABNT).