Tecnologias apropriadas: Tijolos e paredes monolíticas de solo-cimento

Alex Kenya Abiko

FD-335

ALEX KENYA ABIKO
Engenheiro Civil, Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo, 1973

TECNOLOGIAS APROPRIADAS: TIJOLOS E PAREDES MONOLÍTICAS DE SOLO-CIMENTO

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da USP para a obtenção
do Título de Mestre em Engenharia - 1980.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Romeu Landi
Professor Livre-Docente do Departamento
de Engenharia de Construção Civil da EPUSP

"Y que la técnica es un arma, y que quien sienta que el mundo no es perfecto como debiera ser, tiene, debe luchar porque el arma de la técnica sea puesta al servicio de la sociedad, y por eso rescatar antes a la sociedad para que toda la tecnica sirva a la mayor cantidad posible de seres humanos, y para que podamos construir la sociedad del futuro, désele el nombre que se quiera"...

para Claudia

Agradecimentos

ao Francisco Romeu Landi que orientou
ao Hélio Maris de Carvalho que ilustrou
à Ivone Dias de Almeida que datilografou
à Claudia Prada que montou

Resumo

A maior preocupação deste trabalho é com as moradias das populações de baixa renda que na maioria dos casos são precárias não atendendo aos requisitos mínimos de habitabilidade.

Para encarar este problema utilizamos como instrumento o conceito de tecnologia apropriada tendo em vista que as tecnologias tradicionais e modernas não tem apresentado bons resultados neste campo. Isto não quer dizer que estamos defendendo apenas uma saída tecnológica para os problemas da habitação popular.

Para exemplificar a viabilidade deste enfoque, estudamos duas aplicações, em tijolos e em paredes monolíticas de solo-cimento, onde se colocaram as questões de escolha do solo, dosagem e ensaios de avaliação tais como: resistência à compressão, durabilidade, absorção d'água, impermeabilidade.

Procuramos também, através das aplicações, disseminar a metodologia empregada, que acreditamos possa ser utilizada no desenvolvimento de outros materiais.

Abstract

The principal objective of this project is housing for low income people, wich is in the most part poorly constructed without the minimum standards of habitability.

To face this problem, the appropriate technology approach were applied bearing in mind that traditional and modern ones have not been suited to best resolve this type of housing. But this does not mean that this housing problem is only a technological challenge.

As an example two cases were studied, one in pressed earth and the other in rammed earth, both using soil-cement. Soil selection, the cement to soil mixture, compressive strenght, durability, water absorption and impermeability tests were evaluated.

Besides these examples it is considered that this methodology can be applied to other studies of other materials.

Sumário

1. Introdução 1

2. Habitação popular e tecnologia apropriada 3

2.1 Habitação popular 3
2.1.1 As "soluções" 4
2.1.2 Auto-construção 6

2.2 Tecnologia apropriada 15
2.2.1 O processo moderno da construção 19
2.2.2 O processo tradicional da construção 20
2.2.3 O processo apropriado da construção 22

3. Estabilização de solos: o solo-cimento 25

3.1 Solo 27
3.1.1 Composição do solo 28
3.1.2 Matéria orgânica e sais solúveis 29
3.1.3 Distribuição granulométrica 30
3.1.4 Limites de consistência 31
3.1.5 Limite e relação de contração 33

3.2 Estabilização de solos 34

3.3 Solo-cimento 37

3.4 Cimento 39
3.4.1 Fabricação de cimento 41
3.4.2 Consumo de energia 42
3.4.3 Algumas considerações 45

4. Interação solo-cimento 48

4.1 O endurecimento do cimento 48
4.1.1 O endurecimento como fenômeno físico 49
4.1.2 Reações de hidratação 51

4.2 Interação entre cal e argilominerais 53

4.3 Interação argila-cimento 57

4.4 Um estudo experimental 59

5. Tijolo de solo-cimento 62

5.1 Tijolos prensados em máquina manual 62
5.1.1 Fase 1 66
5.1.2 Fase 2 69
5.1.3 Fase 3 73
5.1.4 Resistência à compressão dos painéis 77
5.1.5 Penetração de água 80

5.2 Tijolos prensados em máquina automática 82
5.2.1 Unidade de produção dos tijolos 82
5.2.2 Fase 1 83
5.2.3 Fase 2 84

5.3 Custos 85
5.3.1 Ocasião A 85
5.3.2 Ocasião B 86

6. Paredes monolíticas de solo-cimento 87

6.1 O sistema de construção 88

6.2 Escolha do solo 90

6.3 Determinação do traço 92
6.3.1 Resistência à compressão 92
6.3.2 Durabilidade 93
6.3.3 Conclusões 94

6.4 Determinação da resistência à compressão de painéis 95
6.4.1 Painéis de solo-cimento 95
6.4.2 Painéis de alvenaria 96
6.4.3 Ensaio à compressão 96

6.5 Determinação da resistência ao impacto e às cargas excêntricas 97

6.6 Durabilidade e permeabilidade de pinturas 99

6.7 A cura na resistência à compressão 100

6.8 Custos 102

7. Considerações finais 103

8. Referências bibliográficas 107

Relação das pranchas

prancha 2.1 - etapas da tecnologia apropriada.
prancha 2.2 - resumo do processo apropriado da construção.
prancha 3.1 - classificação de solos conforme a granulometria.
prancha 5.1 - caracterização da amostra "marrom".
prancha 5.2 - caracterização da amostra "amarela".
prancha 5.3 - caracterização da amostra "vermelha".
prancha 5.4 - resistência à compressão de tijolos - fase 1.
prancha 5.5 - resistência à compressão de tijolos - fase 2.
prancha 5.6 - durabilidade e absorção d'água de tijolos - fase 2.
prancha 5.7 - caracterização de solo - fase 3.
prancha 5.8 - gráficos de resistência à compressão, perda de peso e teor de cimento de tijolos.
prancha 5.9 - resistência à compressão de painéis.
prancha 5.10 - esquema de ruptura de painéis-parede de 1/2 tijolo.
prancha 5.11 - esquema de ruptura de painéis-parede de 1 tijolo.
prancha 5.12 - penetração de água em painéis.
prancha 5.13 - caracterização de solo - fase 1-máquina automática.
prancha 5.14 - resistência à compressão - fase 1 - máquina automática.
prancha 5.15 - absorção de água - fase 1 - máquina automática
prancha 5.16 - caracterização de solo 1 - fase 2 - máquina automática.
prancha 5.17 - caracterização de solo 2 - fase 2 - máquina automática.
prancha 5.18 - resistência à compressão - fase 2 - máquina automática.
prancha 5.19 - controle de qualidade - fase 2 - máquina automática.
prancha 5.20 - custo (UPC) de tijolos de solo-cimento, tijolos de barro cozido e blocos de concreto.
prancha 6.1 - processo construtivo de paredes monolíticas.
prancha 6.2 - processo construtivo de paredes monolíticas.
prancha 6.3 - processo construtivo de paredes monolíticas.
prancha 6.4 - ensaios simplificados de caracterização de solos.
prancha 6.5 - ensaios simplificados de caracterização de solos.
prancha 6.6 - ensaios simplificados de caracterização de solos.

prancha 6.7 - transformação de traços em peso, em volume.
prancha 6.8 - transformação de traços em peso, em volume.
prancha 6.9 - resistência à compressão de parede monolítica.
prancha 6.10 - resistência a impacto e às cargas excêntricas de parede monolítica.

1. Introdução

1. Introdução

Mahatma Gandhi viveu e liderou uma India que atravessou rapidamente estágios de desenvolvimento. Durante este período ele sempre defendeu o uso intensivo de mão-de-obra com uma preocupação de descentralização das indústrias afim de evitar a migração e garantir o pleno emprego. Além disso sentia que a tecnologia deveria servir às tradições de seu país e não vice-versa.

Estes ensinamentos foram posteriormente absorvidos tornando Gandhi um dos gurus de uma forma diferente de se encarar a tecnologia. Esta forma, chamada de tecnologia apropriada, é aquela que pode ser adequadamente criada e mantida utilizando-se de capacidade, materiais e estruturas auxiliares locais.

Este conceito simples, sugere diversas dúvidas e questionamentos: a tecnologia moderna e avançada não resolve a todos os nossos problemas, em menos espaço de tempo? a produtividade desta tecnologia não é muito baixa? a descentralização da produção não é anti-econômica? este enfoque não é um enfoque romântico e ingênuo? será que a tecnologia apropriada não é mais um instrumento de dominação dos países desenvolvidos? a quem beneficia esta tecnologia? esta tecnologia é viável?

Estas perguntas precisam ser respondidas porém este trabalho não procura uma resposta direta a elas, esperando que estas questões possam ser esclarecidas no transcorrer deste texto.

Para isso a tecnologia apropriada e seus fundamentos será encarada como um instrumento para a questão das moradias para as populações de baixa renda, através do emprego da terra. Porém a terra encontrada na natureza não apresenta a resistência e a durabilidade necessárias para seu uso em habitações.

O estabilizador é o agente que melhora essas características e

estudaremos então o solo-cimento, em duas diferentes conformações porém com a mesma função na edificação; tijolos e paredes monolíticas.

Dividiremos o trabalho em tópicos com a metodologia que norteou a resolução de cada um dos problemas e ao final de cada item apresentaremos as principais conclusões. Ao término do trabalho faremos as considerações finais com uma reflexão acerca das questões levantadas e caminhos que poderão ser seguidos.

Estas pesquisas que visam desenvolver um produto para as habitações populares foram de certa forma balizadas pelo conceito de tecnologia apropriada e são amostras de uma preocupação crescente, mesmo por parte das instituições, por este tipo de enfoque. Isto é, além do BNH que financiou parte destas pesquisas também foram envolvidos os governos estaduais de São Paulo e da Bahia, via IPT e CEPED além de COHAB e URBIS.

Esta preocupação também pode ser entendida através de solicitações diversas que temos recebido de usuários, comunidades, estudantes de engenharia e arquitetura e profissionais no sentido de se informar acerca das possibilidades de emprego de solo-cimento para a resolução de problemas em edificações de forma geral e mais especificamente em habitações.

Esperamos então que este trabalho seja mais um a disposição daqueles inconformados com as condições de moradia e de vida das populações de baixa renda e interessados em criar, junto com elas condições para superar esta situação.

2. Habitação popular e tecnologia apropriada

2. Habitação popular e tecnologia apropriada

A habitação popular tem sido estudada em diversos aspectos por diferentes tipos de profissionais analisando desde sua conformação física, os espaços, os materiais empregados, até seu papel na economia.

Nessa diversidade de enfoques a habitação popular, entendida como a habitação dos pobres ou a habitação das classes de baixa renda, pode ser conceituada como resultado de um processo inserido na sociedade que a gera. É portanto uma realidade social, não podendo ser entendida sem sua inserção no contexto histórico da qual é resultante, isto é, uma análise de sua existência e das formas em que se manifesta não pode estar distanciada de uma visão ampla, social, cultural, econômica do meio que a envolve.

A preocupação deste trabalho é com os aspectos tecnológicos da habitação popular, que se coloca entre os fatores interveniente no processo e está intimamente vinculada às questões acima mencionadas. Desta forma procura-se, sem prejuízo das questões gerais, estudar a habitação popular como "locus" de emprego de uma tecnologia.

Todavia a tecnologia que se adequa à habitação popular não é a mesma que se emprega para fabricar carros, aviões, plásticos ou habitações de luxo. Esta tecnologia que apresenta algumas características que a tornam adequada ao conjunto de problemas da habitação popular é conhecida como tecnologia apropriada.

2.1 - Habitação popular

Observando-se atentamente a cidade e o campo percebe-se que as pessoas de uma forma ou de outra estão resolvendo os seus problemas de moradias. Isto não quer dizer que essas habitações são

aceitáveis, porém, apesar de todas as restrições existentes na sociedade, as pessoas ainda tem condições de resolver seus próprios problemas e assim tem feito à margem muitas vezes das propostas institucionais.

O fato é que as habitações das classes de baixa renda (também as de alta renda) compatibilizam ou procuram compatibilizar o seu preço com o poder aquisitivo das populações de menor entrada (maior entrada). Isto quer dizer que as soluções de mercado ou institucionais e as soluções alternativas da população emergem da contradição existente entre o poder aquisitivo da maioria da população e o preço das habitações. Basta uma consulta aos trabalhos que analisam a questão da distribuição de renda para se perceber que apenas uma pequena parcela da população tem capacidade de se inserir no mercado formal de habitações. Este mercado é constituído pelos "conjuntos do BNH" e pelas iniciativas privadas sendo que o mercado "marginal" é composto pelas ofertas em favelas, cortiços, auto-construção e as invasões(1 a 11).

2.1.1 - As "Soluções"

As favelas, de acordo com a Secretaria do Bem Estar Social da Prefeitura do Município de São Paulo, "são aglomerados de moradias de reduzidas dimensões, constituídas com materiais inadequados (madeira velha, zinco, lata), e distribuídas irregularmente em terrenos quase desprovidos de serviços urbanos e equipamentos sociais, compondo um complexo de problemas de ordem social, econômica, educacional e urbanística. Frequentemente as favelas localizam-se em terrenos baldios públicos ou de propriedade particular, próximos a zonas que possam oferecer ao favelado algum meio de sobrevivência (indústrias, depósitos de lixo, etc.); às vezes em áreas adjacentes a residências de alto nível e em muitos casos estendendo-se por regiões frequentemente inundáveis, em contraste com o meio ambiente das edificações de alvenaria circundantes". (12)

Segundo o mesmo documento, os cortiços são definidos como habitações deterioradas pelo uso e pela destinação, divididas em cômodos para aluguel, e caracterizadas pela insalubridade, reduzidas dimensões dos cômodos, congestionamento, coabitação involuntária, e utilização quase sempre em comum da cozinha e das precárias instalações sanitárias. Ela é comum em áreas urbanas deterioradas, quer seja pela falta de renovação urbana, como pela presença de circunstâncias desfavoráveis ao uso residencial (prostituição, poluição, etc.), que levam ao afastamento de famílias de maior padrão econômico, e ao desinteresse pela melhoria dos prédios devido à sua crescente desvalorização como habitação.

A auto-construção é a solução expontânea encontrada pelas pessoas de baixa renda que não aceitam ou que não podem ser aceitas pelos programas de habitação institucionalizadas. Estas operações tem como principal personagem o usuário que constroe sua casa, algumas vezes sózinho, com a família, com os parentes, algumas vezes contratando um pedreiro e trabalhando como servente carregando os materiais de construção, preparando a argamassa, etc. As casas são construídas nos fins de semana, nas horas vagas ou durante as férias. (13, 14, 15)

As invasões se assemelham às favelas no sentido da apropriação de um espaço que de direito não pertence ao invasor. Porém neste caso além de invadir o solo, o agente também o faz do edifício nele contido. A invasão é um fenômeno disperso na cidade e seu aparecimento é originado muitas vezes de situações particulares: a desapropriação de casas e o abandono de unidades habitacionais pelo seu proprietário. Talvez não se tenha um bom conhecimento desta ocorrência tendo em vista a necessidade que o invasor tem de se manter no anonimato por questão de sobrevivência. (16)

O conjunto habitacional da CECAP, COHAB e INOCOOP é a solução institucional. O Estado organiza instituições que produzem e que distribuem as habitações, tendo em vista a geração de uma quantidade considerável delas, organizada como um grupo único usufruindo das economias de escala. Estas instituições foram criadas com

objetivos específicos que são apresentados a seguir e uma análise e uma crítica mais profunda devem ser feitas pois existe atualmente diferenças no campo de atuação de cada uma delas. (17)

A COHAB, no caso a COHAB/SP, Companhia Metropolitana de Habitação de São Paulo, é de propriedade da Prefeitura Municipal de São Paulo. As habitações por ela construídas destinam-se a indivíduos que preencham as seguintes condições:

- renda familiar entre 1 e 3 salários mínimos, na ocasião da compra.
- ser casado ou ter dependentes econômicos.
- morar ou trabalhar há dois anos na Região da Grande São Paulo.
- não ser proprietário.

O INOCOOP, Instituto de Orientação às Cooperativas Habitacionais é orgão orientador das cooperativas habitacionais, vinculado ao BNH. Para adquirir uma propriedade o interessado deve (18):

- ter renda familiar entre 3 e 8 salários-mínimos por ocasião da compra.
- ser sindicalizado em qualquer categoria profissional.

A CECAP, Companhia Estadual de Casas Populares é entidade autárquica estadual. Não existem restrições para a compra de habitações por ela construídas, a não ser quanto à renda familiar mínima de 4 salários-mínimos, na ocasião da compra (19).

2.1.2 - Auto-construção

Entre as alternativas habitacionais existentes no mercado não institucional, a auto-construção se apresenta como uma "solução" muito particular onde acreditamos caiba uma intervenção.

Os aspectos da possibilidade desta intervenção serão analisados a partir do conhecimento do fenômeno que será descrito de forma

suscinta levantando-se dados que nos auxilie à sua compreensão e principalmente informações a respeito da técnica empregada para sua produção (20, 21, 22, 23).

As informações da incidência da auto-construção referem-se a São Paulo porém ela é fenômeno que também atinge grandes proporções no contexto urbano de outros grandes e pequenos centros do país.

No Município de São Paulo estimava-se em 1975 que até esta data, 450 mil habitações na periferia haviam sido construídas pelos próprios moradores. Outro documento de 1975, da Secretaria dos Negócios Metropolitanos, afirmava que 52% dos alvarás de construção deste ano na área da Grande São Paulo, com excessão do Município de São Paulo foram expedidos para auto-construtores. Acredita-se que êste número seja maior pois os alvarás se referem a construções legais em lotes legais e nesta data 1,3 milhões de lotes na Grande São Paulo estavam em situação ilegal. Outros dados mais recentes apontam um índice de 70% a 80% para o volume de moradias auto-construídas na Região Metropolitana de São Paulo.

Apesar de não se ter números definitivos, sua incidência é elevada e a auto-construção existe em função direta da impossibilidade de endividamente das populações de baixa renda para a aquisição direta, pura e simples de um imóvel erguido.

Para se conhecer êste fenômeno, a Secretaria de Economia e Planejamento do Estado de São Paulo proporcionou a elaboração de um estudo em 1978, que foi realizado em convênio com a EMPLASA contando com a participação técnica do URPLAN, Instituto de Planejamento Regional e Urbano da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. Este trabalho desenvolve o conhecimento a respeito do processo de auto-construção de moradias pela população de baixa renda da Grande São Paulo, explicitando a estrutura de procedimentos utilizados pelos auto-construtores para a sua viabilização, durante o período de 1950 a 1978 (24).

Este estudo se aprofunda nas questões do processo de fixação na cidade dos auto-construtores, nos recursos e na força de trabalho empregados na obra e na análise da casa como produto. Suas conclusões se encontram na página 287 do texto acima referido tendo sido abaixo transcritas:

"A grande maioria dos autoconstrutores são migrantes chegados à Grande São Paulo em idade adulta. O restante divide-se proporcionalmente entre migrantes ali chegados, antes da idade de trabalho, e metropolitanos.

Para o migrante chegado em idade adulta, as condições de moradia são bem mais precárias que as das outras duas categorias pesquisadas, embora pertençam todas a classes populares. Enquanto a grande maioria de metropolitanos e migrantes chegados antes da idade de trabalho habita com suas famílias, em casas de alvenaria, ao migrante adulto impõe-se uma gama bem maior de arranjos para a solução do problema habitacional, dada a precariedade de sua inserção no sistema urbano metropolitano.

Considerando-se o número de moradias alugadas ou cedidas entre a data-base das entrevistas de história de vida e a auto-construção, pode-se dizer que é intenso o embate por esta última. Para, aproximadamente, 30,0% da amostra pesquisada, a segunda moradia já é a casa produzida pela própria família. Acompanhando-se a história habitacional dessa população, percebe-se que esse índice se intensifica ainda mais, sendo que apenas 5,0% da amostra pesquisada continua na condição de aluguel ou em outra, quando se considera a sexta moradia da trajetória habitacional anterior à auto-construção.

A inserção da população autoconstrutora no mercado de trabalho ocorre, em mais de 70,0% dos casos, nos níveis ocupacional mais semiqualificado do setor secundário da economia. Acompanhando a história ocupacional desse contigente das classes populares, percebe-se que há uma tendência a que o índice acima referido seja

inclusive superado. Conclui-se, então, que boa parte da população que autoconstrói a moradia não pertence à base da pirâmide ocupacional, muito embora, via-de-regra, não ultrapasse a condição de trabalhador qualificado, ao fim da história de trabalho.

A auto-construção possui estreita relação com a constituição do grupo familiar. Pode-se dizer que a compra do terreno e a construção do embrião, na maior parte dos casos, ocorrem nos primeiros anos de constituição do grupo, portanto, no início da fase de expansão da família. Nessa medida, pode-se afirmar que a auto-construção vai se consolidando progressivamente, à medida que o grupo se constitui, já que este impõe a necessidade de consolidar a casa, para seu abrigo. Por outro lado, é o grupo constituído que, progressivamente, em grande parte dos casos,vai possibilitando a viabilização da produção da moradia, tanto pela inserção de seus membros no mercado de trabalho, quanto pela sua utilização, enquanto força de trabalho, nas atividades construtivas da própria moradia.

No momento da decisão de produzir a sua moradia, a maior parte desse contingente tem a possibilidade alternativa de alugar uma residência para a família. No entanto, decide fazer a própria casa exatamente para se ver livre do aluguel, para escapar desse compromisso financeiro mensal que lhe corrói a renda familiar, progressivamente pauperizada na história brasileira recente. Neste sentido, pode-se dizer que a maior parte dos auto-construtores não vê a casa própria essencialmente como uma ascensão social, mas como uma saída estratégica para a resolução de seu problema habitacional, dado o seu cotidiano, marcado pela baixa renda e pela precariedade.

No entanto, dada a baixa renda e a precariedade cotidiana, o processo de produção da casa se estende ao longo dos anos,já que, na maior parte das vezes, a sua produção se realiza por fases.Ao optar pela auto-construção, essa população, em grande parte migrante, cria, então, um vínculo com a região metropolitana, pelo

próprio embate que vive, ao longo do tempo, para consolidar a construção da casa.

Tendo em vista a distribuição desigual de bens e serviços e a ocupação do solo urbano, segundo diferenciais de classe, restam normalmente à população autoconstrutora as áreas mais afastadas do centro, localizadas na periferia da mancha urbana metropolitana. Essas são frequentemente comercializadas por loteadores que, aproveitando-se dessa precariedade, vendem a essa gente terrenos em loteamentos irregulares, com todas as características de clandestinidade.

A maior parte da população autoconstrutora possui, no ato da compra do terreno a totalidade, ou seja, pelo menos, parte do que seria necessário para a entrada do terreno. No entanto, no período 1950/78, nota-se que decresce o índice dos que têm o montante necessário para tanto, aumentando consequentemente o índice dos que têm apenas parte do necessário. Nesta medida, torna-se evidente a configuração, ao longo do tempo, de uma tendência firme e continuada de progressivo esvaziamento da capacidade dos autoconstrutores de assegurarem seu acesso ao lote em condições de menor precariedade.

As formas que esse povo encontra para fazer frente a essa necessidade financeira são, basicamente, reduzir os gastos básicos da família, poupar parte do salário e aumentar a jornada de trabalho ou, ainda, a utilização do 13º salário, o saque do Fundo de Garantia por Tempo de Serviço e a venda de férias. Essas últimas três formas apresentam uma tendência crescente nas duas últimas décadas e ocorrem em grande parte dos casos pesquisados.

As tendências acima apontadas também podem ser observadas com relação à captação de recursos para a produção da casa, tanto para o arcabouço, quanto para o acabamento. A redução dos gastos da família, a poupança de salário e a extensão da jornada de trabalho são as formas fundamentais, embora quando tomadas em conjun-

to, revelem uma incidência progressivamente menor. Essa tendência decrescente, no entanto, significa uma "precarização" ainda maior, já que, em contrapartida, vem aumentando o leque de alternativas para captação de recursos de que se lança mão a população autoconstrutora: saque do FGTS, a venda de férias e o 13º salário.

Para a continuidade da casa, o plano de captação de recursos dos autoconstrutores observado na pesquisa é a utilização das mesmas formas acima descritas. Em nenhum caso surgiram respostas que permitissem depreender a expectativa de lograrem captar recursos através de estratagemas menos precários. Com relação à aquisição de materiais, a tendência mais relevante é a compra à vista.

Cabe ressaltar, por outro lado, que se no que tange à captação de recursos os estratagemas utilizados pelos autoconstrutores permanecem quase sempre circunscritos ao âmbito da família nuclear, tratando-se do trabalho necessário à produção da casa, pode-se falar numa estratégica mais coletiva, na qual as relações de solidariedade entre as famílias autoconstrutoras se fazem presentes, principalmente através da troca de trabalho gratuito.

As relações de ajuda mais intensa dão-se ao nível de parentesco. A presença da esposa é grande na primeira fase, particularmente dessa para a terceira, já que os filhos do casal, provavelmente pequenos quando o processo de produção da casa se inicia,vão gradativamente participando desse trabalho em suas fases posteriores e, consequentemente, substituindo-a. No entanto, a presença de outros parentes é ainda maior que a das duas categorias referidas acima; no início da construção, constituem-se na mais presente, decrescendo, ao longo do processo, mas mantendo sempre elevado índice de participação.

Existem, ainda, as presenças de vizinhos do bairro atual e do anterior, bem como de colegas de trabalho na primeira fase, embora em menor escala do que a de parentes. Percebe-se, também, que

a ajuda solidária é maior na primeira fase, quando quase sempre se trata de consolidar o embrião da casa, abrigo fundamental da família autoconstrutora.

Por outro lado, cabe frisar que a ajuda para as atividades de acabamento ocorre em menos da metade dos casos pesquisados, presumindo-se que o processo de ajuda mútua na autoconstrução esteja voltado com mais intensidade para as atividades construtivas fundamentais.

Nos casos em que o entrevistado não sabia construir, quando iniciou a construção da casa, nota-se, em geral, a presença de familiares ou amigos pedreiros no processo de trabalho, que passam, então, a orientá-lo. Na ausência desses, é comum a contratação de pedreiro, que passa a exercer essa função. A remuneração do trabalho, na auto-construção, dá-se de maneira quase absoluta somente nesses casos, ou seja, quando existe a presença de um pedreiro contratado.

A casa autoconstruída é produzida nas horas que, normalmente, seriam reservadas ao descanso: fins de semana, feriados e, muitas vezes, à noite.

Há três tipos mais frequentes de construção da primeira fase da casa, comumente chamada de embrião:

- quarto, cozinha e banheiro; tipo 1
- sala, quarto, cozinha e banheiro; tipo 2
- dois quartos, sala, cozinha e banheiro; tipo 3

Pode-se considerar que cada um desses tipos corresponde a um certo estrato, considerando-se a variável área construída. Assim, o embrião tipo 1 corresponde a uma área de, aproximadamente, 27 a 31 m^2; o tipo 2, a 41 e 43 m^2 e o tipo 3, a 52 e 62 m^2.

Percebe-se, por outro lado, que, embora haja essa diversidade com

relação ao embrião, o produto final a que grande parte desses embriões tende a chegar constitui-se de dois quartos, sala, cozinha e banheiro.

Para os embriões tipos 1 e 2, as fases posteriores serão em geral de ampliação da casa, visando à sua conclusão. No entanto, para o embrião tipo 3, que constitui em si unidade habitacional média, as fases posteriores, quando ocorrem, estão quase sempre voltadas para a construção de uma nova edificação no lote.

Note-se, portanto, que a atividade autoconstrutora é, antes de tudo, um processo que se desenvolve paralelamente à própria existência dos seus agentes, ocupando um amplo espaço temporal das suas vidas".

Além dessas conclusões obtidas neste estudo quantitativo a partir de 407 questionários e 128 plantas,alguns outros aspectos são também importantes e foram colhidas de forma independente a êste trabalho, em visitas à periferia (15):

a) Processo: as habitações são geradas através de um processo que não é o tradicional e não é o moderno, mas que possue elementos de ambos (vide itens 2.2.1 e 2.2.2). Este processo tem como referência o nível existente na produção de habitações de médio e de alto custo pois existe um fluxo de informações técnicas advindas destes setores por pedreiros, serventes, carpinteiros e outros profissionais pouco especializados auxiliando e alimentando os processos de auto-construção. Do ponto de vista da técnica empregada não há nenhuma expressão peculiar neste processo de construção, sendo ele um reflexo dos padrões existentes. Em termos de organização do trabalho o que dirige a solução adotada de mão-de-obra intensiva ao invés de capital intensivo é a necessidade, não sendo uma escolha mas mera questão de sobrevivência. (25)

b) Projeto: as Prefeituras distribuem plantas para habitações populares junto com a permissão de sua construção e grande parte dos moradores as adquirem a fim de legalizar suas situações

Porém a maioria deles transformam os projetos de acordo com suas necessidades, muitas vezes construindo-as em etapas de acordo com suas possibilidades financeiras. No início constroi-se um núcleo constituído de dois cômodos e um banheiro externo, sem revestimentos nos pisos e nas paredes, sem vidros nas janelas. Este núcleo atende a todas as necessidades: dormir, descansar, comer, se proteger e é uma forma de aliviar o orçamento familiar do aluguel que é um gasto sem retorno.

c) Materiais: os materiais e componentes da construção envolvidos são os mais baratos e são empregados tendo em vista sua função primária. Neste sentido os tijolos e os blocos que são utilizados na alvenaria trabalham apenas como elementos estruturais; os outros requisitos necessários como isolação térmica e acústica, a impermeabilidade, o aspecto, não são levados em conta e posteriormente se constituem em problemas, algumas vezes de difícil solução.

d) Técnica: a técnica empregada é a mais simples e a mais conhecida não se perdendo tempo tentando-se otimizar o processo construtivo. Os materiais de construção são aplicados com a experiência trazida por amigos e parentes, uma quantidade grande de informações úteis sem uma fundamentação teórica. As ferramentas que modificam e transformam os blocos de concreto em paredes são primitivas mas eficientes sendo de fácil utilização requerendo poucas habilidades. A grande maioria dos construtores não procura inovar ou aumentar a eficiência dos métodos construtivos: alguém lhes falou que aquilo era uma boa solução e se o produto, resultado dos materiais, das ferramentas e da técnica, não cair, isto significa que os materiais de construção e sua habilidade foram suficientes. Esta confiança pode dar a ele uma nova profissão tornando-o um empreiteiro construindo e ajudando a construir outras casas.

e) Produtividade: O processo de construção das habitações auto-construídas tem uma baixa produtividade em comparação com outros processos que são organizados por empreiteiros ou pelo Estado. Uma das principais razões é que o processo é descontínuo no tempo: o número de horas disponíveis pelo construtor é limitado, sendo apenas os fins-de-semana e durante as férias. Isto

significa que o trabalho deve ser dividido em diversas fases estanques de uma forma aleatória perdendo-se com isso as eventuais vantagens de uma pequena produção em escala. Uma outra é de que o processo e os materiais envolvidos estão expostos às intempéries e dependem das condições climáticas para serem colocados, montados e acabados. Uma outra razão é de que a produtividade está relacionada com a mão-de-obra e sua especialização: quanto menor a capacitação técnica, a habilidade e a experiência, produz-se menos em um espaço maior de tempo.

2.2 - Tecnologia apropriada

A auto-construção, do exposto, representa um grande esforço nas famílias de baixa renda em termos diretos de custo e de mão-de-obra, que, via de regra deixam muito a desejar como produto, não apresentando inúmeras vezes condições de habitabilidade. Esta questão técnica já justifica uma intenção no sentido de se melhorar as habitações produzidas, com uma racionalização da construção procurando-se atingir melhores resultados com os recursos disponíveis.

Porém o processo da auto-construção descrito anteriormente, apresenta outras possibilidades de intervenção que transcendem à questão especificamente técnica. Estas possibilidades se colocam ao nível social, na medida em que o processo envolve o auto-construtor e seus colegas e parentes e ao nível econômico na medida em que esta "solução" procura de certa forma fugir a lógica da acumulação do capital.

Dentro deste quadro a tecnologia, entendida como um conjunto ordenado de conhecimentos empregados na produção e comercialização de bens e serviços, se coloca como uma ferramenta de intervenção podendo ser utilizada de diversas formas e de acordo com diversos interesses (26, 27).

Uma das formas de tecnologia que acreditamos possa contribuir de

maneira mais concreta para a transformação econômica, social e técnica de sociedade, em direção a uma situação onde o bem-estar esteja a disposição de maior número de pessoas, é a tecnologia apropriada. Esta idéia surgiu em meados de 1960 e com ela foram lançados os conceitos de tecnologia de baixo-custo, tecnologia intermediária, tecnologia progressiva, tecnologia correta, tecnologia apropriada, tecnologia adaptada, tecnologia combinada, autotecnologia, tecnologia radical, tecnologia mista, e outros que, pequenas diferenças à parte, apresentam uma mesma postura em relação ao prós e contra às tecnologias modernas atualmente empregadas. (28)

A tecnologia apropriada se coloca em alguma posição entre a mais primitiva técnica da idade da pedra e a mais sofisticada tecnologia da idade da bomba atômica, posição precisa mais apropriada às necessidades locais da população. Ernest Schumacher, economista inglês, que introduziu o têrmo, enfatiza quatro critérios: pequeno, simples, barato e pacífico. (29)

O Comitê Consultivo da ONU para a Aplicação da Ciência e Tecnologia ao Desenvolvimento descreve a Tecnologia Apropriada para a indústria manufatureira dos países subdesenvolvidos como aquela que "produz", de uma maneira ótima, o tipo e a qualidade de produtos adequados aos requisitos dos mercados locais e de exportação, com o mínimo de capital e mão-de-obra e de outros recursos disponíveis localmente.

Segundo Ken Darrow e Rick Pam, a tecnologia apropriada é um termo que representa um ponto de vista particular acerca da sociedade e da tecnologia. Ele sugere que a tecnologia não é nem neutra nem obrigatoriamente restrita a um único caminho de desenvolvimento. Ele reconhece que diferentes grupos culturais e geográficos terão diferentes tecnologias apropriadas às suas características, que a auto determinação tecnológica é essencial para a formação de uma entidade cultural e para a independência política. Ele assume que o propósito da atividade economicamente produtiva não é apenas o preço do produto mas produzir o que é deter

minado pelas necessidades sociais, num processo criativo e agradável: e não determinada por ganância desmesurada num processo de produção alienante e repetitivo. Ele coloca que toda sociedade tem uma tradição tecnológica e que novas tecnologias devem brotar a partir dessa tradição. Ele assume que o único desenvolvimento que faz sentido é o desenvolvimento do povo e suas habilidades pelo povo e para o povo. (30)

Pode-se constatar a existência de duas categorias de tecnologia apropriada, diferindo no que diz respeito ao tipo de atividades que a envolvem (31):

Tecnologia Apropriada Intermediária (TAI)

Caracteriza-se por soluções simples podendo ser distinguidas 2 tarefas:

- reviver técnicas já abandonadas ou utilizadas em outros campos adaptando-as simplesmente a conhecimentos, procedimentos, equipamentos ou matérias primas não disponíveis quando de sua geração.
- simplificar o produto final, os equipamentos ou outros insumos, inclusive mão de obra. É a racionalização de técnicas tradicionais e em utilização.

Tecnologia Apropriada de Fronteira (TAF)

É a que envolve pesquisa científica e tecnológica em áreas virgens ou de fronteira do conhecimento atual necessitando de pessoal de alto nível técnico. Esta tecnologia se distingue da tecnologia dos países industrializados por sua adequação à realidade de país subdesenvolvido.

A tecnologia apropriada, de forma genérica apresenta as seguintes características:

a. possue baixos custos de capital

b. usa, sempre que possível, materiais locais

c. cria empregos, empregando força de trabalho e habilidade locais.

d. possue escala de produção suficientemente pequena para adequar-se à utilização por pequenos grupos e pelo homem do campo.

e. pode, em geral, ser entendida, controlada e mantida pelos próprios usuários, sem a necessidade de um alto nível de educação.

f. permite um trabalho conjunto das pessoas para que elas, coletivamente, façam melhorias nas suas comunidades, reconhecendo que na maior parte do mundo decisões importantes são tomadas por grupos ao invés de por indivíduos.

g. envolve fontes de energia descentralizadas e renováveis, tais como energia eólica, solar, hidraúlica, do gás metano, animal e humana.

h. permite o entendimento da tecnologia pelas pessoas que a utilizam e assim sugere idéias que podem ser utilizadas em futuras inovações.

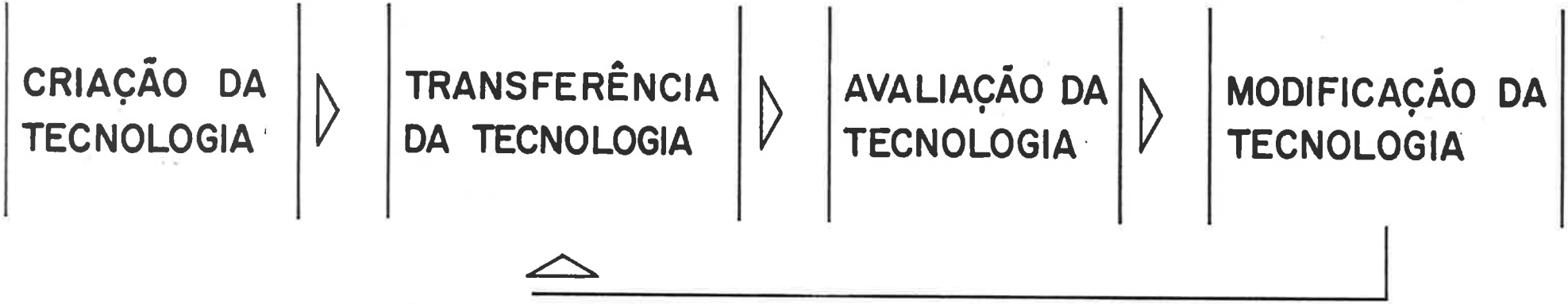
i. não envolve patentes, "royalties", assistência técnica, taxas de importação ou transporte, financiamentos; desenhos e planos podem ser obtidos grátis ou a baixo custo e nenhum outro pagamento é necessário.

São 4 as etapas de tecnologia apropriada; conforme prancha 2.1.

- Criação da tecnologia através de um desenvolvimento teórico e experimental com ensaios de laboratório e de campo em protótipos.
- Transferência de tecnologia através de um manual de instrução onde a linguagem adotada seja simples e de fácil percepção pela população a ser atingida.
- Avaliação da tecnologia a nível dos agentes diretamente envolvidos e dos participantes da criação desta tecnologia.
- Modificação da tecnologia como resultado da avaliação.

Este circuito se fecha novamente onde a modificação da tecnolo

ETAPAS DA TECNOLOGIA APROPRIADA



Prancha 2.1

gia se identifica com a criação da tecnologia, iniciando novamente o processo após uma realimentação do circuito.

A tecnologia apropriada aplicada na construção civil tem sido um dos exemplos concretos de vialibilidade dêste tipo de enfoque de tecnologia. Todavia nêste caso específico iremos nos utilizar do conceito de processo da construção, isto é, a tecnologia aplicada conjuntamente com as técnicas e a forma de organização e distribuição dos recursos materiais, humanos e financeiros objetivando a obtenção de uma forma construída, que é mais amplo e situar o processo apropriado entre dois extremos que o referenciam: o processo tradicional e o processo moderno da construção, para justificar sua adequação à execução de habitações populares, no nosso caso, auto-construídas.

2.2.1 O processo moderno da construção

O processo moderno da construção é desenvolvido em grande parte pelo construtor/empreiteiro que edifica os conjuntos habitacionais nas cidades, para as famílias de baixa renda. Estes projetos se baseiam, na maioria deles, nos experimentos e nas soluções encontradas, elaboradas e propostas em vários países desenvolvidos. Ele significa a organização e o planejamento do processo de produção da construção com o objetivo de suprir um mercado através da geração contínua de produtos; deve necessariamente se basear em uma tecnologia adequada e em uma continuidade na colocação dos produtos. (32, 33)

Em termos de organização adota-se uma estrutura de gerenciamento centralizado cuja função é solucionar os problemas básicos, da matéria prima à venda do produto, passando pela construção, montagem e acabamento de todas as unidades. Esta organização é rígida impondo a todos os seus membros, limites bem definidos de ação. Os postos de chefia e de coordenação são assumidos por pessoas formadas especialmente para isso compondo um corpo de tomada de decisões estanque e distanciando da grande massa dos traba

lhadores. Dá-se toda a atenção à organização formal da construção tanto no escritório como no canteiro, elaborando-se tabelas de acompanhamento e de previsão: PERT, CPM, ...

Este processo se volta à mecanização, que é a substituição de mão-de-obra pelas máquinas, um recurso que possibilita uma maior produtividade no sistema. Com isso temos a especialização das atividades manuais restantes, aumentando ainda mais esta produtividade com a eficiência e a aptidão de assumir tarefas específicas. A participação do usuário neste processo é restrita pois a direção centralizada não se compatibiliza com a interferência de outros agentes. Com isto, o resultado formal dos conjuntos é uniforme e monótomo onde o ambiente se adequa com dificuldade às necessidades individuais de cada família. (34)

O processo moderno da construção necessita de capital intenso pois faz uso de equipamento pesado de produção, transporte e de montagem e com relativa facilidade, reduz-se a perda de tempo ocasionada por mau tempo e por condições improvisadas de trabalho ao fazer uso de elementos pré-fabricados. Uma característica importante deste processo é sua dependência do consumo contínuo. Isto é, sua viabilidade está relacionada com o retorno seguro de alta soma dos investimentos. E quanto maior e mais comprometida a produção, mais sofisticados podem ser os processos de construção. (35,36)

Quando isto não ocorre, ou ocorre insatisfatório, o custo do produto se torna elevado em termos de mercado. O que observamos é que na maioria das vezes as habitações oferecidas por este processo não podem ser adquiridas pela população de baixa renda pois, além de seu (população) nível de rendimentos, o custo do produto continua elevado devido a necessidade de utilização de alto investimento sem retorno assegurado, o custo dos materiais e do trabalho contratado.

2.2.2 - O processo tradicional da construção

O processo tradicional da construção é desenvolvido basicamente em um contexto rural, em comunidades fechadas que pelas suas características de isolamento utiliza-se de recursos locais tanto em termos de mão-de-obra e equipamentos, como de materiais de construção.

A mão-de-obra tem baixo grau de especialização sendo ela de utilização intensiva; as ferramentas empregadas são simples o mesmo ocorrendo com os materiais, simples e locais, retirados ou produzidos nas proximidades por pessoal não especializado.

A grande maioria da população rural em países em desenvolvimento a utiliza como a única forma de resolver seus problemas de abrigo não havendo nenhum apoio institucional, quer técnico, quer financeiro; a técnica empregada é gerada e dispersa por toda a comunidade baseada principalmente no conhecimento prático transmitido verbalmente e compreende um estoque muito grande de informações do ambiente físico e como sobreviver dentro dele. Sabemos e constatamos que a maioria das habitações construídas pelo processo tradicional apresenta desempenhos higro-térmico, acústico, mecânico razoáveis e que atendem às necessidades dos moradores.(4)

Como é simples de demonstrar utiliza-se pouco ou nenhum capital sendo ele substituído pela mão-de-obra do usuário. Neste sentido existe uma relação entre as formas tradicionais da construção e como essas formas se ligam aos recursos utilizados, os materiais de construção locais, as ferramentas e a forma de erigir as estruturas auto-construídas. (37)

Uma outra característica importante do processo tradicional de construção é de que questões inerentes a ele, de situação ecológica e social, possibilita e exige uma participação muito grande do usuário no "projeto", na organização e na construção de seu espaço através das iniciativas individuais e muitas vezes, de um esforço comunitário.

A questão que se coloca é de que a ausência de uma base teórica para os conhecimentos adquiridos neste processo faz com que a tecnologia que ela gere seja essencialmente estática com pouca capacidade de resposta em face às rápidas mudanças e a novas situações.

Portanto ela em si não atende às necessidades urbanas existentes em economias em desenvolvimento que possuem taxa de crescimento muito elevadas.(38)

2.2.3 - O processo apropriado da construção

O processo apropriado da construção é o processo construtivo que não se apoia apenas em sistemas de construção importadas e nem no retorno às velhas tradições artísticas do construir.Neste sentido ele deve ser (39):

. capaz de atender aos requisitos técnicos:
- usando recursos energéticos locais, materiais locais.
- minimizando a quantidade de materiais importados.
- assegurando a aceitação do produto, quantitativa e qualitativamente.
- garantindo a distribuição fácil, segura e regular.
. capaz de atender as necessidades sociais:
- usando as técnicas existentes ou as que possam ser adaptadas facilmente.
- abrindo perspectivas de crescimento da taxa de emprego.
- minimizando os choques sociais e culturais, graças ao lento e gradual crescimento da produção e da produtividade.
. capaz de satisfazer às necessidades econômicas:
- minimizando o investimento de capital.

- minimizando a quantidade de capital estrangeiro.
- assegurando que os principais benefícios se voltem a todos os produtores.

Alguns dos argumentos que subjazem ao conceito de processo apropriado podem ser resumidos como segue:

a) Ela permite que as necessidades locais sejam mais efetivamente satisfeitas, dado que as pessoas do local são envolvidas no processo.

b) Pressupõe-se o desenvolvimento de ferramentas que permitem a multiplicação de trabalho e habilidade humanas, ao invés de máquinas que substituam o trabalho humano e eliminem suas habilidades; não existe uma tentativa de eliminar o elemento humano e sim de fazê-lo mais produtivo e mais criativo.

c) Representa uma escala de atividades, organização e erros compreensível e controlável, na qual pessoal sem treino em técnicas de administração sofisticada podem trabalhar juntas e entender o que estão fazendo.

d) Permite uma operação mais econômica através da minimização do transporte de bens numa época de energia custosa, permitindo maior interação no interior da indústria local e maior uso de recursos locais, humanos e materiais.

e) Torna desnecessário muitos dos serviços caros ou não disponíveis tais como os financeiros, de transporte, educacionais, de propaganda, gerenciais e de energia. Evita também a perda de controle local que o uso de serviços externos acarreta.

f) Ajuda a estabelecer uma reserva auto-sustentada e crescente de qualificação das comunidades, que parte da situação já existente.

g) Tende a descentralização da produção, permitindo assim que os frutos do trabalho permaneçam no interior da comunidade. Isso faz com que também o controle da produção permaneça dentro da comunidade.

h) Proporciona uma proteção da região contra os efeitos de mudanças econômicas externas (a crise de petróleo, e de matérias primas).

i) Ajuda a diminuir a dependência econômica, social e política entre indivíduos, regiões e nações através do reconhecimento de que as pessoas podem fazer e farão as coisas por seus próprios meios, se os obstáculos existentes forem removidos.

j) Está em harmonia com as tradições culturais da região; isto não significa que esteja estagnada, mas sim que acompanha o desenvolvimento da sociedade e não se contrapõe aos valores que o povo julga importantes; o processo é criado de maneira a ajustar se à cultura ao invés da cultura ser forçada a adaptar-se a tecnologia.

Em linhas gerais pode-se entender o processo apropriado da construção através da prancha 2.2.

Assim colocado de forma ampla o processo apropriado surge como uma alternativa para a construção de habitações, sendo que esta justificada se encontra nas características deste tipo de processo onde o homem se encontra no centro, homem este que atua diretamente na produção e que deve poder tomar decisões que a ele dizem respeito. (40, 41)

A característica mais importante do processo apropriado da construção é sua potencialidade de montar mecanismos para se evitar que a construção e no caso em discussão, a habitação popular siga dependendo da lógica do lucro, isto é, o processo apropriado pode montar mecanismos que tendam a assegurar o controle social da produção habitacional (23). Gostariamos de frisar que existe uma possibilidade em potencial mas que não é apenas este tipo de intervenção que faria com que a construção e no caso a auto-construção se tornasse também um meio para uma transformação social onde o beneficiário no caso fosse o auto-construtor.

	TRADICIONAL	APROPRIADO	MODERNO
MATERIAIS	. Simples	. Simples ou sofisticados	. Sofisticados
	. Matérias primas locais	. Matérias primas locais	. Matérias primas de diversos locais, vários deles distantes.
	. Retirados ou produzidos no local ou nas proximidades por pessoal não especializado.	. Produzido de forma racionalizada no canteiro, por pessoal não especializado.	. Produzido fora do canteiro, na maioria em fábricas por pessoal especializado.
	. Utilização de poucos componentes pré-fabricados.	. Pré-fabricados que não necessitem de equipamento pesado.	. Frequente a pré- fabricação de componentes.
PRODUÇÃO	. Escala muito pequena.	. Escala pequena.	. Grande escala.
	. Entendida, controlada e mantida pelo usuário.	. Entendida, controlada e mantida pelo usuário.	. Entendida e controlada por especialistas.
	. Decisões individuais.	. Decisões coletivas.	. Decisões centralizadas.
MÃO-DE-OBRA	. Baixo grau de especialização.	. Baixo grau de especialização.	. Especializada.
	. Mão-de-obra intensiva.	. Intensiva.	. Parcialmente substituída por equipamentos.
	. Usuário ou pequenos construtores.	. Usuário ou pequenos construtores com ajuda de técnicos.	. Recrutada por grandes construtores.
ENERGIA	. Pouca energia necessária.	. Pouca energia necessária.	. Necessário muito energia.
	. Energia não comercializada e local.	. Energia comercializada mas local.	. Energia comercializada.
EQUIPAMENTOS	. Ferramentas simples	. Ferramentas simples mas elaboradas.	. Equipamentos pesados.
CAPITAL	. Pouco ou nenhum capital.	. Pouco capital	. Capital intensivo
ORGANIZAÇÃO	. Relativamente simples na maioria no canteiro e elaborada pelo usuário.	. Complexa, na maioria no canteiro e elaborada pelo usuário em conjunto com técnicos.	. Complexa, só parcialmente no canteiro e elaborada por especialistas.
TRANSPORTES	. Maioria pelo homem ou por animais.	. Por máquinas leves.	. Por máquinas pesadas.

Prancha 2.2.

3. Estabilização de solos: o solo-cimento

3. Estabilização de solos: o solo-cimento

O processo apropriado da construção se utiliza dos recursos existentes nas comunidades e com os mesmos, capital, material e mão-de-obra procura criar uma forma construída que esteja ao alcance desta comunidade e que haja em sua elaboração uma efetiva participação dos elementos desta mesma comunidade.

O solo se apresenta como um material de construção que pode ser apropriado, devido a sua abundância, sua facilidade de obtenção, de seu baixo custo e às facilidades de aplicação sendo um material bastante conhecido e empregado em soluções de habitação em diversas partes do mundo.

O solo é um dos mais antigos materiais de construção e pode ser utilizado de diversas formas na habitação, além de serem queimados:

a) Adobes são blocos de terra de dimensões superiores que um tijolo,geralmente 12,5 x 25 x 50cm ou 10 x 30 x 45cm que não recebem estabilizadores. São fabricados colocando-se a terra úmida em formas que são retiradas logo após. Os blocos são deixados ao sol para secar e posteriormente são colocados nas paredes, rejuntados com uma pasta da mesma terra anteriormente empregada.

É o método mais simples e primitivo de se construir com terra porém os adobes se fissuram e resistem pouco à umidade.

b) Taipa de sopapo ou taipa de sebe é uma forma de construção que consiste na execução de uma malha de madeira, muitas vezes de bambu ou taquara, suportada por montantes de maior seção;esta malha recebe posteriormente uma pasta de solo que é lançada de ambos os lados, simultaneamente e é deixada secar ao natural. O solo ao secar se retrai apresentando inúmeras fissuras que podem ser reparadas com a aplicação de uma argamassa de revestimento.Este tipo de construção sofre bastante a ação do intemperismo que

pode ser minimizado com a proteção das paredes por beirais.

c) Taipa de pilão é uma forma de construção em terra onde as paredes monolíticas são edificadas pela compactação do solo úmido em uma forma, normalmente 2 pranchas de madeira, que se movimentam ao longo da parede. As fundações são feitas unicamente de terra socada e o solo mais empregado é o argiloso sem a adição de aglomerantes ou agregados, que não pode ser seco demais e nem muito úmido; normalmente a umidade natural de camadas não superficiais é a ideal.

Este tipo de construção normalmente apresenta beirais que protegem as paredes das ações das intempéries. Desta forma, com uma manutenção, podem durar dezenas de anos.

d) Tijolos de argila sem queima é uma manifestação recente de emprego do solo, isto porque, deveu-se ao fato de que só recentemente foram criadas as máquinas de compactação. O solo é sempre compactado, misturado à um estabilizador que garante sua posterior durabilidade. Este tipo de emprego será descrito posteriormente neste trabalho de forma detalhada.

Embora os solos em si possam ser considerados como razoáveis materiais de construção, apresentando boas características mecânicas e um bom isolamento térmico, muitas vezes não apresentam durabilidade e tem baixa resistência aos efeitos da umidade. Isto é um problema na maioria dos casos pois um pequeno índice de precipitação pluviométrica obriga a que haja uma manutenção regular nas construções e muitas vezes até exige uma reconstrução das habitações, como no caso das casas de taipa de sopapo.

Torna-se necessário então acrescentar ao solo qualidades que o tornem mais resistente ao intemperismo sem diminuir sua resistência mecânica. Isto é feito através dos estabilizadores, materiais que são adicionados ao solo ajudando-o a evitar a erosão.

Necessariamente no âmbito deste estudo procurar-se-á estabilizadores de baixo custo ou processos de estabilização de baixo custo que se atenham aos pressupostos do processo apropriado da construção. Todavia, antes do conhecimento dos diversos métodos de estabilização existentes, é necessário se entender melhor o material solo. É o que iremos fazer no próximo item.

3.1 - Solo

A palavra solo tem diversos significados quer quando empregada na agricultura, na engenharia, na geologia ou no planejamento urbano. No contexto deste trabalho o solo é a terra, material resultado da ação do intemperismo sobre as rochas. Este intemperismo se resume nos processos físicos e químicos de ataque.

Os fatores físicos que agem são devidos à expansão e contração térmicas, às forças de expansão do gelo, dos cristais salinos, das raízes das plantas e à erosão pela água, gelo e vento. Os fatores químicos são devidos principalmente à oxidação, à carbonização e à outros processos químicos.

O material resultante deste intemperismo algumas vezes é carreado de seu local de origem pelo vento, pelas chuvas, rios e geleiras e é depositado em um outro local. Estes sedimentos podem ser por sua vez expostos a várias solicitações tais como temperatura e pressão, que irão influenciar mais uma vez suas propriedades. À este solo resultante se dá o nome de solo sedimentar. Aos outros que permanecem no próprio local da rocha-mãe se dá o nome de solo residual.

A definição de solo desta forma é ampla porém caracteriza-se por apresentar na maioria das vezes a fração argila que significa um material de textura terrosa e de baixa granulometria, que desenvolve plasticidade quando misturado com uma quantidade limitada de água. (42, 43, 44)

A argila assim definida é uma rocha finamente dividida, constituida principalmente por argilominerais, outros minerais do tipo calcita, dolomita, gibsita, quartzo, pirita e alumina que não são considerados argilominerais, matéria orgânica e outras impurezas.

Este material apresenta diversas características e serão por nós enumeradas as principais, relacionadas com seu emprego em construção de edifícios e com uso conjunto com estabilizadores. São elas: sua composição, sua distribuição granulométrica, limites de consistência e contração.

3.1.1 - Composição do solo

A composição do solo é um atributo que auxilia sua compreensão principalmente quando o mesmo é empregado conjuntamente com outros materiais, disto resultando uma interação química.

Os minerais que formam o solo podem ser classificados em duas classes: primários e secundários. Os minerais primários são aqueles que podem ser identificados da mesma forma que nas rochas-mãe e que podem ocorrer nos solos como fragmentos ou partículas com esta mesma composição química. Os minerais secundários são aqueles encontrados nos solos, de forma mais complexa e resultantes de uma ação química. A estes minerais se dá também o nome de argilominerais. Na tabela abaixo encontra-se alguns exemplos de minerais primários e argilominerais:

a) Minerais primários	Composição química
quartzo	SiO_2
feldspato	(K, Na e Ca) + Silicatos de Al
mica	(K, MG, Fe e H) + Silicatos de Al
calcita	$Ca\ CO_3$
dolomita	$(Ca, Mg)\ CO_3$

b) Argilominerais	Composição química
caulinita	$Al_2O_3 \cdot 2\ SiO_3 \cdot 2\ H_2O$
montmorilonita	$Al_2O_3 \cdot 4\ SiO_2 \cdot H_2O$
ilita	
clorita	
vermiculita	

Dos minerais primários, o quartzo ou areia é o mais comum constituindo uma boa parcela do solo. Os argilominerais se encontram de forma finamente dividida sendo suas partículas de natureza coloidal.

Conforme o Comitê Internacional para o Estudo de Argilas,(Mackenzie, 1959): Argilominerais "são os minerais constituintes característicos das argilas, geralmente cristalinos; quimicamente são silicatos de alumínio hidratados, contendo em certos tipos outros elementos, como magnésio, ferro, cálcio, sódio, potássio, lítio e outros; após moagem, formam com água uma pasta mais ou menos plástica, que endurece após a secagem ou após a queima".(44)

3.1.2 - Matéria orgânica e sais solúveis

Normalmente as camadas superficiais dos solos apresentam matéria orgânica que influenciam sua estabilização por aglomerantes tais como a cal e o cimento. A retirada de material de camadas mais profundas evita este incoveniente porém a medição do pH de uma mistura de solo e estabilizadores pode ser útil para se detectar a presença de impurezas orgânicas.

A BS 1924, "Methods of test for stabilized soils" sugere um ensaio para se determinar o pH de uma mistura de solo-cimento.Se o pH, medido uma hora após a mistura com a água, for menor que 12,1 o solo é considerado como inadequado para ser estabilizado com quantidades menores que 10% de cimento.

Uma outra impureza prejudicial à estabilização é o sal solúvel inorgânico que, em presença de água pode causar expansão do solo. Os sulfatos são particularmente nocivos pois podem reagir com os argilominerais ou com aglomerantes: cimento e a cal. Existe pouca informações a respeito da quantidade de sulfato tolerada, que depende do tipo do sulfato e da quantidade de argilominerais presente no solo. Porém aceita-se o limite de 1,0% sem que isto represente de forma definitiva o comportamento do solo estabilizado em relação às variações dimensionais.

3.1.3 - Distribuição granulométrica

O solo é geralmente constituido por três partes distintas: partículas sólidas, água e ar, frequentemente conhecidas como fases. As propriedades do solo são definidas pela forma e tamanho das partículas sólidas, isto é, os grãos, sua distribuição de dimensões e sua interação com outras fases que formam o solo. Esta interação também deve ser entendida pelas suas partes, isto é, o papel da água e do ar no processo de atuação conjunta.

A parte sólida do solo se constitui de grãos de diversos tamanhos cercados por uma rede de vazios e de poros que estão cheios de água ou de ar. O tamanho destas partículas e a porcentagem em peso dos grãos de diferentes tamanhos, chamado de fração, é decisivo para o comportamento dos solos sujeito às ações externas. Estas partículas podem ter desde microns até dezenas de milímetros. A tendência usual é a de considerarmos a fração argila, ou o solo argiloso quando apresenta maiores quantidades de partículas menores. Para se classificar o solo é necessário se determinar o tamanho de seus grãos e a porcentagem no peso total representado por suas diferentes frações.

Em termos de laboratório de solos, o tamanho dos grãos é usualmente definido de 2 formas: para grãos maiores que 0,1 mm o tamanho dele é equivalente à largura da abertura da malha da peneira por onde ele passa; para partículas finas, o tamanho do grão é

obtido como o diâmetro de um grão esférico que irá afundar em água na mesma velocidade que o grão irregular (lei de Stokes).Estas são as formas de se determinar o tamanho dos grãos em laboratório. No Brasil o método existente é MB-32, Análise granulométrica de solos (45)

Para se classificar os solos ainda não se tem um sistema internacional. No entanto apresenta-se na prancha 3.1 diversos sistemas classificatórios, quanto a granilometria.

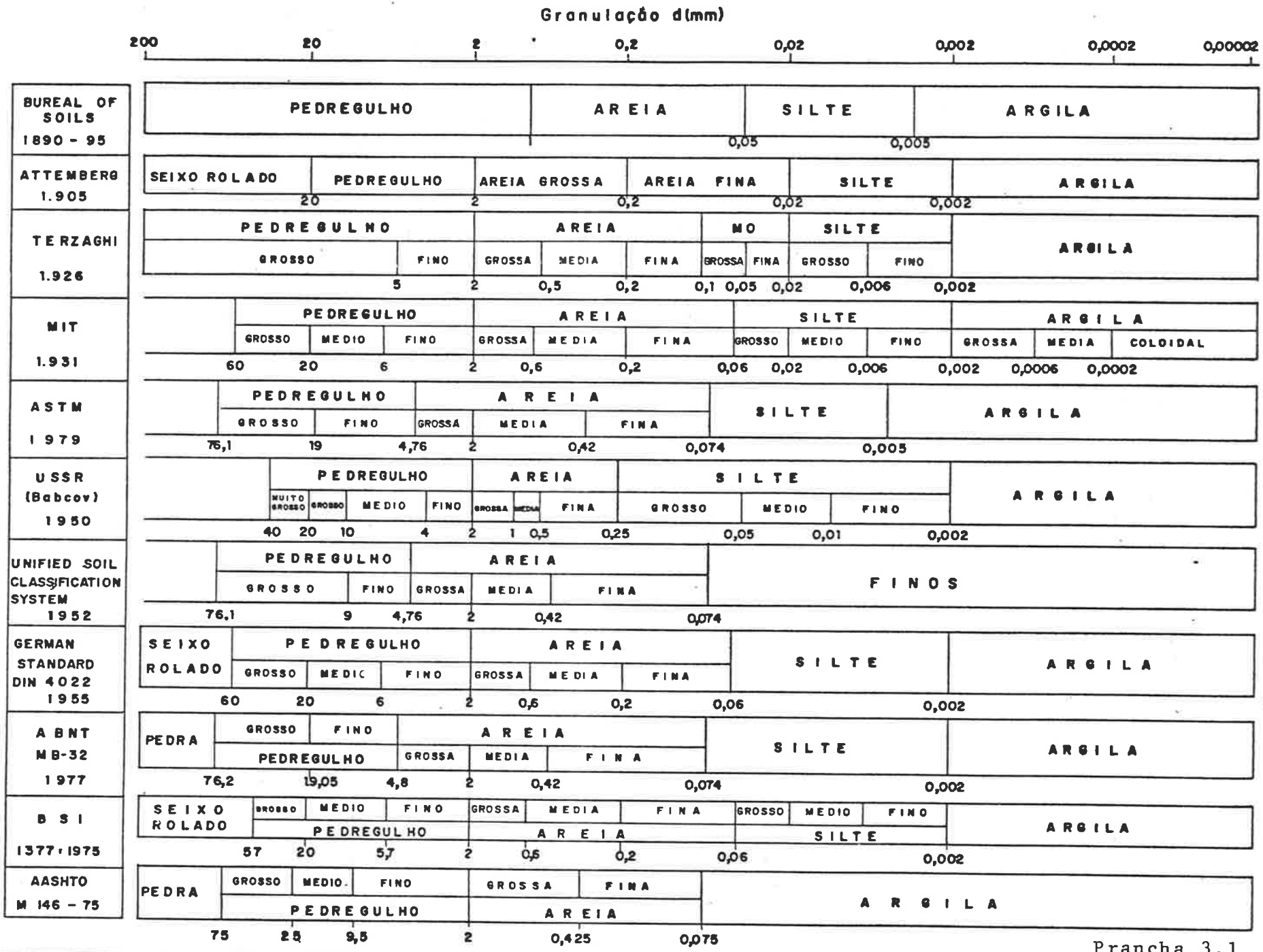
3.1.4 - Limites de consistência

O têrmo consistência é empregado para se descrever o estado físico do solo e está diretamente relacionado com a quantidade de água nele contido. A quantidade de água é o fator determinante na resistência do solo e na sua deformação. Todavia deve-se entender que a mesma quantidade de água pode influenciar de forma diferente, diferentes tipos de solo: por exemplo h= 30% para silte é totalmente diferente que h = 30% para uma argila.

Quando uma argila é misturada com muita água ela se transforma em uma pasta que quase não tem coesão e se comporta como um fluido. Se a pasta for gradativamente sendo seca ela passa do estado plástico podendo então ser moldada. Se continuarmos a secar começa a perder a plasticidade e sua resistência aumenta gradualmente até se tornar rígida. A transição pelos diferentes estados não é abrupta, isto é, não são bem definidas. Os limites de consistência podem então ser definidos com critérios mais ou menos arbitrários.

a) Limite de liquidez

Se se juntar água pouco a pouco a um solo coesivo, chegará um ponto no qual as forças de atração das partículas cessará e a mistura irá se comportar como uma pasta fluida. O limite de liqui


Granulação d(mm)
200 20 2 0,2 0,02 0,002 0,0002 0,00002
BUREAL OF SOILS 1890 - 95
PEDREGULHO
AREIA
SILTE
ARGILA
0,05 0,005
ATTEMBERG 1.905
SEIXO ROLADO
PEDREGULHO
AREIA GROSSA
AREIA FINA
SILTE
ARGILA
20 2 0,2 0,02 0,002
TERZAGHI 1.926
PEDREGULHO
AREIA
MO
SILTE
GROSSO
FINO
GROSSA
MEDIA
FINA
GROSSA
FINA
GROSSO
FINO
ARGILA
5 2 0,5 0,2 0,1 0,05 0,02 0,006 0,002
MIT 1.931
PEDREGULHO
AREIA
SILTE
ARGILA
GROSSO
MEDIO
FINO
GROSSA
MEDIA
FINA
GROSSO
MEDIO
FINO
GROSSA
MEDIA
COLOIDAL
60 20 6 2 0,6 0,2 0,06 0,02 0,006 0,002 0,0006 0,0002
ASTM 1 979
PEDREGULHO
A R E I A
SILTE
ARGILA
GROSSO
FINO
GROSSA
MEDIA
FINA
76,1 19 4,76 2 0,42 0,074 0,005
USSR (Babcov) 1950
PEDREGULHO
AREIA
SILTE
ARGILA
MUITO GROSSO
GROSSO
MEDIO
FINO
GROSSA
MEDIA
FINA
GROSSO
MEDIO
FINO
40 20 10 4 2 1 0,5 0,25 0,05 0,01 0,002
UNIFIED SOIL CLASSIFICATION SYSTEM 1952
PEDREGULHO
AREIA
FINOS
GROSSO
FINO
GROSSA
MEDIA
FINA
76,1 9 4,76 2 0,42 0,074
GERMAN STANDARD DIN 4022 1955
SEIXO ROLADO
PEDREGULHO
AREIA
SILTE
ARGILA
GROSSO
MEDIO
FINO
GROSSA
MEDIA
FINA
60 20 6 2 0,6 0,2 0,06 0,002
A BNT MB-32 1977
PEDRA
GROSSO
FINO
A R E I A
SILTE
ARGILA
PEDREGULHO
GROSSA
MEDIA
FINA
76,2 19,05 4,8 2 0,42 0,074 0,002
B S I 1377:1975
SEIXO ROLADO
GROSSO
MEDIO
FINO
GROSSA
MEDIA
FINA
GROSSO
MEDIO
FINO
ARGILA
PEDREGULHO
A R E I A
SILTE
57 20 5,7 2 0,6 0,2 0,06 0,002
AASHTO M 146 - 75
PEDRA
GROSSO
MEDIO
FINO
GROSSA
FINA
A R G I L A
PEDREGULHO
AREIA
75 25 9,5 2 0,425 0,075

Prancha 3.1

dez (LL) é então definido como a quantidade de água para levar o solo à este estado. Esta definição não é clara porém a necessidade de se ter um valor e reproduzir este valor em diversas situações levou a se desenvolver um método para a determinação de LL.

O aparelho para a determinação de LL foi proposto em 1932 por A. Casagrande e desde então tem sido internacionalmente empregado. No Brasil, a ABNT normalizou este equipamento através do MB-30/1969 sendo o limite de liquidez definido como a umidade expressa em porcentagem, que estabelece a fronteira entre o estado plástico e o estado líquido do solo representada arbitrariamente pela umidade na qual os dois lados de um corte executado no solo juntam-se por uma distância de 10 milímetros ao longo da linha de separação, quando se deixa cair a concha na qual o solo está contido 25 vezes contra a base, a partir de uma altura de 10 mm (46)

Todo solo tem um valor definido de LL expresso através do teor de umidade que é uma forma de classificá-lo e de identificá-lo. Obviamente quanto maior o grão do solo, menor é sua superfície específica e menor sua capacidade de absorver água. Consequentemente menor será o valor numérico do LL . O menor valor é obtido para areias, LL de 15% a 20%. Para argilas este valor é maior pois é necessário mais água para transformar em pasta, solos com maior superfície específica. O limite de liquidez para argila é no mínimo igual a 40%, mas normalmente este valor é maior, de 60 a 80%. Se o LL for menor que 35%, o solo é considerado de baixa plasticidade. Para solos de média plasticidade o LL varia entre 35 a 50% e para aqueles de alta plasticidade o LL será superior a 50%.

b) Limite de plasticidade

Se a pasta de solo for sendo seca gradualmente, ela vai perdendo sua plasticidade, isto é, vai deixando de ser moldável. A umida

de do solo na qual ele passa de um estado plástico para um estado semi-sólido é chamado limite de plasticidade. A MB-31/1977 define a LP como a umidade que delimita os estados plástico e semi-sólido de um solo, definida arbitrariamente como a menor umidade na qual o solo pode ser moldado na forma de cilíndro de 3mm de diâmetro, sem se fragmentar. (47)

O intervalo de valores que o LP pode assumir é bem menor que do LL . As areias não possuem estado plástico. Para areias finas LP = 25 a 35%.

A diferença entre o LL e o LP é chamado de índice de plasticidade IP = LL - LP. Solos que não possuem LP também não possuem IP. O índice de plasticidade representa o intervalo de umidade que torna o solo plástico, isto é, é uma medida da coesidade do solo, sendo útil na classificação dos solos. Quando maior o IP geralmente maior é a atração entre as partículas do solo.

3.1.5 - Limite e relação de contração

A contração é a diminuição do volume do solo quando submetido à secagem.

Este fenômeno é prejudicial quando o solo é empregado como material de construção pois normalmente é moldado no estado úmido sendo posteriormente seco e nesse processo podem surgir fissuras que comprometem a estabilidade da edificação. Os estabilizadores empregados procuram diminuir esta contração evitando variações dimensionais que possam sem incompatíveis com a solução construtiva adotada.

A ABNT, através do MB-55, Método de determinação do limite e relação de contração de solos, estabelece formas para se quantificar o fenômeno. O método consiste em se preencher um certo volu

me normalizado com solo úmido, V_1 e deixar o solo secar em estufa a 105 - 110°C até constância de peso, anotando-se o peso P_2 e o volume V_2.

O limite de contração LC é calculado pela fórmula $(\frac{V_2}{P_2} - \frac{1}{\delta}) \times 100$ onde δ é a massa específica dos grãos de solo. A relação de contração RC, é calculada pela fórmula P_2/V_2.

Apesar do fenômeno ser considerado importante não existe um parâmetro para esta especificação, isto é, não se estabelece valores máximos de contração e além disso esta determinação não é feita atualmente ao se trabalhar com o solo em construção de habitações.

3.2 - Estabilização de solos

Como vimos o solo pode ser empregado como material de construção de habitações, praticamente da forma como é encontrado "in natura". Isto é aconselhado apenas em regiões onde o solo seja de boa qualidade (avaliação feita em experiências locais) ou regiões de baixa ou nenhuma precipitação pluviométrica.

Nos outros locais aconselha-se o uso de estabilizadores que são adicionados ao solo evitando erosão, de três maneiras:

a) consolidação

Quando o solo está consolidado, suas partículas se aproximam e portanto seu atrito interno aumenta. À medida em que se torna mais compacto, o número de vazios se reduz, e isso evita a penetração de água que pode afetar o atrito interno, a coesão do solo e causar mudanças de volume. A forma de se consolidar o solo é juntar a ele partículas de um outro solo de granulometria adequada.

b) impermeabilização

A impermeabilização consiste em adicionar ao solo materiais impermeabilizantes que a ele se combinam formando misturas estáveis com muita resistência à penetração de água. Além disso eles também aumentam a coesão de alguns solos pois esses materiais são pegajosos. Um dos requisitos mais importantes para este método de estabilização é a mistura uniforme entre o solo e o impermeabilizante. O incoveniente deste processo é de que algumas vezes o material impermeabilizante é atacado por bactérias existentes no solo e com isso a absorção de água é elevada tornando o resultado instável.

c) adição de um aglomerante

Este método consiste em misturar o solo com materiais que o aglomere tornando suas partículas firmemente unidas umas às outras sem ser afetado pelas variações de umidade, produzindo um material resistente e durável. Para este tipo de estabilização o solo pulverulento é misturado com o agente aglomerante e com suficiente quantidade de água para possibilitar seu enrijecimento.

Na prática a maioria dos estabilizadores age de mais de uma maneira acima descrita e a divisão proposta é apenas para facilitar a compreensão do fenômeno da estabilização para o qual vamos voltar quando analisarmos uma das formas específicas através de um aglomerante hidraúlico.

São vários os tipos de estabilizadores existentes sendo os mais comuns (48):

a) Areia: a areia é um estabilizador para solos argilosos, evitando variações dimensões excessivas; porém quando usado com solos muito argilosos é dificil se conseguir uma mistura homogênea.

b) Argila: a argila é um estabilizador para solos muito arenosos e seu papel é de aglomerante das partículas de maiores dimensões.

c) Cimento: utilizado sobretudo para estabilizar solos arenosos; é um produto relativamente caro,porém no Brasil seu emprego é largamente difundido.

d) Cal: a cal estabiliza bem os solos argilosos, porém leva muito tempo para atingir sua resistência máxima. O processo de estabilização está descrito mais adiante (vide 4.2).

e) Cal e cimento: utilização conjugada dos materiais acima mencionados; normalmente é empregado em solos argilosos.

f) Asfalto: foi empregado a milhares de anos na Babilônia e na Assíria em diversas construções sob a forma de adobes. O asfalto natural é viscoso e difícil de se misturar com o solo e por isso hoje se emprega a emulsão asfáltica que é o asfalto tendo como veículo a água. Esta evapora e o asfalto forma um filme em torno das partículas, aglomerando-as, impedindo a entrada de água.

g) Palha e outras fibras vegetais: empregado na fabricação de adobes apresentam a vantagem de aumentar sua resistência à tração, isto é, evitar fissuras devido às variações dimensionais;porém as fibras criam canais por onde a água percola e acredita-se que as fibras estabilizam pouco os solos.

h) Cal e cinzas volantes: as cinzas volantes são pós finos obtidos da combustão da hulha, do carvão e de outros combustíveis sólidos; quando usado com a cal estabiliza bem tanto os solos argilosos como os arenosos.

i) Silicato de sódio (Na_2SiO_3): é um estabilizador para solos arenosos; mistura-se 1 parte de silicato com 3 partes de água e

aplica-se a solução como revestimento exterior, fazendo com que a mesma penetre no solo.

j) Cinzas de madeira: é a cal ou o cálcio nelas contidas que estabilizam o solo; as melhores cinzas são as finas, completamente consumidas.

l) Outros: além dos acima mencionados existe uma quantidade considerável de outros estabilizadores empregados em diversas regiões do mundo e em diversas épocas da história. Cabe apenas citar alguns para exemplificar a variedade de possibilidades: resinas obtidas das seivas dos vegetais tais como os óleos de coco e mamona, ácido tânico, folhas de bananeira deteriorada, urina e excremento de gado, melaço, goma arábica e gordura de baleia.

3.3 - Solo-cimento

A estabilização dos solos com o cimento é uma das formas existentes de melhorá-lo podendo ser entendida como uma alternativa tecnológica para a habitação popular, dentro de certos limites; estes limites se referem principalmente ao custo do cimento que é discutido mais adiante.

O solo-cimento é constituído de solo, cimento, água e eventualmente aditivos que são misturados e submetidos à uma compactação, resultando um material mais resistente que o solo. Este material foi empregado pela primeira vez em 1915 nos Estados Unidos onde o Engº Bert Reno pavimentou uma rua com uma mistura de conchas marinhas, areia de praia e cimento Portland; porém só em 1935, a Portland Cement Association, PCA, iniciou pesquisas estudando a tecnologia deste material. Desde então o solo-cimento tem sido empregado principalmente em pavimentação de estradas e aeroportos. Além disso também se conhece utilizações em revestimentos de canais, diques, reservatórios e barragens de terra, estabilização de taludes, em tijolos, blocos e painéis para construção de moradias.

Em termos de habitação já existe muita pesquisa desenvolvida, contudo a maioria delas é regional, pelo próprio caráter local do solo-cimento. Uma das instituições que mais se preocupou com o solo-cimento foi o CINVA, Centro Interamericano de Vivienda da Colombia que chegou a criar uma prensa para tijolos que levou o nome de CINVA-RAM, no início da década de 60. A United Nations Soil Construction for Housing baseando-se em experiências em várias partes do mundo publicou através do Department of Economic and Social Affairs o "Soil-Cement, its use in building" que procura, com uma linguagem simples tornar o assunto acessível a mestres de obra e empreiteiros que atuam diretamente na obra com problemas técnicos imediatos. (48, 49, 50)

Desde o início dos anos 60 o assunto é estudado em termos internacionais. No Brasil, a partir de meados da década de 70, começam a surgir preocupações com o tema da questão tecnológica na habitação popular e com isso surge a alternativa solo-cimento que tem sido estudado principalmente no IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, no CEPED, Centro de Pesquisas e Desenvolvimento do Estado da Bahia e na ABCP, Associação Brasileira de Cimento Portland.

A adição de cimento ao solo permite obter um material com as seguintes vantagens:

- a absorção e a perda de umidade não causam variações volumétricas;
- não se deteriora quando submerso em água;
- a resistência à compressão semelhante ao tijolo de barro cozido.

Em princípio, qualquer solo pode ser empregado, excetuando-se os orgânicos. Porém, dependendo do solo, é preciso adicionar maior ou menor quantidade de cimento afim de se obter um bom resultado.

Desta forma, para se avaliar a conveniência ou não de se empre

gar o solo-cimento, é preciso fazer-se além do estudo técnico,um estudo econômico, porque se a quantidade de cimento necessária for muito grande, seu uso pode deixar de ser vantajoso.

Uma das principais vantagens do solo-cimento é a economia de transporte uma vez que o solo empregado na mistura é o encontrado no próprio local, ou nas proximidades. Além disso emprega- se pouca energia, ressalva feita a seu consumo pela indústria de cimento.

Quanto ao emprego de mão-de-obra ela não necessita ser especializada sendo seu uso intensivo orientado por pessoas que facilmente podem transferir esta tecnologia empregando ferramentas simples.

Do ponto de vista da organização social do trabalho a fabricação deste material pode possibilitar uma integração dos individuos em torno da produção permitindo que os resultados e os produtos permaneçam na comunidade auxiliando o seu fortalecimento e desenvolvendo a idéia de que esta mesma comunidade tem condições de se gerenciar produzindo bens para seu benefício.

Estes pressupostos estão de acordo com o conceito de processo apropriado de construção já mencionado e serão explicitados mais adiante quando irá se detalhar duas formas de emprego do solo-cimento, como tijolo e como parede monolítica.

3.4 - Cimento

O cimento é um material pulverulento, calcário, que misturando com a água forma uma pasta plástica que dá pega e endurece podendo aglomerar uma boa proporção de materiais inertes, areia,solo, cascalho e pedregulho (51).

Seus constituintes apresentam propriedades hidraúlicas e proprie

dades pozolânicas (52):

- as propriedades hidraúlicas correspodem à aptidão do produto em dar pega e a endurecer em presença de água com a formação de compostos estáveis.
- as propriedades pozolânicas correspondem a aptidão do produto em fixar a cal na temperatura ambiente, em presença de água, e a formar compostos com propriedades hidráulicas.

O cimento não é um material novo. Os egípcios e os gregos já o utilizavam para assentar tijolos e pedras na construção de edifícios e obras públicas e os romanos desenvolveram este material tornando possível a execução de monumentos que perduram até os dias atuais.

Os primeiros cimentos foram executados com a cal virgem e a areia. A cal virgem quando adicionada à água se transforma em cal hidratada e esta, posteriormente reage com o CO_2 do ar convertendo-se em carbonato de cálcio, material resistente à esforços mecânicos e às intempéries.

A alta qualidade dos cimentos romanos, que é evidente nos edifícios desta época, deve-se em grande parte à descoberta de que a cal misturada com materiais silícicos reativos, principalmente cinzas vulcânicas pozolânicas, resulta um cimento de elevada resistência mecânica e resistência à água. O cimento romano executado desta forma foi empregado com sucesso até o final do século dezoito. (53)

A etapa seguinte no desenvolvimento deste material se deu no início do século XVIII com o conhecimento das qualidades das cales hidráulicas quando seu endurecimento foi explicado por Vicat pela presença de argila no calcáreo utilizado.

Embora ainda haja dúvidas a respeito da invenção do cimento Portland, aceita-se como inventor, Joseph Aspdin, um construtor de

Leeds, que o patenteou em 1824. Este cimento foi obtido pelo cozimento parcial (sinterização) de uma mistura de calcário e argila, isto é, de cal (CaO), de sílica (SiO_2) e em menores proporções, de alumina (Al_2O_3) e de óxido de ferro (Fe_2O_3) em um forno a elevadas temperaturas. Esta é a base do processo de fabricação que é empregado ainda hoje. Durante o cozimento estas matérias primas se combinam produzindo o clinquer (esferas de 1 a 3 cm de diâmetro) que posteriormente são moídas até se apresentarem como pó.

A EB-1/1977 da ABNT define o cimento Portland comum como o aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clinquer Portland constituído em sua maior parte de silicatos de cálcio hidratados(54).

A maior parcela do cimento produzido no Brasil é do tipo Portland comum que, em 1978, representava 86,3% do total da produção. Além dele, são também fabricados os de alta resistência inicial, o de alto forno, o pozolânico, o de moderada resistência a sulfatos e o de alta resistência a sulfatos (55, 56). O SNIC, Sindicato Nacional da Indústria do Cimento, fornece dados a respeito da produção de cada um dos tipos além de informações gerais a respeito do setor.(57, 58)

3.4.1 - Fabricação de cimento

A fabricação do cimento Portland consiste em se reunir matérias-primas, calcário e argila, contendo cal, sílica, alumina e óxido de ferro, pulverizá-las e misturá-las intimamente e, aquecê-las até a temperatura de clinquerização, isto é, de fusão incipiente. O clinquer assim obtido é resfriado rapidamente até a temperatura ambiente e moido com a quantidade de gesso necessária para regular a velocidade de pega.

O calcário é o carbonato de cálcio ($CaCO_3$) que se apresenta na natureza com impurezas e que nos fornece a cal. A argila é cons

tituída de silicatos hidratados complexos de alumínio, de ferro e de outros elementos fornecendo os óxidos SiO_2, Al_2O_3 e Fe_2O_3. O gesso é constituído por sulfatos de cálcio hidratados regulando o tempo de pega.

A moagem das matérias-primas, homogeneização e transferência da mistura crua para o reator, o forno, são essencialmente de dois tipos, configurando os dois processos clássicos de fabricação:

- via seca: sem adição de água na operação de mistura calcário-argila.
- via úmida: com adição de água na operação de mistura. As matérias-primas ficam em forma de pasta em suspensão na água.

Os dois processos decorrem de condições técnicas e econômicas peculiares, não havendo influência deles quanto às características físicas e químicas do produto final, desde que a condução do processo seja tecnicamente recomendada. Os fatores relevantes na escolha do processo são os seguintes:

- teor natural de umidade das matérias-primas;
- disponibilidade e facilidade de adição de água;
- custo do combustível.

O processo por via úmida é preferível nos casos em que as matérias-primas contém teor natural de umidade muito elevado e quando o calcário disponível é do tipo decomposto (marga).

O processo por via seca é recomendado quando o teor de umidade natural das matérias-primas é baixo e quando o custo do combustível é elevado.

3.4.2 - Consumo de energia (59)

A indústria de cimento pode ser classificada como utilizador intensivo de energia. Portanto uma análise do consumo de energia é

fundamental para o estudo deste produto principalmente quando o custo desta energia tem se mostrado bastante elevado e com tendências de rápido crescimento.

Os processos por via úmida e por via seca variam de consumo de energia e as informações a respeito do dispêndio teórico de calor são variados. Porém o mesmo gira entre 1100 a 1500kcal/kg de clínquer no processo por via úmida, enquanto que no seco o consumo teórico baixa para 700 a 1000 kcal/kg de clínquer,o que,sem dúvida representa apreciável economia. Um levantamento realizado em 1977 no Brasil indicou que o dispêndio por via úmida girava em torno de 1610 kcal/kg de clinquer e por via seca, em média, 880 kcal/kg de clinquer. Para este ano (1977) o valor do consumo energético médio foi de 1220 kcal/kg de clinquer.

CONSUMOS MÍNIMOS DE CALOR ATINGÍVEIS NA PRÁTICA EM KCAL POR KG DE CLINQUER
(Segundo N.E. Hartrup)

	Processo Úmido kcal/kg	Processo Incluindo Pelotização kcal/kg	Processo Utilizando mistura crua seca kcal/kg
Calor de reação	400	400	400
Perdas de calor:			
. nos gases	80	40	130
. aquecimento e evaporação de água	440	130	5
. por radiação	100	60	60
. no resfriador	60	95	130
Total	1.080	725	725
Premissas adotadas:			
a) Percentagem de água na mistura crua.	-	0	7 a 8%(no máximo)
b) Percentagem de água na pasta.	32%	12%	-
c) Temperatura de saída dos gases.	120°C	100°C	300°C
d) Aquecimento	Óleo	Óleo	Óleo
e) Perdas em poeiras	Nulas	Nulas	Nulas

A tabela anterior apresenta o consumo mínimo de calor atingível na prática em kcal/kg de clinquer, segundo N.E. Hartrup, admitidas as condições nele pressupostas relativamente ao teor de água na mistura crua, ao tipo de combustível e às condições de aquecimento.

Sabe-se que na fabricação do cimento, os combustíveis para a clinquerização podem ser o óleo, o gás natural, os carvões e o coque sendo que a escolha recai sobre uma avaliação do custo da energia térmica empregada. No Brasil, até hoje, devido ao preço elevado do carvão nacional e à sua qualidade inferior, a indústria preferiu utilizar o óleo combustível. Além disso a subvenção outorgada ao consumo dos derivados de petróleo e mais especificamente ao do óleo combustível fez com que este insumo energético fosse mais empregado.

Dessa forma, a indústria nacional de cimento está quase exclusivamente baseada em óleo combustível o que, perante a situação mundial de preços de petróleo e a escassez desta matéria- prima no país, torna este setor industrial extremamente vulnerável às condições externas.

Além disso, um outro dado nos confirma esta preocupação com o custo da energia: os custos diretos na indústria cimenteira brasileira englobam os seguintes itens assim distribuidos.

Insumos físicos	Participação no Custo total
Óleo Combustível	27% a 35%
Matérias primas (cálcario, gipsita, argila, etc.)	4% a 10%
Energia Elétrica	6% a 8%
Mão-de-obra	9% a 12%
Outros (corpos moedores, tijolos refratários)	2% a 3%

Fonte: Consultec

3.4.3 - Algumas considerações

Em 1967, a Consultec elaborou um estudo para o SNIC, e para a ABCP, onde são levantadas algumas características localizando a indústria do cimento na economia do país. Cabe mencionar os pontos e as conclusões mais importantes deste estudo, que junto com as análises feitas nos apresentam um bom quadro deste setor industrial (60, 61)

- a indústria de cimento no Brasil é campo exclusivo da iniciativa privada, a qual deu um excelente exemplo de dinamismo no setor, conseguindo em menos de 40 anos assegurar praticamente auto-suficiência ao país, passando de uma produção de 13.000t em 1926 para 6.000.000t em 1966 (23.000.000t em 1978)

- as instalações adotaram boas tecnologias, existindo amplo know-how doméstico.

- as matérias primas são abundantes, embora pareçam escassear calcários no Extremo Norte e no Extremo Sul; dentro de alguns anos haverá que cuidar dos problemas de localização das fábricas e de distribuição do produto para Rio e São Paulo examinando as alternativas transporte do calcário ou transporte de clinquer e/ou cimento.

- na análise do custo do cimento fabricado e vendido no Brasil, verifica-se maior incidência unitária do combustível, da gipsita e da energia elétrica; outrossim, cabe salientar que as fábricas brasileiras ainda são de pequeno a médio porte, não apresentando portanto economias de escala.

- o consumo "per-capita" de cimento no Brasil é baixo, tendo sido de 72 kg em 1966, valor esse pouco acima da metade do que corresponde à Argentina (135 kg), fato que permite prever a necessidade e a iminência de considerável expansão para a in

dústria; (consumo "per-capita" em 1977, 189 kg)

- estabelecendo-se uma equação de regressão entre o consumo"per capita" e o índice do produto real "per-capita", prevê-se que a demanda de cimento em 1975 deverá estar entre 11.000.000t e 13.700.000t o que indica, descontando os projetos em andamento, que a indústria quase que deverá dobrar sua atual capacidade instalada para continuar assegurando ao País auto-suficiência cimenteira; (dado obtido em 1975 de 16.700.000t)

- análise comparativa entre os preços do cimento brasileiro e de alguns produtos estrangeiros e entre os custos diferenciais dos respectivos insumos, indica que os custos da produção nacional terão que ser sistematicamente mais elevados, devido aos valores mais altos do combustível, da energia elétrica e da gipsita; apesar disso, o preço de venda do produto brasileiro insere-se na faixa de variação dos similares estrangeiros, mas a maioria dos casos, para os mercados consumidores próximos ao litoral, não poderá a indústria dispensar a proteção aduaneira enquanto perdurar a atual estrutura de custos;

- a indústria brasileira adotou em sua esmagadora maioria o processo úmido e vem apresentando um consumo unitário de óleo combustível excessivo; tudo deve ser feito sempre que as matérias-primas permitirem, para que as ampliações e as novas fábricas adotem os modernos processos secos, com recuperação de calor, tendo de se admitir até que existem casos, devidamente estudados, em que se justifique a conversão das instalações por via úmida para via sêca (as economias de combustível podem ir a 50% das cifras atuais de consumo).

- os aproveitamentos das escórias granuladas de alto forno,caso disseminados, poderão aumentar as ofertas de cimento e baixar o preço de alguns produtos; a medida teria grande significado sob o ponto de vista de conservação de recurso natural não disseminado uniformemente no País, os calcários; há conveniên

cia da indústria adotar processos de despoeiramento, além das questões de higiene industrial e de combate à poluição do ar, tais instalações se pagam em poucos anos devido ao aumento da produtividade que acarretam".

4. Interação solo - cimento

4. Interação solo-cimento

No estudo da interação solo-cimento é de capital importância se entender os processos de interação argila-cimento e mais especificamente argilominerais-cimento. (62)

Os argilominerais são os minerais de argila, partículas cristalinas extremamente pequenas, compostos por silicatos hidratados de alumínio e ferro, contendo ainda teores de elementos alcalinos e alcalinos terrosos. O Comitê Internacional pour l'Etude des Argiles define argilomineral como "silicatos hidratados de reticulado ou rede cristalina em camadas ou de estrutura fibrosa, constituídos por folhas, planos ou camadas contínuas de tetraédros SiO_4, ordenados em forma hexagonal, condensados com folhas ou camadas octaédricas; os argilominerais são essencialmente constituídos por partículas de pequenas dimensões" (47)

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

4.1 - O endurecimento do cimento

O cimento portland é basicamente uma mistura de silicatos de cálcio, com predominância dos dicálcicos e tricálcicos que podem ser escritos na forma abreviada de C_3S e C_2S (Na química do cimento adotada-se o notação C, S, A, F e H para representar respectivamente o CaO, SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 e H_2O). Além deles encontramos uma pequena proporção de aluminatos tricálcicos, C_3A e ferro-aluminatos tetracálcicos, C_4AF. A grosso modo podemos dizer que o cimento portland possui 50% em peso de C_3S, 25% de C_2S, 10% de C_3A, 10% de C_4AF e 5% de outros óxidos. (63, 64)

As reações de endurecimento em uma pasta de cimento e água estão

associadas principalmente com a hidratação dos silicatos, C_3S e C_2S. A forma como eles reagem difere consideravelmente porém o produto final em ambos os casos é praticamente o mesmo: um gel coloidal de silicatos de cálcio hidratados que possuem composição e estrutura bastante indefinidas. No cimento endurecido, este gel forma o principal agente aglomerante entre os grãos do cimento que ainda não reagiram e outros produtos cristalinos de hidratação, isto é, hidróxidos de cálcio, aluminatos hidratados e outros.

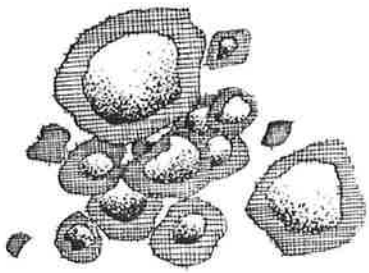
Dos dois silicatos, o C_3S está associado com o endurecimento que ocorre durante os primeiros estágios de hidratação, nas primeiras idades. O C_2S que reage mais vagorosamente é provavelmente responsável pelo desenvolvimento contínuo da resistência, podendo se estender por meses e até anos.

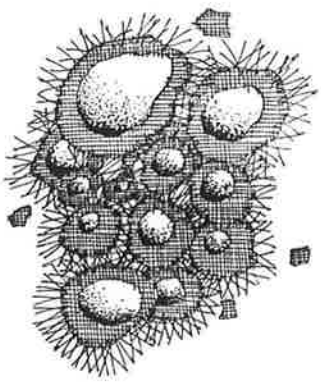
A contribuição dos aluminatos para a resistência mecânica é discutível porém deve ser relativamente pequena.

4.1.1 - O endurecimento como fenômeno físico

O endurecimento dos aglomerados hidraúlicos se divide em duas fases: a pega e o endurecimento propriamente dito sendo esta divisão não muito precisa. A pega é o início do endurecimento e o início da pega corresponde à uma descontinuidade na viscosidade da pasta; considera-se que a pega terminou quando a pasta não mais se deforma sob a ação de esforços moderados.Acredita-se que a pega é antes de tudo uma consolidação de natureza física. Por exemplo, no caso de cimento Portland, há a formação após a mistura com a água de compostos hidratados insolúveis entre o sulfato de cálcio e a superfície dos grãos de aluminato tricálcico. Este gel aquoso fixa em sua superfície outras moléculas de água e as forças capilares e de adsorção resultantes criam uma ligação física entre os grãos de cimento. O endurecimento propriamente dito resulta da hidratação progressiva dos constituintes anidros do aglomerante. (65)

Ao se observar através de um microscópio as reações de hidratação de um cimento notamos que o processo se inicia logo após a adição de água. Em duas horas os grãos cristalinos e angulares do cimento são envolvidos por uma membrana gelatinosa de material hidratado. Estes grãos se unem através dos pontos de contactos das membranas respectivas e a rede assim formada contribui para a diminuição de plasticidade ao longo do tempo. Isto representa a pega.





O desenvolvimento irreversível da resistência mecânica durante o endurecimento, que se inicia após 3 ou 5 horas, está associado a uma mudança de microestrutura do cimento. A membrana gelatinosa que envolve os grãos de cimento desenvolve pequenas protuberâncias em sua superfície. Após algum tempo elas se transformam em fibrilas densamente empacotadas saindo radialmente dos grãos de

cimento. Este desenvolvimento em forma de fibrilas é o produto cálcico silicato hidratado resultado de reação entre cimento e a água. Ao mesmo tempo o hidróxido de cálcio precipita e forma grandes cristais angulares. A medida que a hidratação se desenvolve as fibrilas de gel gradualmente penetra na região entre os grãos de cimento adjacentes. O tecido assim formado aglomera toda a massa existente: os grãos residuais de cimento não hidratado, os produtos cristalinos resultados da hidratação e, no concreto,os agregados, areia e pedra.

4.1.2 - Reações de Hidratação

a) Silicato tricálcio - C_3S

$$2\ C_3S + 6\ H_2O \longrightarrow \underbrace{3\ CaO\ .\ 2\ SiO_2\ .\ 3\ H_2O}_{\text{tobermorita}} + \underbrace{3\ Ca(OH)_2}_{\text{cal hidratada}} + \text{calor} \nearrow$$

- o C_3S é o mais instável dos silicatos do cimento.
- a hidratação começa dentro de poucas horas.
- o composto anidro vai passando para a solução, aparecendo cristais de Ca $(OH)_2$, enquanto uma massa gelatinosa de silicato hidratado se forma em torno dos grãos originais.
- tem pega lenta e endurecimento rápido.
- desenvolve elevadas resistências iniciais.
- libera grande calor de hidratação intensificando o perigo de fissuramento.
- libera grande quantidade de cal dando ao produto acabado um alto grau de alcalinidade sendo este, sensível ao ataque e dissolução de águas ácidas, puras e carbônicas agressivas.

b) Silicato Dicálcio - C_2S

$$2\ C_2S + 4\ H_2O \longrightarrow \underbrace{3\ CaO\ .\ 2\ SiO_2\ .\ 3\ H_2O}_{\text{tobermorita}} + Ca\ (OH)_2 + \text{calor} \nearrow$$

- a reação de hidratação de inicia lentamente, após algumas semanas.

- depois de semanas os cristais se recobrem de silicato hidratado desenvolvendo elevadas resistências a longo prazo.
- tem pega lenta e endurecimento lento.
- libera pouco calor de hidratação oferecendo pouco perigo de retração e fissuramento.
- libera pouco quantidade de cal sendo aconselhável para ambientes de águas agressivas.

c) Aluminato Tricálcio - C_3A

$$C_3A + 6\ H_2O \longrightarrow 3\ CaO\ .\ Al_2O_3\ .\ 6\ H_2O + \text{calor} \nearrow$$

- a reação de hidratação se inicia imediatamente.
- desenvolve pequena resistência inicial.
- libera grande calor de hidratação intensificando o perigo de fissuramento.
- não libera cal.
- é muito sensível à ação agressiva dos sulfatos com os quais reage dando compostos expansivos, etringita ou sal de Candlot.

d) Ferro Aluminato Tetracálcio - C_4AF

$$C_4AF + 2\ Ca\ (OH)_2 + 10\ H_2O \rightarrow 3\ Ca\ Al_2\ O_3\ 6H_2O + 3\ Ca\ O\ Fe_2O_3\ 6H_2O$$

- a reação de hidratação se inicia rapidamente.
- desenvolve pequena resistência inicial.
- tem pega lenta e endurecimento rápido.
- libera pouco calor de hidratação.
- possue ótima resistência ao ataque de águas agressivas e sulfatos.

e) Resumo

Propriedade	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
1. Resistência mecânica	Boa	Boa	Fraca	Fraca
2. Intensidade de reação	Média	Lenta	Imediata	Rápida
3. Calor liberado	Médio	Pequeno	Grande	Pequeno
4. Proteção as armaduras.	Grande	Média	Nenhuma	Pequena
5. Durabilidade	Média	Boa	Péssima	Excelente

4.2 - Interação entre cal e argilominerais

É importante se conhecer a interação entre argilominerais e cal para se entender o processo argila-cimento e solo-cimento pois o óxido de cálcio ou a mistura de óxido de cálcio e óxido de magnésio são criados durante a hidratação do cimento Portland.(66,67)

A "cal", de fórmula molecular CaO ou CaO.MgO é resultante da combinação do oxigênio com o metal cálcio e o metal magnésio devendo ser entendida como produtos comerciais e não como produtos químicos normalizados pois designa as mais diversas misturas de óxido de cálcio e óxido de magnésio, e mesmo alguns dos derivados desses óxidos alcalinos terrosos, com as mais variadas impurezas.

A obtenção da cal envolve a calcinação dos calcários ou dolomitos, através de uma decomposição térmica. Quimicamente, a obtenção dos óxidos de cálcio e magnésio exige que o calcário ou o dolomito seja aquecido até a temperatura de dissociação dos carbonatos e aí mantido por um certo tempo, em ambiente onde a remoção do dióxido de carbono seja possível, tal como representa a expressão estequiométrica reversível seguinte:

$$CaCO_3 + \text{Calor} \rightleftarrows CaO + CO_2$$

$$CaCO_3 \cdot MgCO_3 + \text{Calor} \rightleftarrows CaO \cdot MgO + 2\ CO_2$$

A cal hidratada é definida como o pó obtido pelo tratamento da cal virgem ou simplesmente cal, pela água, em quantidade bastante para satisfazer a sua afinidade química, nas condições de hidratação.

Qualquer que seja o tipo do forno de calcinação, o produto resultante da queima é a cal virgem, óxido de cálcio ou óxido de cálcio e magnésio não hidratado. A eficiência térmica da operação varia, podendo atingir até 55%. O produto granulado ou pó, tem composição química variável, em torno dos teores seguintes(em %):

	Cal cálcica	Cal magnesiana ou dolomitica
CaO	90 a 98	64 a 57
MgO	0,3 a 3,0	36 a 41
SiO_2	0,2 a 5,0	0,2 a 6,0
Fe_2O_3	0,1 a 0,5	0,1 a 0,5
Al_2O_3	0,1 a 0,6	0,1 a 0,6
CO_2	0,4 a 2,5	0,4 a 2,5
SO_3	0,01 a 0,1	0,01 a 0,1
P	traços a 0,05	traços a 0,05

As reações que se dão entre argilominerais e a cal podem ser divididas em 2 diferentes tipos: as que se dão rapidamente: troca de íons e floculação, e reações lentas: carbonatação, reação pozolânica e a formação de novos materiais.

A adição de cal à argila causa floculação pelo aumento do conteúdo eletrolítico da água dos poros e também como resultado da troca de íons da argila pelo cálcio. Estes fenômenos de troca iônica estão relacionados com a capacidade dos argilominerais de, quando na presença de certas soluções, absorver cátions e ânions e retê-los permanentemente ou com disposição de trocá-los, isto é, permutá-los por outros cátions ou ânions. Esta retenção está relacionada diretamente com o tipo de estrutura dos argilominerais e com dois efeitos - cargas provindo de substituições isomórficas com elementos de valências diferentes e cargas nas bor

das quebradas dos cristais, ambos deixando valores insatisfeitos prontos à adsorção de outros íons.

Os íons trocáveis colocam-se na superfície externa da estrutura unitária do mineral sílico-aluminoso e dentro dos canais do reticulado cristalino e a troca se processa sem alterar a estrutura do conjunto sílica-alumina original. Geralmente os íons trocáveis são mantidos em torno das arestas laterais das partículas de argilominerais. O valor desta propriedade é medida pela "capacidade de troca catiônica" (CTC) do mineral, expressa em "miliequivalentes por 100 gramas", em pH igual a 7 e demais variáveis fixas; apresentamos alguns valores para argilominerais:

Montmorilonita	-	80 a 150 meq/100g
Caulinita	-	3 a 15 meq/100g
Ilita	-	10 a 40 meq/100g
Vermiculita	-	100 a 150 meq/100g
Haloisita	-	5 a 10 meq/100g
Haloisita-$4H_2O$	-	10 a 40 meq/100g
Zeólita	-	100 a 300 meq/100g

A matéria orgânica encontrada nas argilas e nos solos também apresenta uma "CTC" elevada da ordem de até 300 meq/100g.

Em alguns argilominerais como nas caulinitas e haloisitas, os cátions trocáveis, na maioria situados nas arestas das suas estruturas, são geralmente resultantes da quebra das unidades estruturais enquanto que nas vermiculitas e montmorilonitas a responsabilidade da presença de cátions trocáveis, na maioria situados nas superfícies basais, cabe às substituições dos íons alumínio ou silício do interior das estruturas. Além disso a quantidade de cátions trocáveis varia com o tipo de argilomineral, com a granulometria, com as concentrações, com a posição estrutural e a natureza dos cátions, com a espécie de ânions ao qual se acham ligados os cátions nas soluções percolantes e com a temperatura.

Assim, por substituição isomórfica no interior das estruturas cris

talinas ou nas quebras dos cristais dos argilominerais, surgem íons trocáveis por outro, na sequência de preferência indicada pela série de Hofmeister - Li, Na, K, Rb, Co, Mg, Ca, Sr, Ba,..., que através de suas outras valências livres exercem uma ação de ligação entre unidades cristalinas, agregando e floculando as partículas argilosas dispersas no solo.

O cálcio introduzido no solo através da cal, virgem ou hidratada, quando percorre com a água as superfícies cristalinas dos argilominerais, substitui principalmente os íons de hidrogênio, de sódio e de potássio nelas existentes. A valência livre de cálcio aglomera outra partícula iniciando as variações granulométricas que se generalizam por força da repetição do fenômeno fazendo o solo tender a passar a silte.

No grupo das caulinitas, (argilominerais 1:1), a imperfeição das bordas dos cristais, produzidas por quebras, deixa íons, tais como Si^{+4} e Al^{+3}, insaturados que absorvem preferencialmente hidroxilas, as quais são sede das futuras retenções de cátions e suas trocas. No grupo das montmorilonitas (argilominerais 2:1) o efeito dos cristais quebrados, apesar de presente, é largamente sobrepujado pela possibilidade de substituições no interior da estrutura do mineral, em virtude de sua fácil expansão pela água, moldando uma estrutura porosa onde os íons tem fácil acesso ao seu interior.

O fenômeno da carbonatação tem seu efeito, após um longo período. É a combinação do óxido ou hidróxido de cálcio ou magnésio com o anidrido carbônico presente nas minúsculas bôlhas de ar, absorvidas e retiradas por ocasião da realização das misturas ou pela penetração do ar nos poros após a execução do solo-cal. A reação tende a refazer o carbonato original, visto que a decomposição desse composto pelo calor, é uma reação reversível.

$$CaO + CO_2 \rightleftarrows CaCO_3 + \text{calor}$$

Desse fato resulta a ação cimentante da cal pois faz aparecer um

corpo sólido que firma as partículas do solo. Sendo a adsorção e portanto a presença de CO_2, um fenômeno de superfície, a intensidade e a rapidez da recarbonatação varia na razão do tamanho das partículas e a água também favorece a reação trabalhando como um catalizador.

As reações químicas pozolânicas entre a cal e o solo tem sido usadas há séculos mas pouco se conhecia da composição dos produtos da reação antes de 1960 devido a natureza provavelmente amorfa dos produtos iniciais e o fato de que os produtos cristalinos geralmente apareciam após longo período de cura. Este efeito produz a formação de gel de silicatos de cálcio, pelo ataque das micro-partículas dos silicatos e da sílica pelo óxido de cálcio,que possue propriedades cimentíferas.

Investigações com raios X de difração e análise térmica diferencial mostraram a presença, em misturas de solo-cal, de partículas de silicatos complexos de cálcio cimentando grãos de minerais do solo, formadas pela reação da cal com a sílica dos argilo-minerais. A reação, que requer um mínimo de 3 meses, à temperatura de 21° a $27^{o}C$, é lenta e só se completa após alguns anos, possivelmente de 3 a 5 anos.

4.3 - Interação argila-cimento

Como mencionado anteriormente, os mecanismos de interação solo-cimento são pouco conhecidos; todavia sabe-se que o endurecimento da mistura é devido em grande parte às reações entre os argilominerais e a cal liberada na hidratação do cimento. (68,69,70)

Existem algumas hipóteses de como se dão estas reações; uma delas a mais aceita, distingue 2 processos de endurecimento: primário e secundário.

As reações primárias são constituídas pela hidrólise e pela hidratação do cimento. Este processo irá formar inicialmente os

produtos da hidratação do cimento e elevar o pH da água dos poros. O hidróxido de cálcio $Ca(OH)_2$ formado durante este período será mais reativo que a cal, CaO.

A argila participa do processo secundário. Primeiramente o íon cálcio produzido pelo hidratação do cimento converte a argila para a forma cálcica e intensifica a floculação iniciada com a adição de cimento. O hidróxido de cálcio inicia o ataque às partículas de argila e aos componentes amorfos. A sílica e a alumina dissolvidos reagem com o íon cálcio, precipitando material de cimentação adicional.

O hidróxido de cálcio utilizado no processo secundário pode ser enriquecido pelo despreendimento de CaO do cimento hidratado.Portanto os produtos da reação primária fornecem os reagentes necessários para a continuação do processo secundário.

Desde que a cimentação secundária aconteça na superfície das partículas de argila, ou ao seu redor, as partículas de argila floculadas irão se juntar nos pontos de contato através do material de cimentação secundário. Fortes ligações podem se desenvolver entre a pasta de cimento hidratado e as partículas de argila cobertas pelos grãos de cimento. A similariedade estrutural entre alguns produtos de hidratação do cimento e os argilominerais sugere uma possível "epitaxy", isto é, uma propagação direta de uma estrutura similar do cristal do argilomineral para as partículas de cimento. (71)

A interação argila-cimento é o resultado da formação de materiais de cimentação primários e secundários. Os produtos primários que surgem desenvolvem uma boa ligação diferenciando-se dos produtos de hidratação normal do cimento pelo teor de cálcio existente, que é baixo. O processo secundário aumenta a resistência e a estabilidade do solo-cimento produzindo material de cimentação adicional que aumenta a ligação inter-partículas.

4.4 - Um estudo experimental

A seguir descreve-se um estudo desenvolvido por A. Herzog e J.K. Mitchell que procuraram descobrir a natureza das reações que acompanham a estabilização da argila com cimento Portland. (69)

Para testar as hipóteses anteriormente mencionadas foram executados os seguintes ensaios:

a) Ensaios de compressão simples em corpos de prova compactados para indicar a formação e o endurecimento de materiais de cimentação primários e secundários.

b) Determinação do conteúdo de água, retração linear e inchamento para acompanhar a variação do conteúdo de água e avaliar as variações dimensionais durante a cura e o umedecimento.

c) Difração do Raio-X para identificar os produtos cristalinos das reações primárias e secundárias e para observar as mudanças nas estruturas cristalinas dos argilominerais.

d) Determinação do pH para observar as variações de alcalinidade dos corpos de prova após vários períodos de cura.

e) Determinação do hidróxido de cálcio livre para observar sua variação.

f) Determinação da condutibilidade da água para observar sua variação.

g) Determinação dos conteúdos de cálcio, sódio e potássio para observar mudanças na concentração relativa de certos cátions solúveis em água, após diversos períodos de cura.

Os materiais utilizados na investigação foram:

a) Caulim da Georgia, representando uma caulinita bem cristalizada.

b) Bentonita do Wyoming representando uma montmorilonita sódica.

c) Cimento Portland, tipo I (classificação ASTM).

d) Silicato tricálcico, C_3S que contribui com 50% na composição

do cimento Portland tipo I.

Foi postulado que o endurecimento de uma mistura argila-cimento envolve a alteração da estrutura do argilomineral e dos constituintes amorfos resultando na formação de material de cimentação secundário que complementa a hidrólise e a hidratação do cimento que pode ser considerada como uma reação de estabilização primária. Os resultados dos ensaios mecânicos, de difração do raio-X e dos testes químicos suportam esta hipótese. Os resultados e conclusões mais significantes que podem ser obtidos do trabalho experimental são:

a) A caulinita e a montmorilonita foram suficientemente estabilizadas pelo cimento Portland e pelo silicato tricálcico, como pode ser observado nos resultados dos ensaios de compressão em corpos de prova imersos em água por 24 horas.

b) Corpos de prova executados com pasta pura de C_3S possuem menor resistência que aqueles executados com pasta de cimento Portland; no entanto, corpos de prova de argila - C_3S possuem uma resistência maior que corpo de prova de argila-cimento Portland, sugerindo uma modificação da hidratação do C_3S em presença de um argilomineral. O C_3S hidratado é o maior contribuinte para a resistência do cimento Portland.

c) Os estudos no difratograma de Raio X de misturas argila-cimento hidratadas mostra que:

- Cimento Portland forma hidróxido de cálcio em argila-cimento hidratado.
- A hidratação de C_3S se modificou em presença de argila.
- Após 7 dias de cura não se detectou nenhum hidróxido de cálcio alcalino em corpos de prova de argila-cimento.
- Novas linhas de baixa intensidade foram observadas em algumas amostras de argila-cimento após longos períodos de cura, sugerindo a formação de novos produtos cristalinos.

d) O pH do cimento hidratado, do C_3S hidratado e da argila pura permaneceram constantes com o tempo mas diminuiu durante a cura

de misturas de argila-cimento indicando a existência de um processo de consumo de $(OH)^-$.

e) Todas as amostras de argila-cimento continham apenas uma fração do hidróxido de cálcio livre que estaria presente numa hidratação normal do cimento em que não houvesse interação entre argila e cimento. Este hidróxido de cálcio perdido pode ter participado em reações pozolânicas com os argilominerais.

f) Argila-cimento não pode ser vista como uma simples mistura de partículas de cimento hidratado ligadas com partículas inalteradas de argila, mas deve ser considerada como um sistema em que a argila e o cimento hidratado se combinam através de reações secundárias.

Estes resultados e conclusões, e mais as observações adicionais durante a preparação dos corpos de prova para os ensaios químicos nos leva a estabelecer hipóteses sobre a estrutura da argila-cimento. As unidades do esqueleto de argila-cimento são compostas por um gel de cimento hidratado na qual estão fixas camadas de partículas alteradas de argila. A alteração dessas partículas é causada pela dissolução de sílica e de alumina pelos argilominerais e os constituintes amorfos em meio de elevado pH formado como resultado do aparecimento do altamente reativo $Ca(OH)_2$ quando da hidratação do cimento. O material dissolvido reage com os íons cálcio formando um material de cimentação adicional que une as partículas de argila entre si. Este material se agrega na vizinhança dos grãos de cimento confinando as argilas menos alteradas no espaço intercelular ou esqueleto. Desta forma o solo adquire uma estabilidade que possibilita sua utilização como material de construção para habitações.

5. Tijolo de solo - cimento

5. Tijolo de solo-cimento

O estudo do tijolo de solo-cimento foi desenvolvido pelo IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., em conjunto com a COHAB, Companhia Metropolitana de São Paulo: tendo em vista sua utilização como uma alternativa tecnológica ao problema de habitação para populações de baixa renda:
"Procurou-se assim, unir uma matéria prima de baixo custo e já empregada em outras áreas da construção civil (estradas), a uma técnica de produção de fácil difusão e absorção, procurando alcançar um produto de boa qualidade, a um custo compatível com a faixa de renda que iria consumir" (72)

Este tijolo apresenta características geométricas semelhantes aos dos tijolos de barro cozido convencionais e desta forma a construção de painéis com êste elemento não difere da construção de painéis com os tijolos tradicionais. É importante porém o estudo do emprego deste tijolo em conjunto com argamassas de assentamento e de revestimento tradicionais procurando-se avaliar a sua compatibilidade com o novo material, que apresenta características de absorção d'água e de variação dimensional diferentes do material cerâmico.

Foram executados basicamente dois estudos: um com os tijolos prensados em máquina manual e outro com os tijolos prensados em máquina automática. A metodologia empregada foi semelhante em ambos os casos, diferindo quanto à energia de compactação empregada e ao alcance que a solução poderia ter. (73, 74, 75)

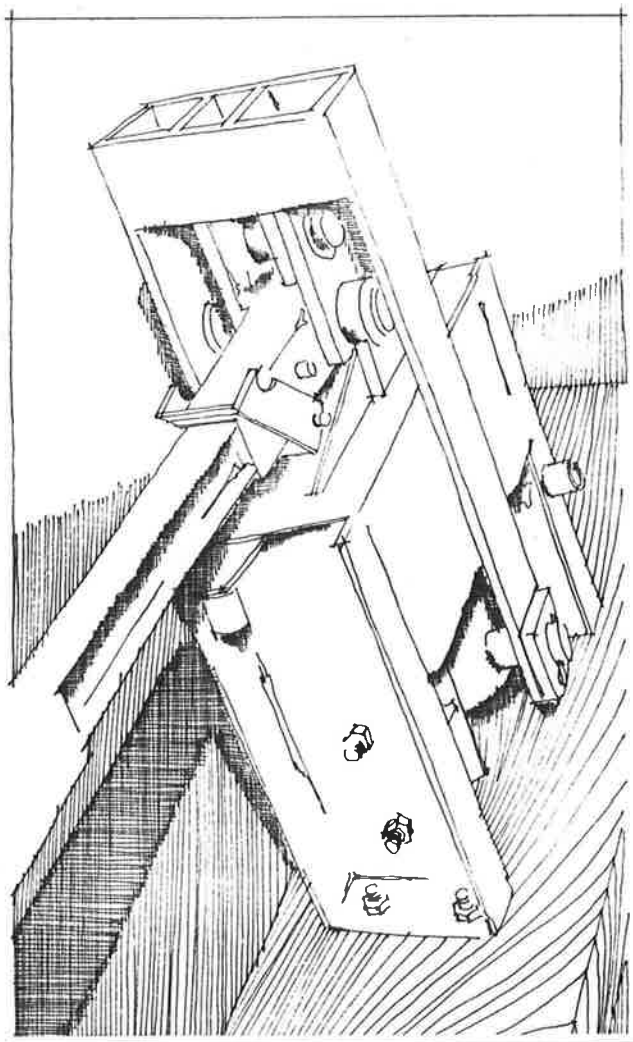
5.1 - Tijolos prensados em máquina manual

Esta fase da pesquisa procurou responder à uma necessidade existente de produção de pequena quantidade de materiais com um mínimo de investimento. Para tanto haviam dois caminhos a se seguir: desenvolver um equipamento para prensar os tijolos ou escolher

uma prensa existente no mercado.

Neste estudo optou-se por um equipamento já existente devido ao âmbito da pesquisa, que era de desenvolver uma metodologia de trabalho com o solo-cimento. O desenvolvimento de um equipamento surgiu depois como uma necessidade pois os existentes apresentaram problemas de operação além de que, se as comunidades tiverem condições de fabricar uma prensa simples, esta estaria ao alcance de um maior número de interessados atingindo mais amplamente os objetivos do processo apropriado da construção.

As prensas manuais existentes que podem servir de referência para o desenvolvimento de um equipamento de fácil construção por comunidades de baixa renda são as seguintes:



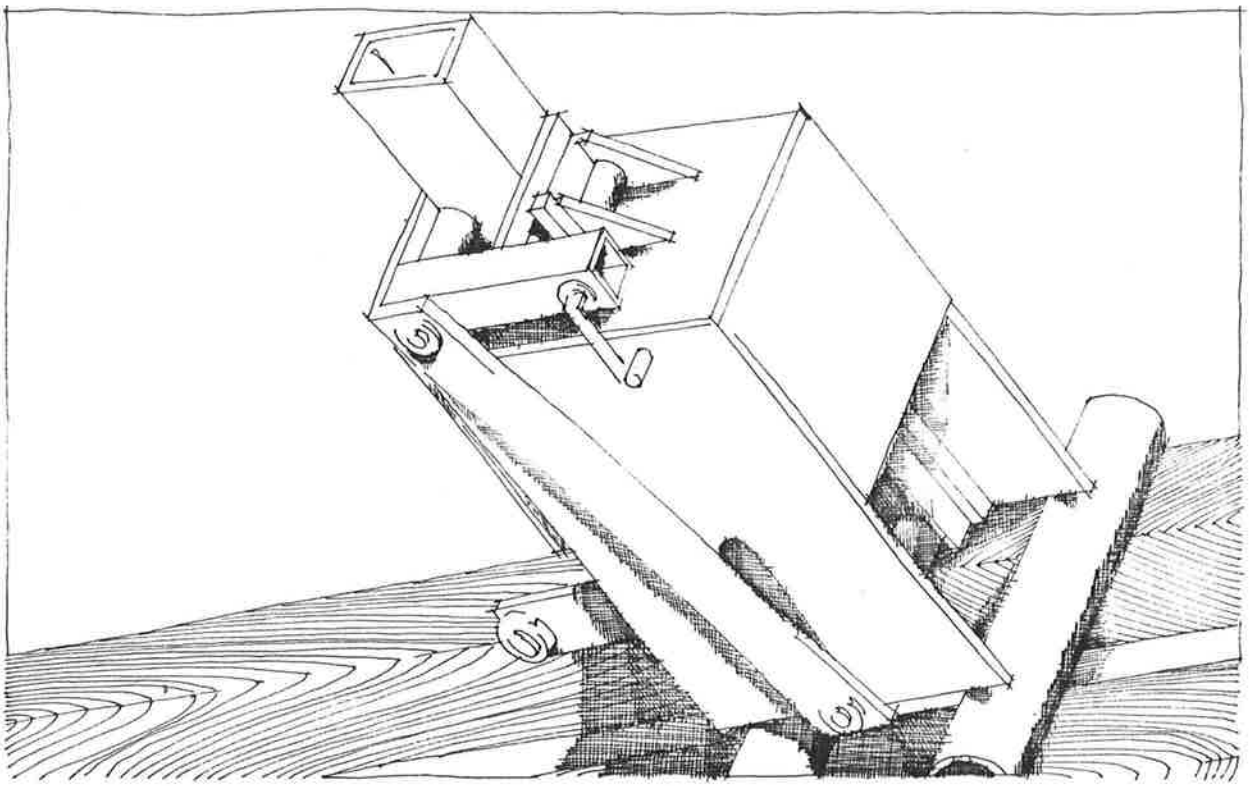
a) Cinva-Ram

Esta prensa foi projetada pelo CINVA, Centro Interamericano de Vivienda y Planejamento, de Bogotá, Colombia e atualmente é fabricada sob licença da IBEC Housing Corporation de New York. Esta máquina que pesa 65 kg é metálica e produz um tijolo de 290 x 140 x 90 mm, maciço ou vazado, sendo a produção diária de 300 unidades.

Esta prensa que não é encontrada no Brasil pode se adaptada para produzir ladrilhos para piso de 290 x 140 x 50 mm.

b) Tek-Block

Esta prensa foi projetada pela Universidade de Ciência e Tecnologia de Kumasi, Ghana e pesa 90 kg. A alavanca de madeira foi desenhada para quebrar quando a pressão de compactação tiver que ser muito elevada, isto para não danificar o equipamento.



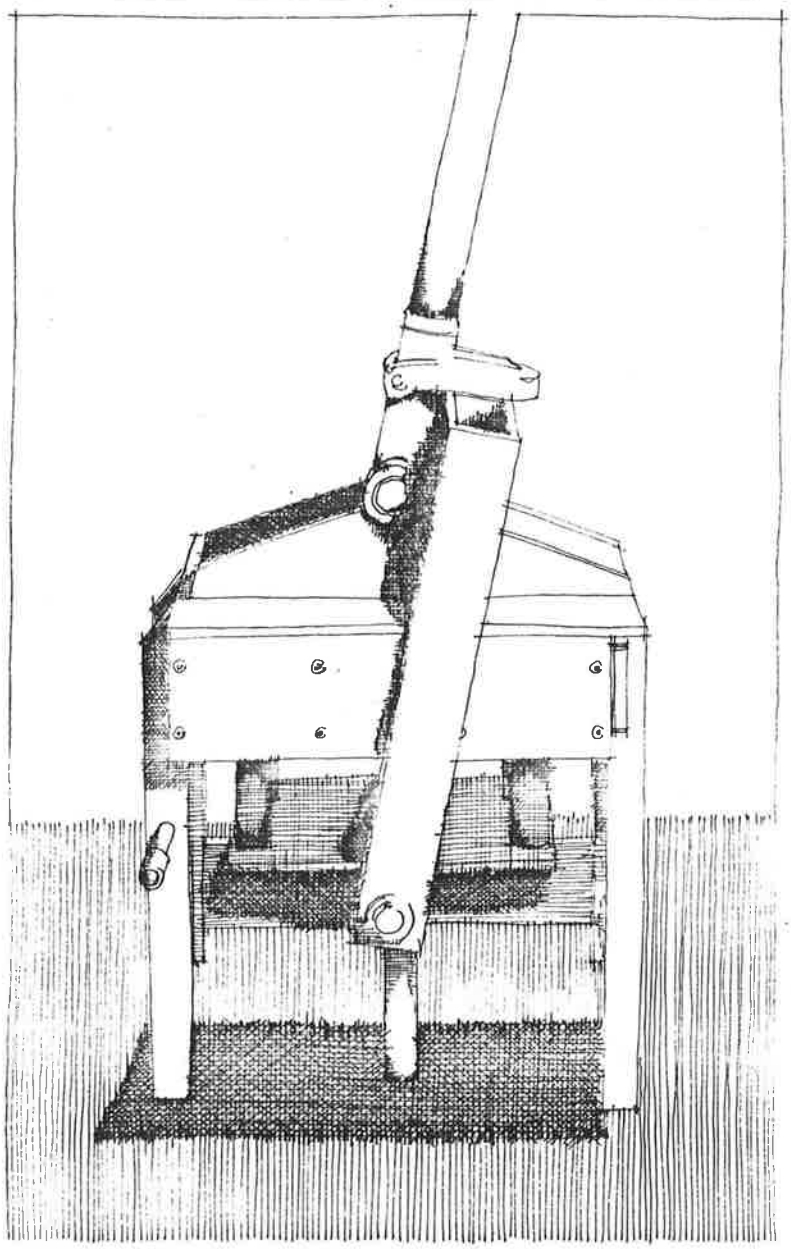
Esta prensa produz tijolos de 290 x 215 x 140 mm com uma produção diária de 200 a 400 tijolos.

c) Ellson

A Ellson Pty fabrica esta máquina na África do Sul. Dos poucos dados disponíveis sobre ela sabemos que produz 1000 tijolos diários com uma pressão de compactação de 7 MN/m^2.

d) Tecmor

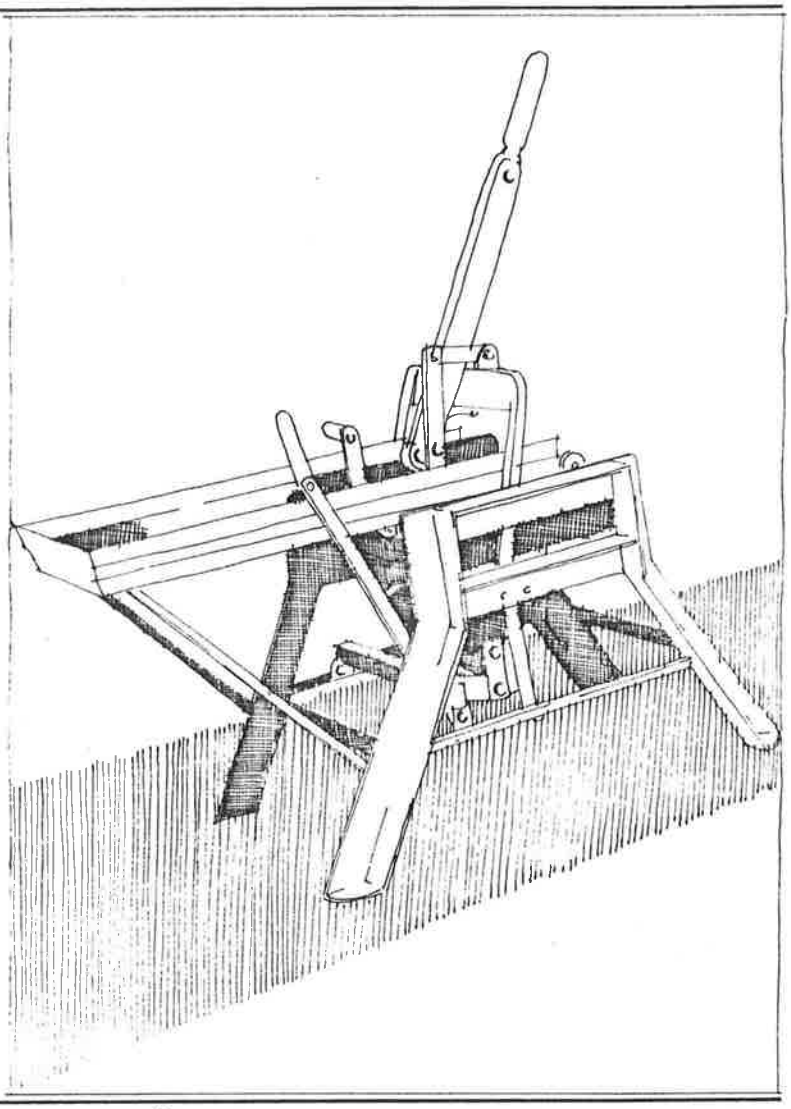
Esta prensa, aperfeiçoamento da Cinva-Ram é fabricada no Brasil, produzindo três tijolos por vez, de 230 x 110 x 50 mm.



Conforme catálogo é prevista para uma produção de até 2000 tijolos diários.

e) Supertor

Esta prensa, é produzida no Brasil e é fabricada em 3 versões: a de dois tijolos, a de três tijolos e a de ladrilhos e lajotas.



Esta prensa de 85 kg e de operação simples pode produzir até 2000 tijolos diários de 230 x 110 x 50 mm ou de 200 x 100 x 50 mm.

Optou-se no estudo, pelo equipamento Supertor tendo sido instalado em área cedida pela COHAB-SP, no conjunto habitacional de Carapicuíba, onde foram produzidos os tijolos e posteriormente foi executado um protótipo com duas unidades padrão COHAB.

5.1.1 - Fase 1

Antes do que se pode considerar como fase 1 do estudo, definiu-se uma etapa anterior com o objetivo de se conhecer o equipamento disponível e o método de execução dos tijolos. Os tijolos foram moldados com diferentes porcentagens de estabilizadores e solo tendo sido ensaiados à compressão através do MB-52 da ABNT, Méto

do Recomendado de Ensaio à Compressão de Tijolos Maciços de Barro Cozido para Alvenaria. Foram anotados também os parâmetros de compactação: densidade seca e umidade (77).As principais conclusões obtidas foram as seguintes:

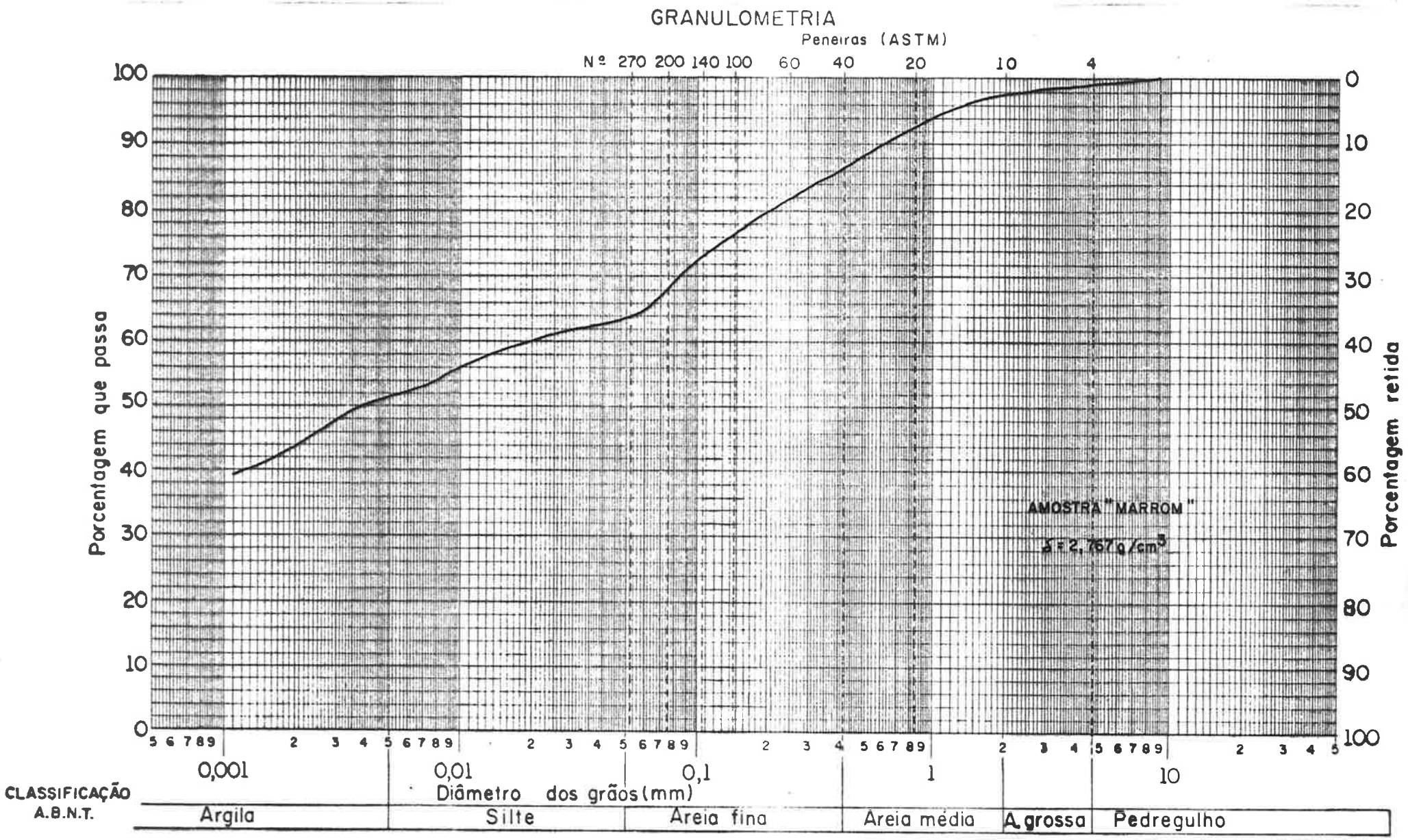
- a resistência à compressão simples dos tijolos aumenta com a sua densidade seca quando compactado.
- a utilização da cal não implicou em um acréscimo substancial de sua resistência à compressão.
- a resistência à compressão dos tijolos moldados com solo arenoso foi maior do que a dos tijolos moldados com solo argiloso.
- o processo de cura dos tijolos em câmara úmida falseou os resultados tendo em vista que os ensaios executados em material semelhante expostos ao tempo alcançaram melhores resultados.

Após executado este estudo preliminar foram moldados tijolos no canteiro de obras procurando-se variar o método de determinação da resistência à compressão e variar o tipo e quantidade dos materiais empregados, isto é, o solo, a areia e os estabilizadores, cales e cimentos.

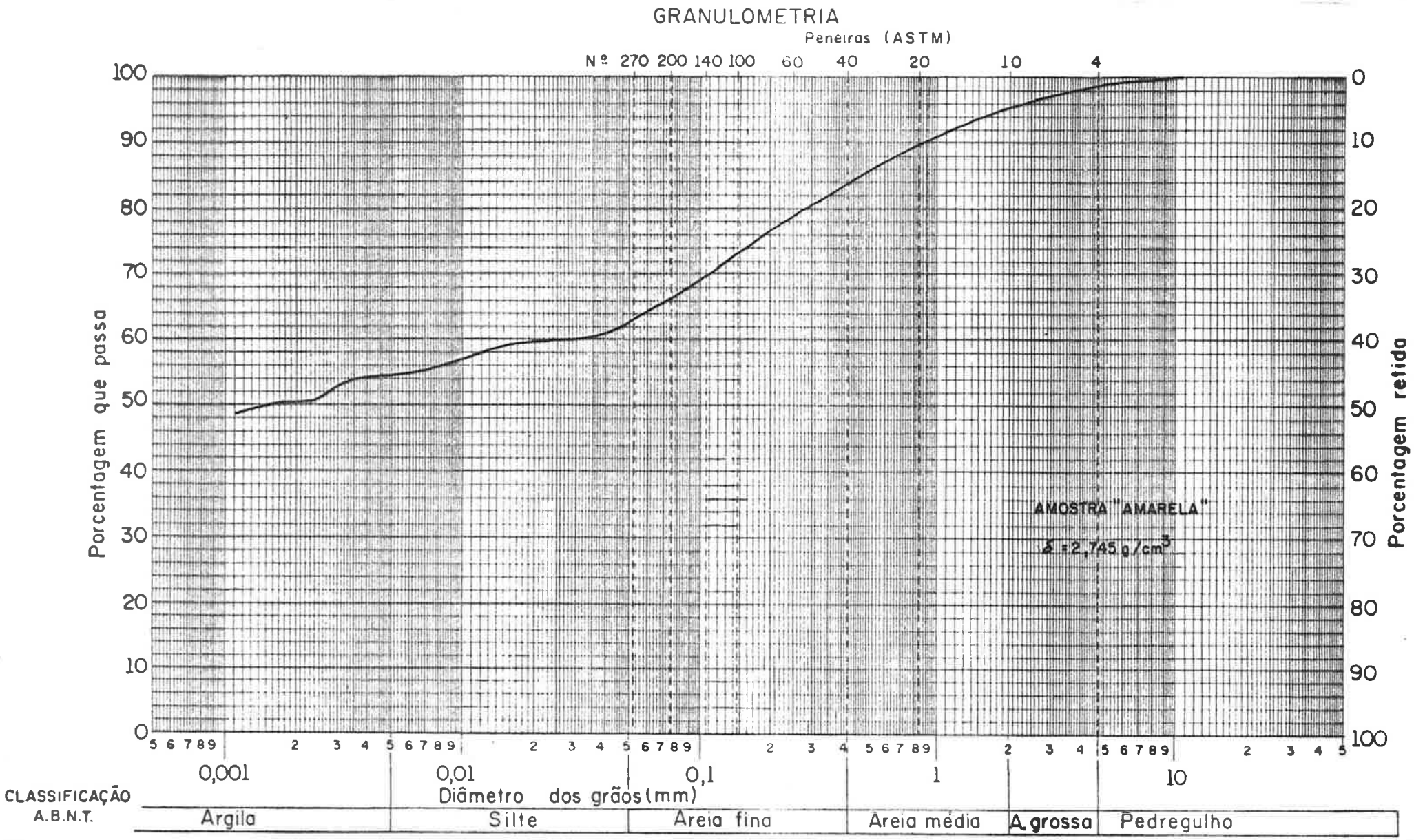
a) Escolha do solo

Para efeito do estudo procurou-se nas redondezas do canteiro algumas jazidas que poderiam fornecer a matéria prima para a fabricação dos tijolos. Desta forma foram coletadas três amostras, caracterizadas como amostra "marrom", "amarela" e "vermelha", que foram submetidas à análise granulométrica e determinação da densidade dos grãos. Como se pode perceber dos gráficos em anexo, pranchas 5.1, 5.2 e 5.3 a fração areia, diâmetro dos grãos maior que 0,05 mm dos três solos é muito semelhante.

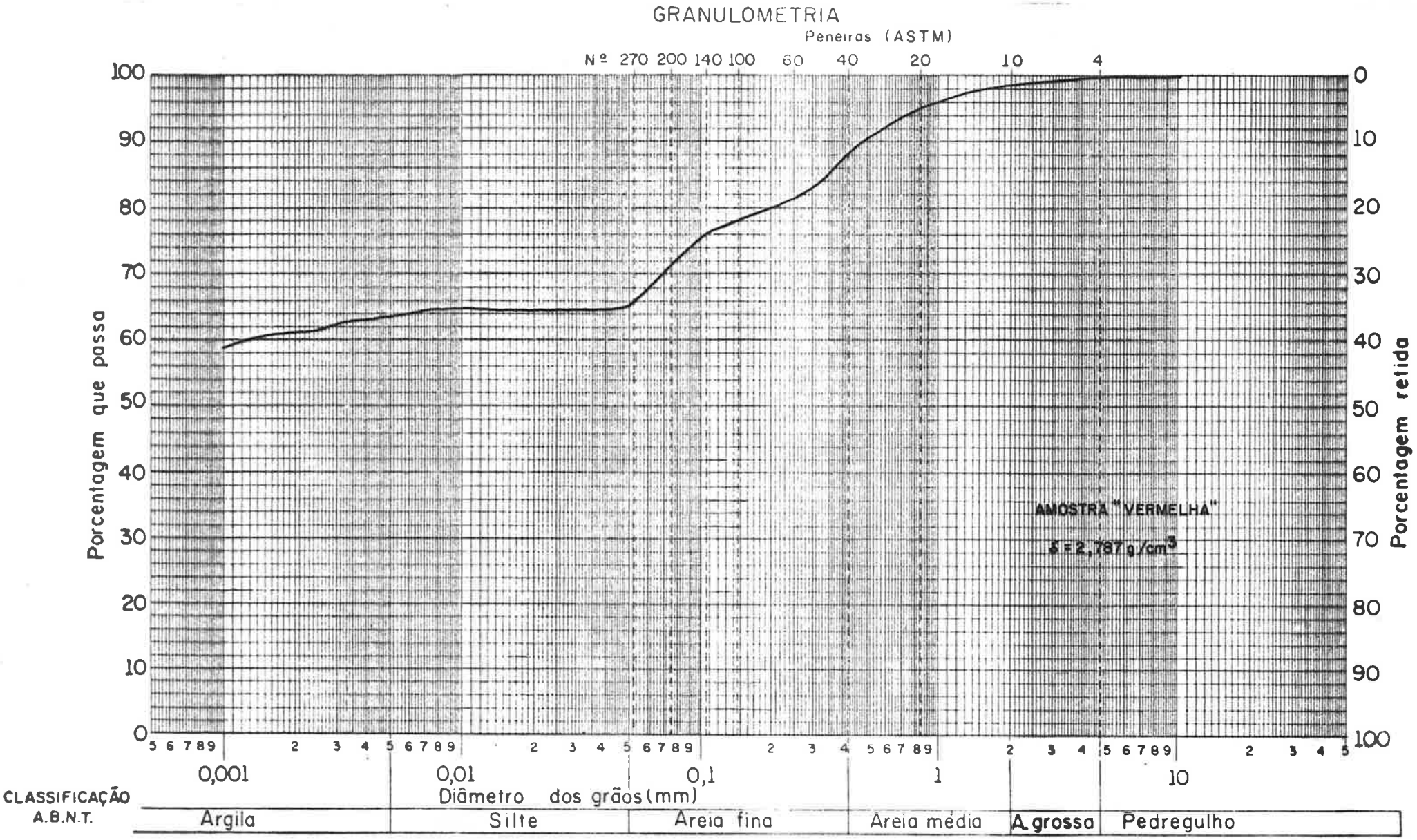
Destas 3 amostras foram escolhidas 2 que apresentavam facilidade de acesso, as caracterizadas como amostra "marrom" e amostra"amarela".


GRANULOMETRIA
Peneiras (ASTM)
Nº 270 200 140 100 60 40 20 10 4
Porcentagem que passa
Porcentagem retida
AMOSTRA "MARROM"
δ = 2,767 g/cm³
0,001
0,01
0,1
1
10
Diâmetro dos grãos (mm)
CLASSIFICAÇÃO A.B.N.T.
Argila
Silte
Areia fina
Areia média
A. grossa
Pedregulho

prancha 5.1


GRANULOMETRIA
Peneiras (ASTM)
Nº 270 200 140 100 60 40 20 10 4
Porcentagem que passa
Porcentagem retida
AMOSTRA "AMARELA"
δ = 2,745 g/cm³
0,001
0,01
0,1
1
10
Diâmetro dos grãos (mm)
CLASSIFICAÇÃO A.B.N.T.
Argila
Silte
Areia fina
Areia média
A. grossa
Pedregulho

prancha 5.2


GRANULOMETRIA
Peneiras (ASTM)
Nº 270 200 140 100 60 40 20 10 4
Porcentagem que passa
Porcentagem retida
AMOSTRA "VERMELHA"
δ = 2,787 g/cm³
0,001
0,01
0,1
1
10
Diâmetro dos grãos (mm)
CLASSIFICAÇÃO A.B.N.T.
Argila
Silte
Areia fina
Areia média
A. grossa
Pedregulho

prancha 5.3

b) Aglomerantes

Os aglomerantes, cales e cimentos, empregados foram os disponíveis na obra não tendo sido executado ensaios de caracterização dos mesmos.

c) Moldagem

Foram moldados tijolos de solo-cimento, solo-cal-cimento, solo-cimento-areia e solo-cal-cimento-areia variando-se as porcentagens dos aglomerantes e dos agregados, adotando-se a série de valores definidos nas etapas anteriores.

Em seguida homogenizou-se a mistura, adicionando-se uma quantidade de água em torno da umidade ótima, de 25 a 30% adotados nas experiências anteriores.

A quantidade de água adicionada à mistura foi definida de forma expedita, comprimindo-se uma certa quantidade de solo-cimento e água com a mão e em seguida quebrando-a ao meio; a umidade considerada adequada era aquela responsável a que a mistura não se partisse em mais de duas partes e também não grudasse na mão.

O tijolo foi moldado na prensa manual já descrita e não foram curados em câmara úmida. O processo de cura se deu à sombra, tendo sido regados por 3 dias e posteriormente armazenados ao relento.

d) Resistência à compressão

Foram executados ensaios de resistência à compressão nos tijolos adotando-se três métodos de ensaio:

a) corpo de prova com tijolo rejuntado, saturado após 24h e ensaiado conforme MB-52/1945, corpo de prova tipo 1.

b) corpo de prova com tijolo rejuntado e ensaiado sem ter sido previamente imerso em água, corpo de prova tipo 2.

c) corpo de prova com tijolo simples, com carga aplicada ortogonalmente à maior seção, corpo de prova tipo 3.

Os resultados se encontram na prancha 5.4.

e) Conclusões

- Os corpos de prova tipo 2 e tipo 3 não avaliam a resistência à compressão do tijolo. Apenas o corpo de prova tipo 1, tijolo rejuntado, saturado após 24h e ensaiado conforme MB-52/1945 avalia esta resistência.
- A dispersão dos resultados obtidos nas resistências à compressão de tijolos de solo-cimento é menor que à dos tijolos maciços de barro cozido, isto porque o seu processo de fabricação envolve a utilização de equipamentos capazes de produzir de forma seriada, e sob controle, produtos de qualidades idênticas.
- O tijolo executado com a amostra "marrom" apresenta resistências à compressão mais elevadas que os executados com a amostra "amarela"; isto pode ser observado comparando-se as amostras 4 e 9.
- A adição de areia à mistura de solo-cimento-cal melhora a resistência à compressão dos tijolos.

5.1.2 - Fase 2

O objetivo da fase 2 foi o da definição de um traço básico. Para tanto, além da metodologia já empregada na fase anterior foram executados ensaios de durabilidade e de absorção d'água.

a) Escolha do solo

Foram escolhidos os solos disponíveis, um caracterizado como amostra "marrom" e outro "vermelha", já apresentados nas pranchas 5.1 e 5.3.

b) Aglomerantes

Os aglomerantes, cales e cimento, empregados foram os disponíveis na obra não tendo sido executados ensaios de caracterização dos

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO - FASE 1 - TIJOLO EM MÁQUINA MANUAL

Amostra	Porcentagem em peso				Corpo de prova		Resistência à compressão (kgf/cm^2)		idade
	solo	cimento	cal	areia	número	tipo	média	desvio padrão	(dias)
-	barro cozido	-	-	-	10	1	42	18,8	-
0	marrom	13	-	-	5	2	60	8,9	31
0	marrom	13	-	-	5	3	105	8,9	150
1	marrom	13	7	-	5	2	52	3,2	30
1	marrom	13	7	-	5	1	27	3,2	35
2	marrom	13	7	13	5	2	54	4,4	30
2	marrom	13	7	13	5	1	35	3,3	35
3	marrom	14	4	-	5	2	51	4,7	31
3	marrom	14	4	-	5	3	101	7,6	30
4	marrom	12	-	12	5	2	65	10,8	31
4	marrom	12	-	12	5	3	94	12,0	30
5	marrom	12	-	12	5	2	72	7,8	29
5	marrom	12	-	12	5	1	38	3,9	34
6	marrom	12	-	24	5	2	61	6,1	29
6	marrom	12	-	24	5	3	116	14,5	29
7	marrom	23	-	24	5	2	96	4,6	29
7	marrom	23	-	24	5	1	68	4,6	34
8	amarelo	13	4	-	5	2	34	4,6	28
8	amarelo	13	4	-	5	1	22	3,2	33
9	amarelo	12	-	12	5	2	38	2,7	29
9	amarelo	12	-	12	5	3	74	14,9	59
10	amarelo	23	-	-	5	2	57	3,3	28
10	amarelo	23	-	-	5	1	42	3,2	58
10/S	amarelo	23	-	-	5	2	65	13,6	29
10/S	amarelo	23	-	-	5	3	107	9,4	28

mesmos.

c) Moldagem

Foram moldados tijolos de solo-cimento e solo-cimento-cal variando-se as porcentagens dos aglomerantes conforme as informações das etapas anteriores e da literatura técnica disponível. As operações a seguir definidas, isto é, mistura e cura, foram as mesmas da fase anterior. (78, 79)

d) Resistência à compressão

Os ensaios de resistência à compressão nos tijolos foram executados em corpos de prova saturados após 24h, preparados conforme MB-52/1945 e que foram anteriormente definidos como corpo de prova tipo 1.

Além dos tijolos estabilizados foram feitos ensaios em tijolos maciços de barro cozido, como comparação e os resultados se encontram na prancha 5.5.

e) Determinação da durabilidade

A determinação da durabilidade é muito importante em materiais e componentes utilizados em vedações verticais externas, que é o caso do tijolo. Porém existe uma dificuldade básica quando se propõe a se executar ensaios que avaliem esta durabilidade:quais as variáveis a serem medidas no ensaio que mede um desgaste e quais seriam os números que definiriam os parâmetros mínimos de qualidade.

A literatura apresenta alguns ensaios tais como:

e1) dispor o tijolo sob um chuveiro de 10 cm de diâmetro a 18 cm do mesmo, alimentado por água em pressão constante de 1,4 kgf/cm^2 por 2h; mede-se a profundidade das concavidades resultantes.Este método é preconizado pelo livro Construction en Terre. (44)

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO - FASE 2 - TIJOLOS EM MÁQUINA MANUAL

Amostra	Porcentagem em peso				Corpos de prova	Resistência à compressão (kgf/cm^2)		idade (dias)
	solo	cimento	cal	areia		média	desvio padrão	
1	marrom	11	-	-	9	40	8,5	41
2	marrom	9	-	-	10	40	3,7	41
3	marrom	8	-	-	10	19	3,6	33
4	marrom	6	-	-	10	19	2,4	33
5	marrom	5	-	-	10	19	2,7	33
6	marrom	4	-	-	10	13	1,4	33
7	vermelho	11	-	-	10	42	9,6	43
8	vermelho	11	-	-	10	44	11,0	37
9	marrom	8	8	-	10	23	2,3	31
10	marrom	6	6	-	10	19	1,6	25
11	marrom	13	-	-	10	35	6,2	-
-	barro cozido	-	-	-	10	74	35,8	-

A especificação deste ensaio é a seguinte:

- para região seca (chuvas até 500 mm/ano) - concavidades de 6 a 12 mm.
- para região úmida (chuvas de 500 a 1200 mm/ano) concavidades menores que 6 mm.
- para região muito úmida (chuvas de mais de 1200 mm/ano) sem concavidades.

e2) ensaio de durabilidade por molhagem e secagem preconizado pela ABCP. Este método fixa o modo pelo qual se determina a perda de peso, a variação de umidade e a variação de volume do solo-cimento quando submetido a ciclos de molhagem e secagem, e a escovamento com escova de fios metálicos. (80, 81)

O critério admitido para a determinação de teor de cimento para habitações é o de (82):

- perda acumulada de peso seco ao fim do 6º ciclo não excedente a:

14% - solos arenosos
10% - solos siltosos
7% - solos argilosos

e3) a resistência dos tijolos à erosão é avaliada submetendo-se o mesmo à ação de uma chuva artificial criada por um chuveiro colocado a 25 cm do tijolo com uma pressão de 0,5 kgf/cm^2 e calibrado para uma vazão de 7,5 mm de chuva sobre a superfície do corpo de prova durante 33 minutos. Este ensaio equivale a 10 anos de chuva no centro de Israel. (83)

Durante o ensaio observa-se o comportamento do tijolo, principalmente os cantos e anota-se a porcentagem de erosão causada na superfície. Se considera o tijolo de boa qualidade quando o mesmo apresenta não mais do que dois cantos deteriorados e se, ao mesmo tempo a erosão da superfície não seja superior a 10%.

Para se testar a resistência dos tijolos no estado de saturação

se submerge 7/8 do mesmo em água por 24h. Anota-se o tempo decorrido para que haja umedecimento dos 1/8 restantes, a quantidade de água absorvida pelo tijolo, se houve ou não deterioração e o peso do material despreendido durante as 24 horas.

Se considera como parâmetros de qualidade: a deterioração de dois cantos, a perda de peso de 1% do peso seco, e quando imediatamente, após o período de 24h de imersão se pode retirá-lo d'água com as mãos sem que sofra dano.

O ensaio executado foi o primeiro, e1) cujos resultados se encontram na prancha 5.6.

f) Determinação da absorção d'água

O ensaio de absorção d'água avalia de uma certa forma a permeabilidade do tijolo e seu comportamento em relação à aderência de uma argamassa na sua superfície. Não existe um método de ensaio preconizado pela ABNT, porém adotaram-se as diretrizes gerais do MB-848, Determinação da absorção d'água para ladrilhos cerâmicos: pesagem do material seco, pesagem do material saturado e o valor da absorção, a porcentagem da diferença peso saturado/seco em relação ao peso seco. Os resultados se encontram na prancha 5.6(84, 85)

Não existe também uma especificação para esta grandeza porém acredita-se que valores muito baixos (< 10%) representam problemas para a aderência de argamassas de assentamento e de revestimento e valores muito elevados (> 18%) indicam porosidade e permeabilidade do material. (86)

g) Conclusões

- não se verificou melhoria da resistência à compressão dos tijolos quando se adicionou cal à mistura de solo-cimento.
- conforme a EB-19/1943 (17), Especificação Recomendada para Tijolos Maciços de Barro Cozido para Alvenaria, as amostras que

DURABILIDADE E ABSORÇÃO D'ÁGUA - FASE 2 - TIJOLOS EM MÁQUINA MANUAL

Amostra	Porcentagem em peso			Ensaio de rega		Absorção de água (%)		
	solo	cimento	cal	c.p.	Profundidade das concavidades (mm)	c.p.	individual	média
7	vermelho	11	-	1	-			
				2	1,76	1	28,0	27,9
				3	-			
				4	-	2	27,8	
				5	-			
2	marrom	9	-	1	1,68			
				2	4,76; 1,62	1	36,9	36,4
				3	1,42			
				4	3,22; 2,86; 2,32; 2,54; 4,00	2	35,8	
				5	5,00; 3,68; 3,44; 2,16			
3	marrom	8	-	1	1,82			
				2	2,00; 1,26; 1,46; 1,92	1	29,9	29,9
				3	1,10			
				4	1,32	2	29,9	
				5	-			
9	marrom	8	8	1	3,44; 1,52; 1,74; 1,14			
				2	5,00	1	24,4	26,2
				3	2,00			
				4	3,54; 2,54; 1,62	2	28,0	
				5	4,00; 2,00; 2,94; 4,76			
-	barro cozido			1	-			
				2	-	1	21,0	21,5
				3	-			
				4	-	2	22,0	
				5	-			

atingem o valor mínimo são as de números 1, 2, 7, 8 que contém 11% e 9% de cimento em peso. (87)

- o ensaio de durabilidade executado apresenta boa reprodutividade; porém não se conseguiram manter constantes as condições de ensaio.
- os valores de absorção d'água encontrados são superiores àqueles sugeridos porém outros estudos devem ser feitos para se melhor avaliar este parâmetro.

5.1.3 - Fase 3

Durante as fases anteriores, foram feitos ensaios com várias amostras de solo com porcentagem variadas de aglomerantes. Estes ensaios procuravam avaliar do ponto de vista da resistência mecânica e da durabilidade, qual a qualidade dos tijolos produzidos. Os resultados obtidos levaram à uma constatação de viabilidade técnica e econômica do emprego do solo-cimento. Procurou-se nesta fase 3 um método simplificado de dosagem do teor de cimento procurando correlacionar os parâmetros de resistência à compressão, durabilidade e absorção.

a) Escolha do solo

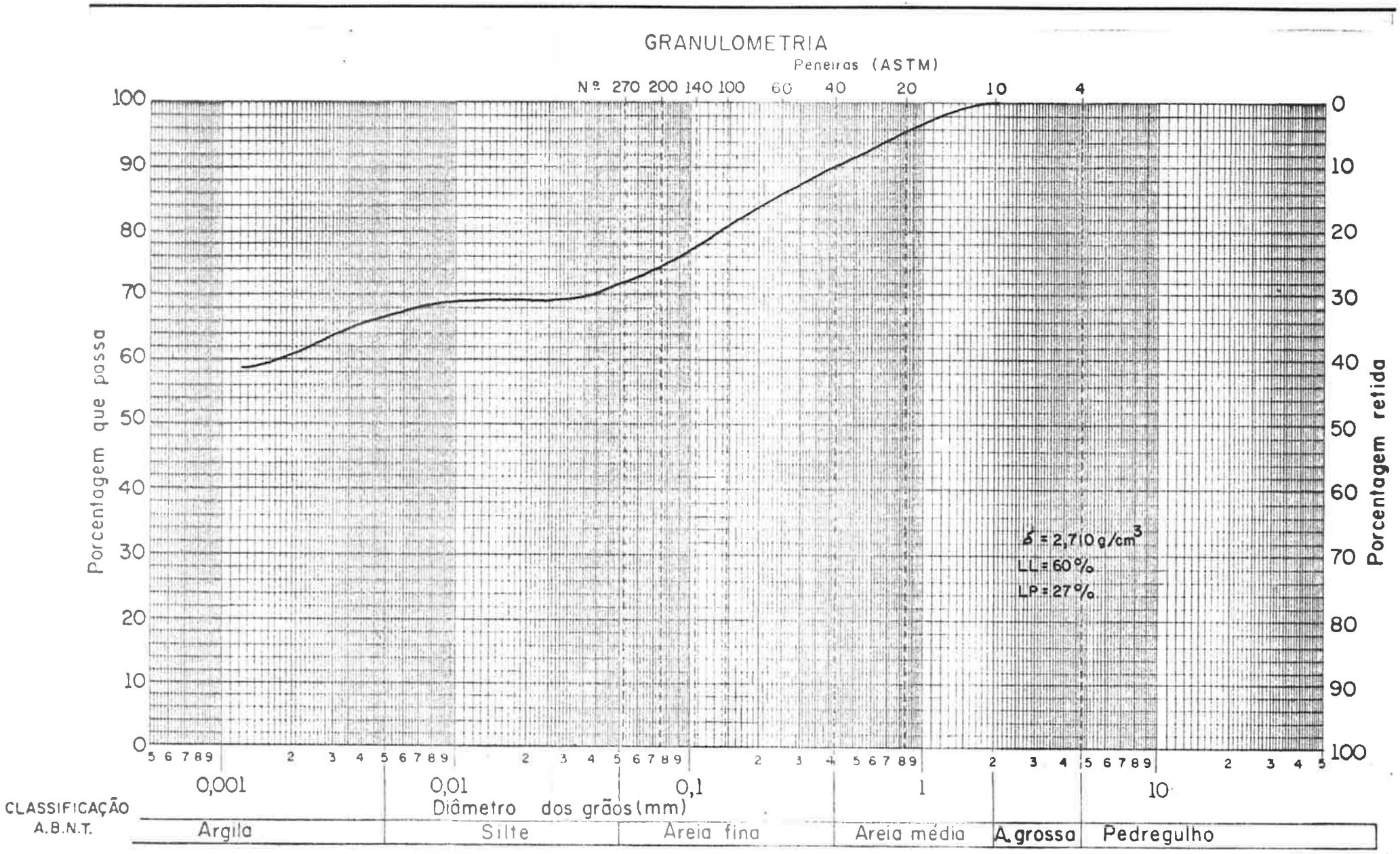
Foi utilizado um solo disponível na região e suas características estão na prancha 5.7.

b) Aglomerantes

O aglomerante empregado, cimento, foi o disponível na obra não tendo sido executados ensaios de caracterização.

c) Moldagem

Os tijolos foram moldados com o equipamento existente. O solo foi peneirado na peneira nº 4, abertura da malha de 4,8 mm, e posteriormente misturados ao cimento em teores de 1,3%, 2%, 4%, 6%,


GRANULOMETRIA
Peneiras (ASTM)
Nº 270 200 140 100 60 40 20 10 4
Porcentagem que passa
Porcentagem retida
δ = 2,710 g/cm³
LL = 60%
LP = 27%
0,001
0,01
0,1
1
10
Diâmetro dos grãos (mm)
CLASSIFICAÇÃO A.B.N.T.
Argila
Silte
Areia fina
Areia média
A. grossa
Pedregulho

prancha 5.7

8%, 10%, 11% e 12%, porcentagem de volume de cimento solto para o volume de solo solto.

A quantidade de água utilizada foi obtida através do método manual já exposto e que, medidos posteriormente pelo Speed Moisture Test levou a teores de umidade variáveis de 19,2 a 21,6%.

Após prensados, os tijolos permaneceram durante três dias à sombra sendo umedecidos duas vezes ao dia. Após os três dias os tijolos foram transportados ao laboratório sendo deixados à sombra até posterior ensaio.

d) Resistência à compressão

Os tijolos preparados com teores de cimento de 1,3% a 12% foram ensaiados aos 28 dias de idade à compressão pelo MB-52/1945 e os resultados se encontram na tabela abaixo. Para cada teor foram ensaiados 10 tijolos e a variação dos resultados obtidos podem ser avaliados pelo seu desvio padrão.

Teor de cimento (%)	Resistência à compressão	
	Média (kgf/cm^2)	Desvio Padrão (kgf/cm^2)
1,3	Os corpos de prova se desagregaram durante a preparação.	-
2,0	Os corpos de prova se desagregaran durante a preparação.	-
4,0	Os corpos de prova se desagregaram durante a preparação.	-
6,0	12	1,1
8,0	18	2,5
10,0	22	1,4
11,0	24	2,4
12,0	27	2,4

e) Ensaio de durabilidade

Para o ensaio de durabilidade não se adotou o método empregado na fase 2 devido a que o mesmo apresentava alguns problemas já detectados. Optou-se por um método que é uma adaptação do existente SC-3 da ABCP. (80)

Os corpos de prova são os próprios tijolos prensados que são cortados ao meio transversalmente e juntadas as duas metades com uma camada de enxôfre e pozolana.

O ensaio foi executado após 7 dias da data de moldagem e cada ciclo de molhagem e secagem constituia-se em:

- imersão dos corpos de prova por período de 5 horas
- secagem em estufa a 71°C durante 42 horas
- escovamento das faces dos corpos de prova por meio de escova de aço.

O ciclo foi repetido por 12 vezes, determinando-se a porcentagem da perda de peso, isto é, o peso do material desagregado/peso inicial do corpo de prova. Os resultados se encontram na tabela abaixo e no gráfico da prancha 5.8.

Teor de cimento (%) (volume cimento solto/volume solo solto)	Perda de peso (%) (peso do material desagregado/peso inicial do c.p.)
1,3	Os corpos de prova desagregam na 1ª imersão
2,0	Os corpos de prova desagregam na 1ª imersão
4,0	28% (até o 10º ciclo, desagregando em seguida)
6,0	10%
8,0	5%
10,0	4%
11,0	4%
12,0	3%

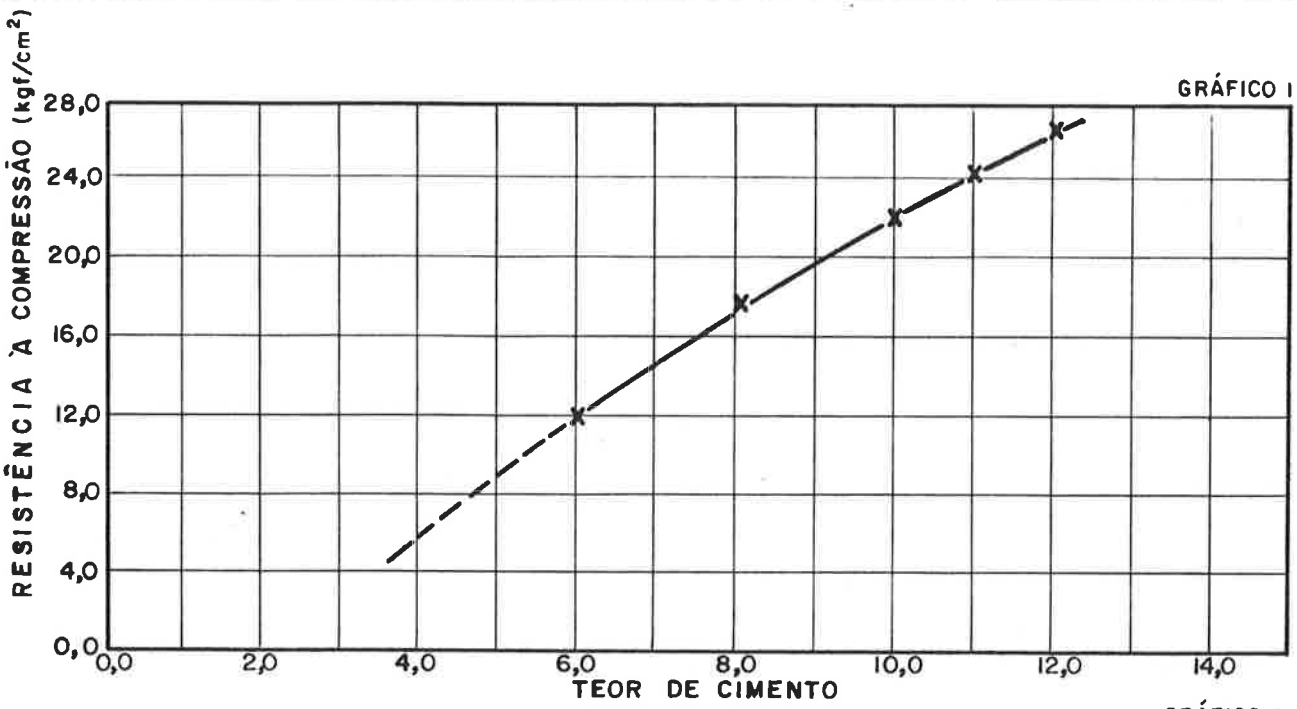


GRÁFICO 1
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (kgf/cm²)
28,0
24,0
20,0
16,0
12,0
8,0
4,0
0,0
0,0
2,0
4,0
6,0
8,0
10,0
12,0
14,0
TEOR DE CIMENTO

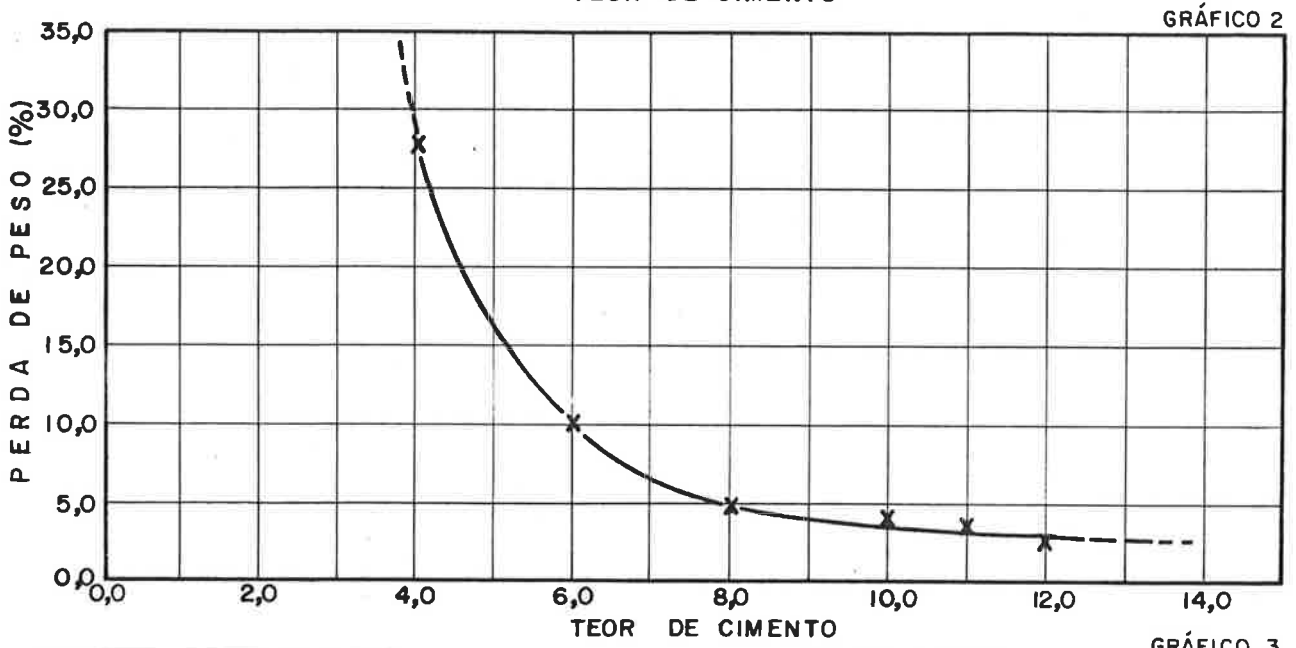


GRÁFICO 2
PERDA DE PESO (%)
35,0
30,0
25,0
20,0
15,0
10,0
5,0
0,0
0,0
2,0
4,0
6,0
8,0
10,0
12,0
14,0
TEOR DE CIMENTO

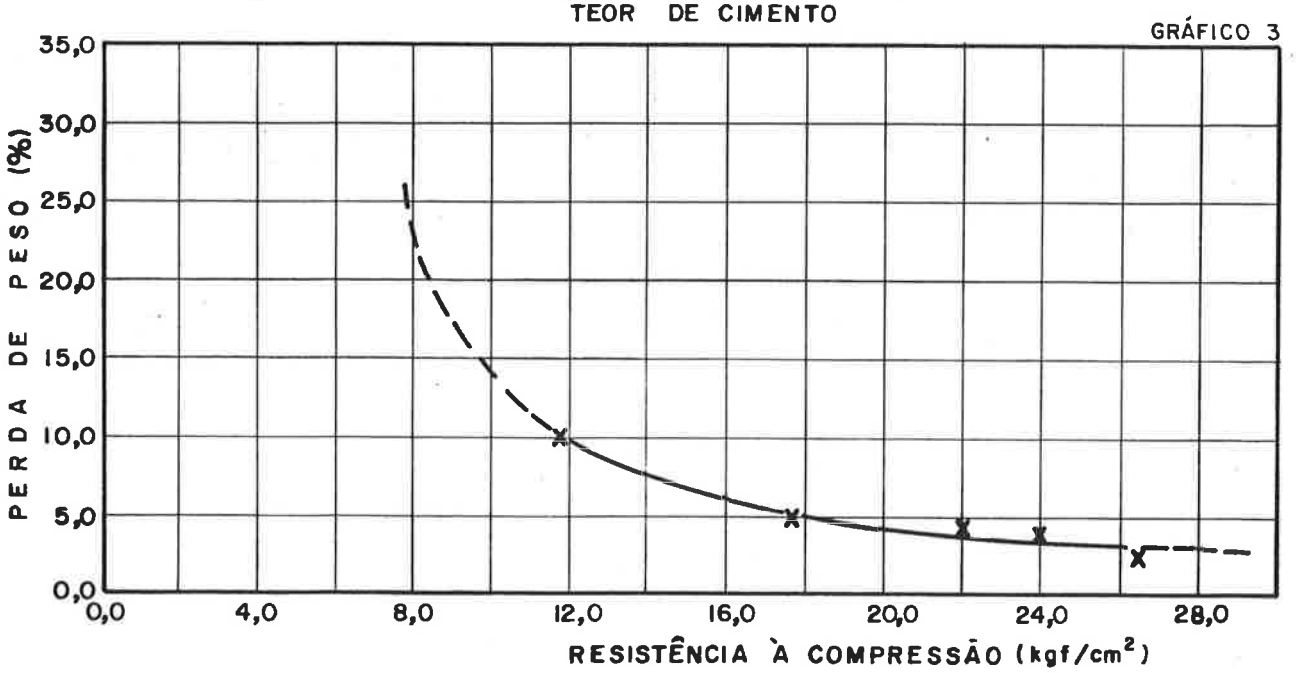


GRÁFICO 3
PERDA DE PESO (%)
35,0
30,0
25,0
20,0
15,0
10,0
5,0
0,0
0,0
4,0
8,0
12,0
16,0
20,0
24,0
28,0
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (kgf/cm²)

prancha 5.8

f) Determinação da absorção d'água

A absorção d'água foi obtida através das diretrizes gerais do MB-848/1975 da ABNT com tijolos com 6%, 8%, 10%, 11% e 12% de cimento. Os teores de 1,3%, 2% e 4% foram abandonados pois os mesmos se desagregaram durante a imersão em água. Os resultados se encontram na tabela abaixo.

Teor de cimento (%)	Absorção (%) Individual	Média
6	27,2 27,0 26,7	27,0
8	24,9 24,6 27,7	25,7
10	28,0 27,7 30,0	28,6
11	26,6 26,5 26,9	26,7
12	- 27,7 27,5	27,6

g) Conclusões

- dos resultados de perda de peso obtidos observa-se que para teores de cimento muito baixos os tijolos não apresentavam qualidade satisfatória quanto à durabilidade; a partir de 6% de cimento os tijolos começam a apresentar melhor desempenho atingindo, após 8% ,valores praticamente constantes de perda de peso. Pode-se adotar este valor, 8%, como parâmetro para a durabilidade dos tijolos.
- os resultados de absorção d'água não apresentaram nenhuma cor

relação com a porcentagem de cimento (variações de 6 a 12%).

- com os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão e durabilidade construiu-se o gráfico 3 da prancha 5.8. Deste gráfico pode-se constatar que existe uma correlação entre estas duas grandezas o que poderia conduzir a pesquisas com diversos tipos de solo, adotando-se apenas um parâmetro para a dosagem. Assumindo-se que a porcentagem de 8% é um valor para a perda de peso, a resistência à compressão que garantiria esta durabilidade seria de 15 kgf/cm^2.
- os resultados de resistência à compressão comprovam o que já tem sido determinado, isto é, a resistência se eleva à medida que se elevam os teores de cimento empregados. Com as solicitações correntes em alvenarias portantes ou não pode-se, com um coeficiente de minoração, chegar a valores da resistência à compressão necessários para os tijolos. Para isso sugere-se executar ensaios de compressão, em painéis de tijolos de solo-cimento, correlacionando os mesmos com as resistências dos tijolos e das argamassas de assentamento.

5.1.4 - Resistência à compressão dos painéis

Com o objetivo de se correlacionar as resistências à compressão de tijolos e de painéis executados com estes tijolos foram executados ensaios em paredes de 1/2 tijolo, 10 cm de espessura e de 1 tijolo, 20 cm de espessura, ambos com 120 cm x 250 cm.

a) Caracterização dos materiais

A resistência à compressão dos tijolos está na tabela abaixo e o ensaio foi executado conforme o MB-52/1945.

Corpo de Prova nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	Desvio Padrão
Resistência à compressão (kgf/cm^2)	22	29	18	25	28	31	23	35	31	28	27	3,0

A resistência à tração foi obtida através de um ensaio de flexão onde os cutelos foram colocados a uma distância de 110 mm um do outro. Os resultados se encontram na tabela abaixo:

Corpo de Prova nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média	Desvio Padrão
Resistência a tração na flexão (kgf/cm^2)	8,2	6,9	8,6	8,2	9,0	9,4	9,0	7,3	7,3	8,2	0,9

A resistência à compressão das argamassas de assentamento 1:4:12 (cimento: cal: areia) foi obtida pelo MB-1/1978 e encontram-se na tabela abaixo. A resistência à tração da mesma está na tabela abaixo e foi obtida pelo MB-212/1958. O módulo de elasticidade foi obtido conforme o método DIN 1048 e os resultados estão na tabela abaixo (88, 89).

Corpo de Prova nº	1	2	3	4	5	6	7	8	Média	Desvio Padrão
Tensão de ruptura à compressão (kgf/cm^2)	11	12	11	13	14	12	12	10	12	1,3

Corpo de Prova nº	1	2	3	4	5	6	7	8	Média	Desvio Padrão
Módulo de ruptura à tração (kgf/cm^2)	1,0	1,3	0,9	1,0	1,3	1,3	1,0	1,1	1,1	0,2

Corpo de Prova nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média	Desvio Padrão
Módulo de Elasticidade ($kgf/cm^2 x 10^3$)	15	20	30	16	-	16	20	30	21	21	6,4

b) Ensaio nos painéis

O método de determinação da resistência dos painéis foi o ASTM E72/74 sendo que a única diferença no ensaio executado em relação a mesma, era de que a carga ao invés de ser excêntrica era centrada. O esquema de aplicação de carga e disposição dos defle

tômetros encontra-se nas pranchas 5.9 (90, 91).

Foram realizadas 4 medidas a saber:

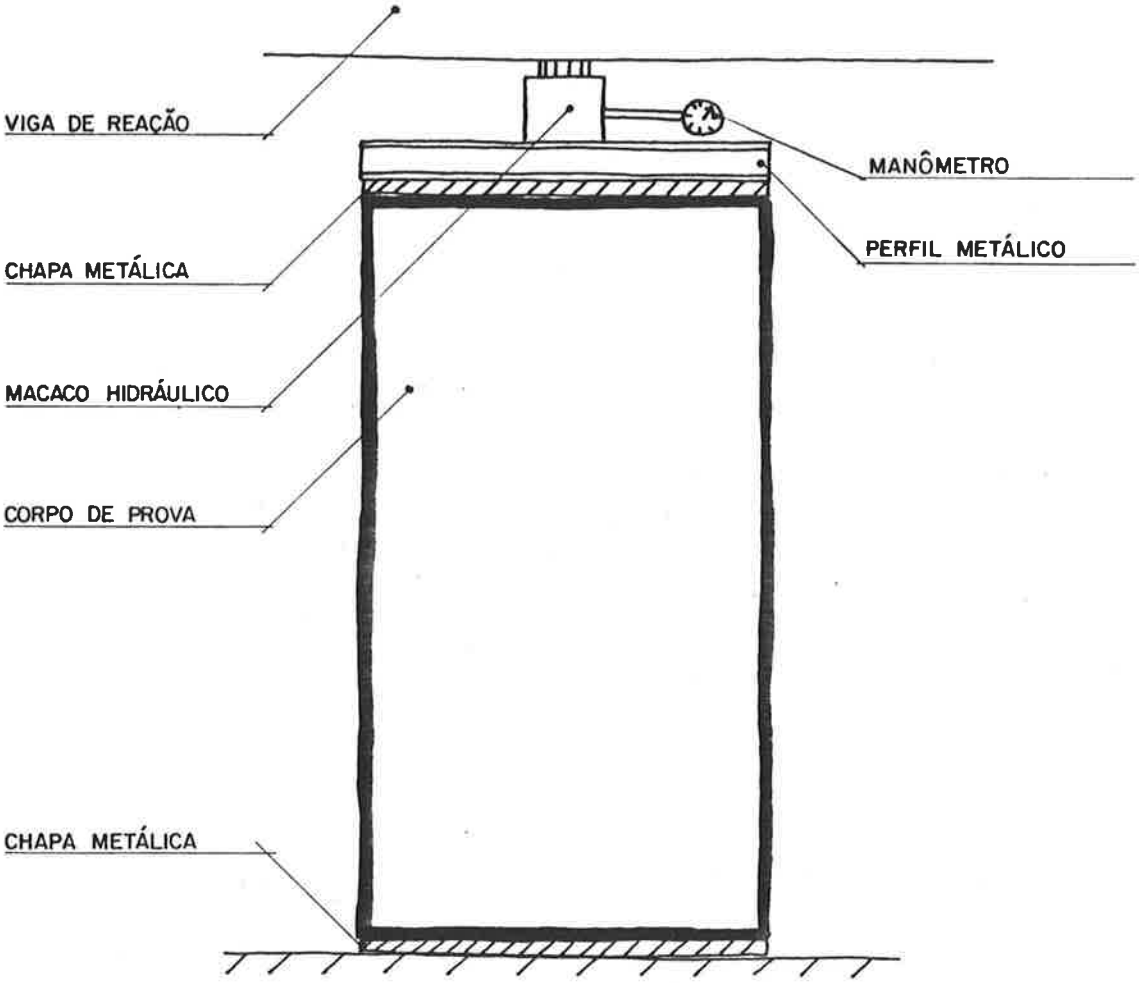
- carga de compressão nos painéis com leitura da carga através de um manômetro aferido com precisão de 2,5 kgf/cm^2.
- deslocamentos horizontais em 4 pontos da parede (D_1, D_2, D_3 e D_4) por meio de defletômetros (10^{-1} mm).
- encurtamentos longitudinais em 2 lados (D_5, D_6) por meio de defletômetros (10^{-2} mm).
- deformações nas duas faces das paredes em 4 bases de medida(T_1, T_2, T_3 e T_4) por meio de extensômetros mecânicos (10^{-5} mm).

A carga foi aplicada em incrementos iguais de 445 kgf para paredes de 1/2 tijolo e de 1335 kgf para paredes de 1 tijolo. O tempo de duração de aplicação de cada carga foi de aproximadamente 3 minutos, para que a parede se acomodasse sob a ação desta carga.

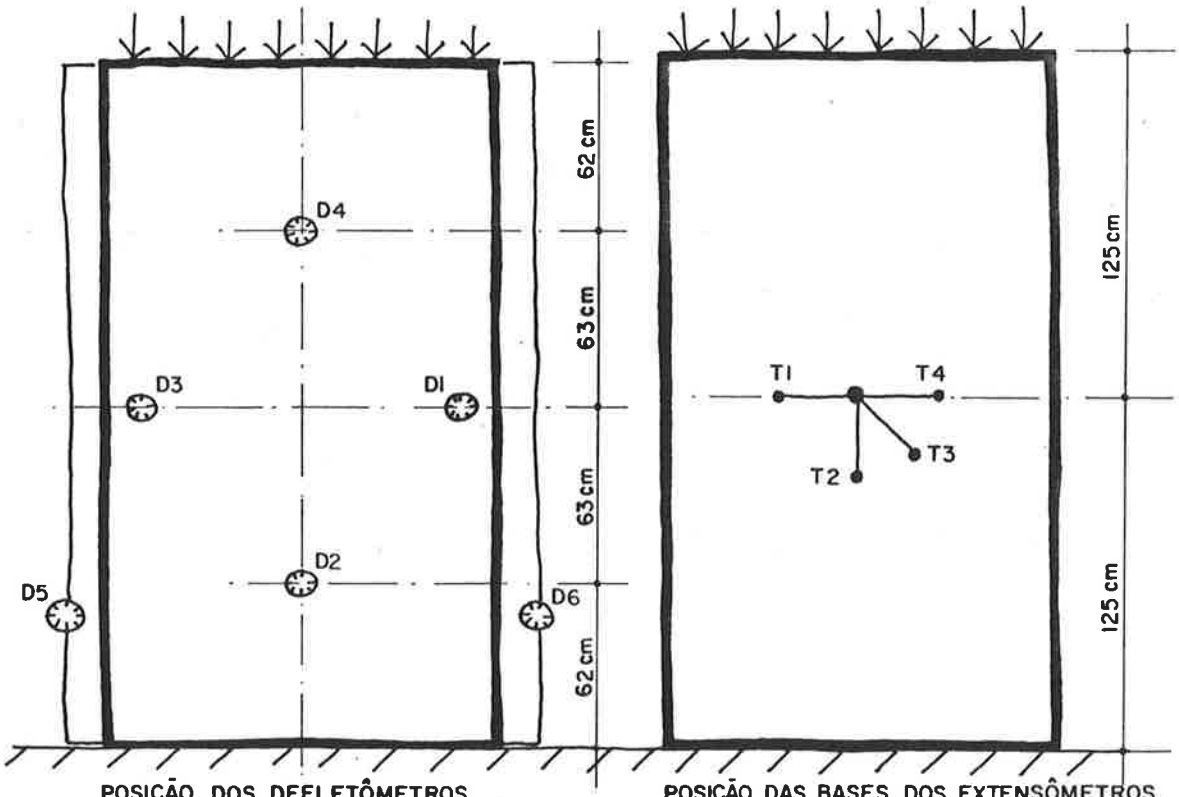
Para paredes de 1/2 tijolo, a cada novo incremento de carga, registraram-se suas deformações e descarregou-se a parede para medida das deformações residuais. Isto foi feito até aproximadamente 1/3 do carregamento total. Para paredes de 1 tijolo isto foi feito para incrementos de 2670 kgf até também 1/3 do carregamento total.

c) Resultados

Em todas as paredes ensaiadas, as primeiras fissuras visíveis apareceram para cargas próximas à carga de ruptura. A ruptura se deu de forma súbita caracterizando um material elasto-frágil. Os esquemas de fissuração encontram-se na tabela 5.10 e 5.11.



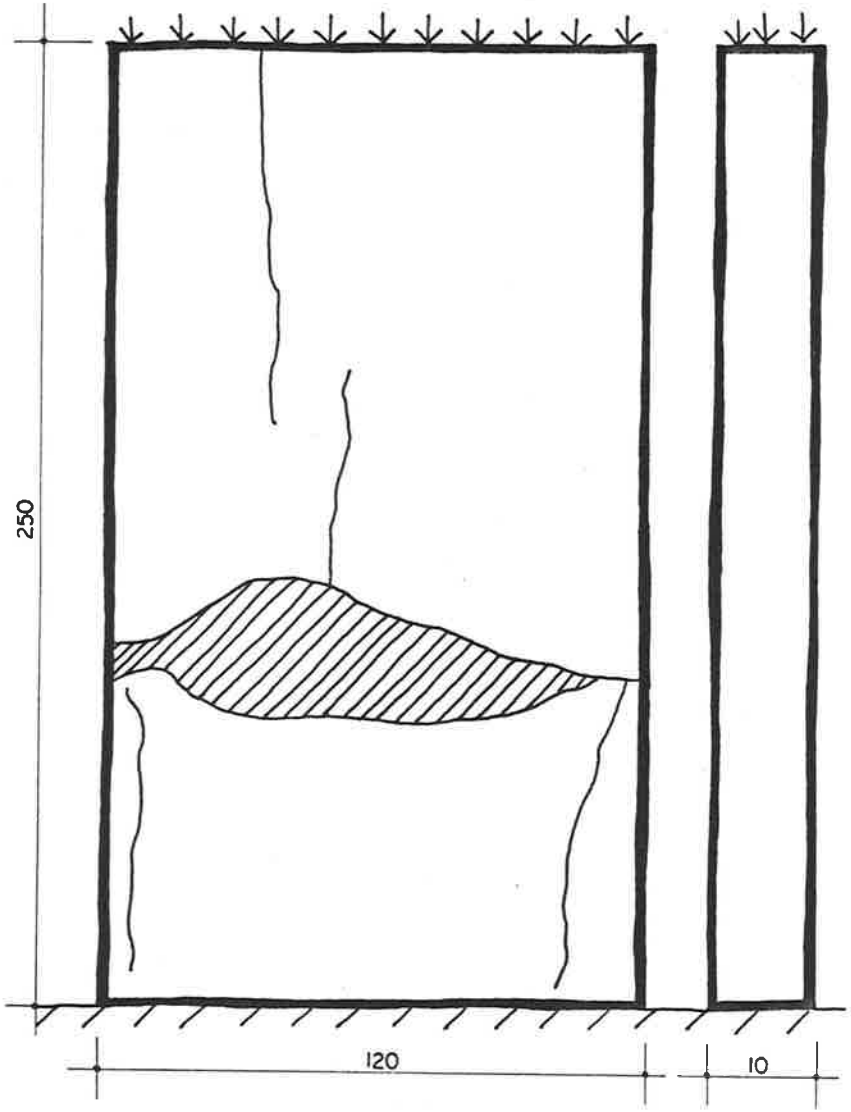
DISPOSITIVO PARA APLICAÇÃO DE CARGAS



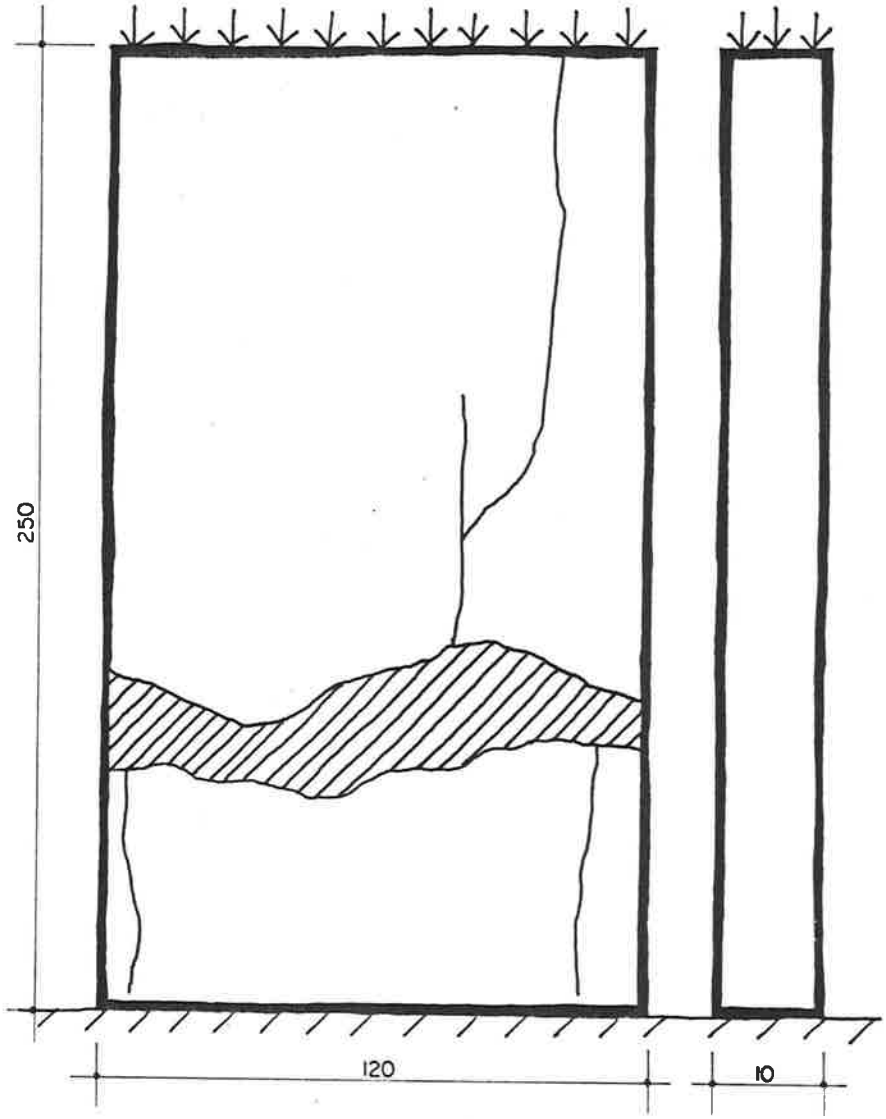
POSIÇÃO DOS DEFLETÔMETROS

POSIÇÃO DAS BASES DOS EXTENSÔMETROS MECÂNICOS

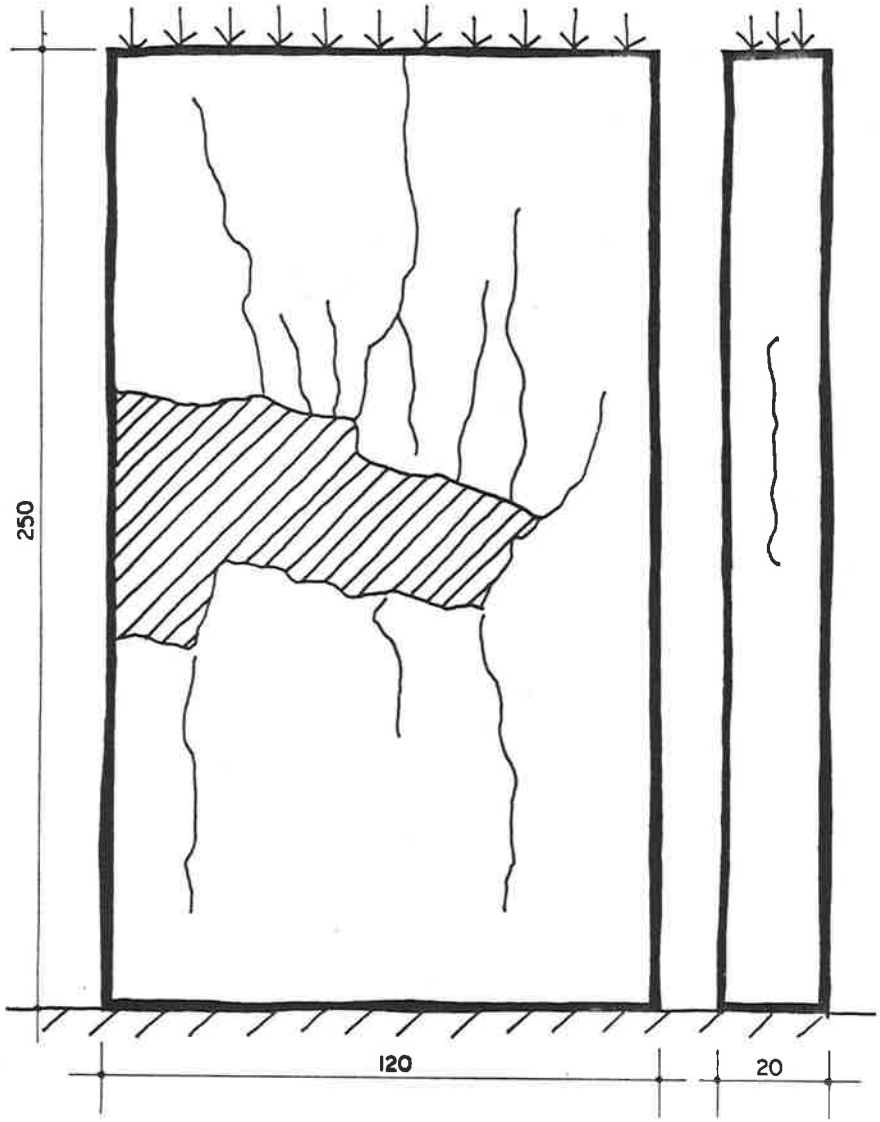
ESQUEMA DA FISSURAÇÃO APÓS A RUPTURA
PAREDE DE 1/2 TIJOLO - FACE A



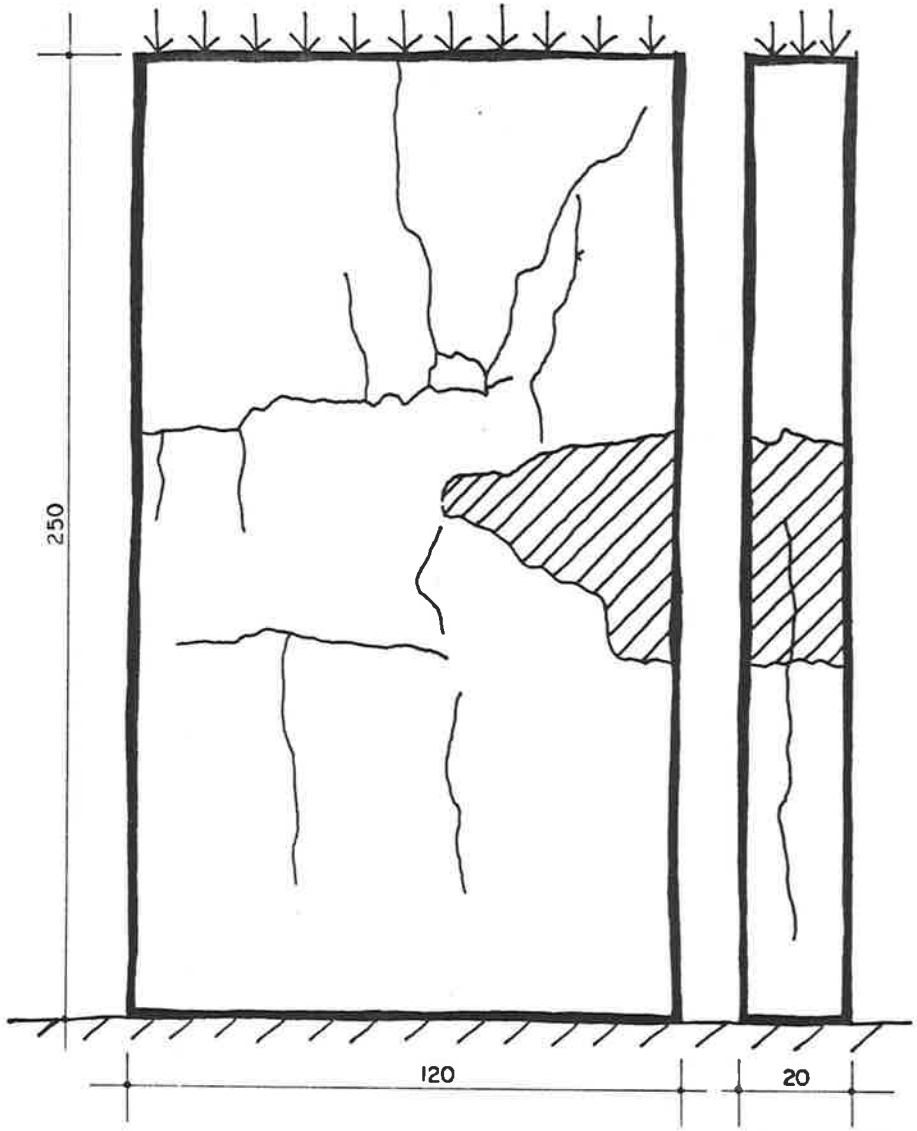
ESQUEMA DA FISSURAÇÃO APÓS A RUPTURA
PAREDE DE 1/2 TIJOLO - FACE B



ESQUEMA DA FISSURAÇÃO APÓS A RUPTURA
PAREDE DE UM TIJOLO - FACE A



ESQUEMA DA FISSURAÇÃO APÓS A RUPTURA
PAREDE DE UM TIJOLO - FACE B



prancha 5.11

	carga de ruptura (kgf)	módulo de ruptura (kgf/cm^2)
parede de 1/2 tijolo	13350	11,1
	11250	9,4
parede de 1 tijolo	36000	15,0
	51175	21,3

d) Conclusões

- O sistema de aplicação de cargas adotado, teve sua eficiência comprovada pela perfeita distribuição de cargas no painel, e ausência de tendência à flexão transversal, por flexo- compressão acidental, o que pode ser comprovado por meio das medidas dos deslocamentos horizontais e das deformações verticais.
- Os valores médios das resistências à compressão obtidas para os painéis de 1/2 tijolo f_{cj} = 10,2 kgf/cm^2 e parede de 1 tijolo f_{cj} = 18,2 kgf/cm^2 mostraram-se satisfatórios para os objetivos da parede, isto é, habitações térreas sujeitas a esforços de compressão provenientes do peso do telhado e do peso próprio.
- Se quizermos correlacionar resistências dos tijolos e dos painéis devemos nos basear apenas nos ensaios executados que são poucos. Porém pode-se ter uma idéia desta correlação baseando-se em valores médios das resistências à compressão: para paredes de 1/2 tijolo a resistência do tijolo é 3 vezes maior que à da parede e para paredes de 1 tijolo a resistência do tijolo é 2 vezes maior que à da parede.

5.1.5 - Penetração de água

O tijolo de solo-cimento normalmente é empregado sem revestimento para possibilitar uma diminuição de seu custo final.Desta forma cabe um estudo para verificação da estanqueidade à água desta solução, isto é, estanqueidade de paredes de solo-cimento sem revestimento. Foi feito apenas um ensaio em parede de 1 tijolo,executado por mão-de-obra convencional, pedreiro, procurando-se re

produzir as condições normais de assentamento. A argamassa empregada foi a de cimento, cal e areia no traço em volume de 1:4:13.

a) Método de ensaio

O ensaio consiste em se submeter o corpo de prova a uma vazão de água e à uma pressão constante. A água é lançada contra a parede formando em sua queda uma película. A pressão é obtida através de uma ventoinha, conforme esquema apresentado na prancha 5.12.(92,93)

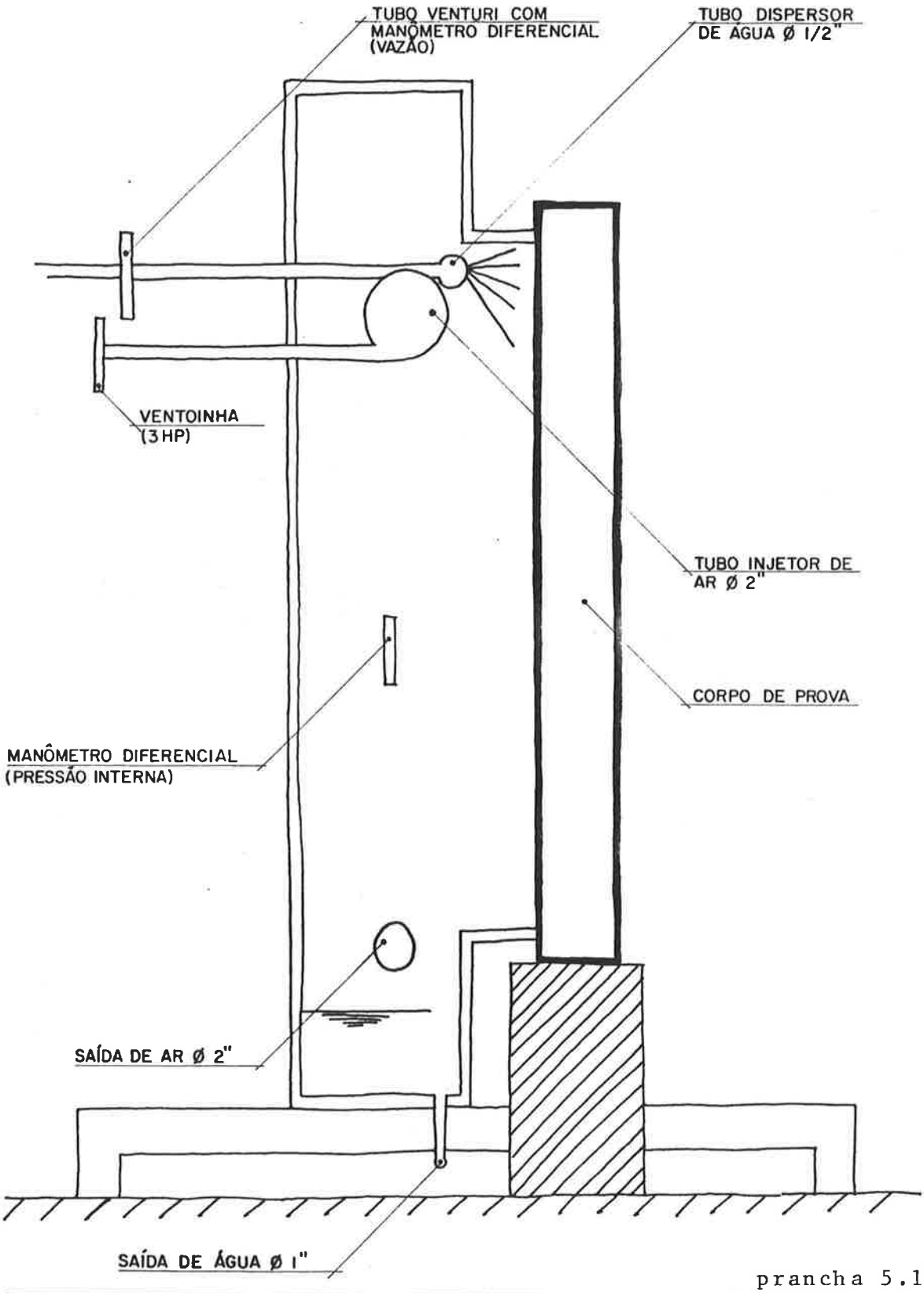
A vazão d'água e a pressão estática adotadas no ensaio foram de 3,5 ℓ/minuto e 50 mm.c.a durante 2h e 15 minutos. Estas condições podem ser relacionadas à uma chuva contínua de 140 mm/dia (5,6mm/hora) e um vento de 22 m/s.

Verificou-se durante o ensaio os pontos de passagem d'água e a evolução das manchas de umidade na face contrária à incidência de água e pressão aos 0; 1; 3; 7,5; 15; 30; 60 e 135 minutos de ensaio.

b) Resultados e conclusões

- constatou-se a passagem direta de água pela parede através de algumas juntas verticais mal executadas, com argamassa insuficiente.
- as manchas de umidade tiveram início nas juntas evoluindo ao longo das mesmas e aos poucos se alastrando para os tijolos.
- estes resultados nos remetem diretamente à preocupação quanto à qualidade dos assentamentos quando se procura adotar a parede de tijolos aparentes. A maior dificuldade e o maior cuidado devem ser tomados nas juntas verticais que se contitue em um ponto crítico das paredes.
- o número de observações nos ensaios de penetração d'água devem ser aumentados variando-se o tijolo empregado, a argamassa de assentamento, o revestimento da parede (tintas, eventualmente)

ENSAIO DE PENETRAÇÃO DE ÁGUA



prancha 5.12

e a mão-de-obra. Outros sistemas de ensaio também podem ser adotados como equipamentos portáteis para a avaliação da penetração d'água em obra.

5.2 - Tijolos prensados em máquinas automática

A pesquisa desenvolvida para tijolos em máquina manual mostrou sua viabilidade como material alternativo. Todavia a produção dos tijolos pela máquina manual é pequena e esta produção se destina ao consumo de pequenas comunidades não podendo fazer face às necessidades de uma grande parcela de população quando em projetos de maior escala. Desta forma propos-se um estudo da produção dos tijolos de solo-cimento por máquina automática, permitindo uma alta produção através de um processo industrial, atingindo dois objetivos: o da produção de grande quantidade de tijolos e o do barateamento do material pela produção em escala. Para alcançar estes objetivos, foi montado um canteiro com uma unidade piloto de produção em terreno cedido pela COHAB, junto ao conjunto habitacional de Guaianazes.

Além do estudo do tijolo e de sua produção, o IPT também acompanhou a construção de 50 protótipos de "casas-embrião" aferindo o custo de materiais e de mão-de-obra.

5.2.1 - Unidade de produção dos tijolos

A unidade de produção dos tijolos era constituída principalmente por uma máquina hidraúlica modelo TOR-HPT-30 de fabricação Supertor com uma capacidade de produção de 6 tijolos de cada vez até uma quantidade máxima de 20000 tijolos por dia. Além disso foram empregados um destorroador, um misturador e outros equipamentos tais como peneiras, carrinhos, lonas, ...

O solo a ser empregado como matéria prima foi coletado e transportado para o galpão sendo estocado protegido da chuva. Poste

riormente foi destorroado para possibilitar um melhor aproveitamento deste material. O solo foi medido em carrinhos na dosagem adequada e o cimento foi computado em sacos.

Os materiais secos foram misturados com água, e posteriormente foram prensados sendo curados à sombra por três dias, regados duas a três vezes ao dia.

5.2.2 - Fase 1

Este estudo pode ser dividido em 2 fases, distinguidas pela qualidade dos solos empregados. A fase 1 é caracterizada pelo emprego de um solo com 52% de fração argila, o melhor entre 2 outras amostras possíveis de serem utilizadas. A caracterização deste solo foi executada conforme métodos já mencionados e o resultado encontra-se na prancha 5.13.

A metodologia para a definição de um teor de cimento ótimo é aquela mencionada em 5.1.3. Isto é, definiu-se o teor de cimento com base em sua resistência à compressão aos 28 dias (valor médio $\geq$ 30 kgf/cm^2 e valor individual $\geq$ 20 kgf/cm^2) e a porcentagem de perda de peso após 12 ciclos de molhagem e secagem (5%).

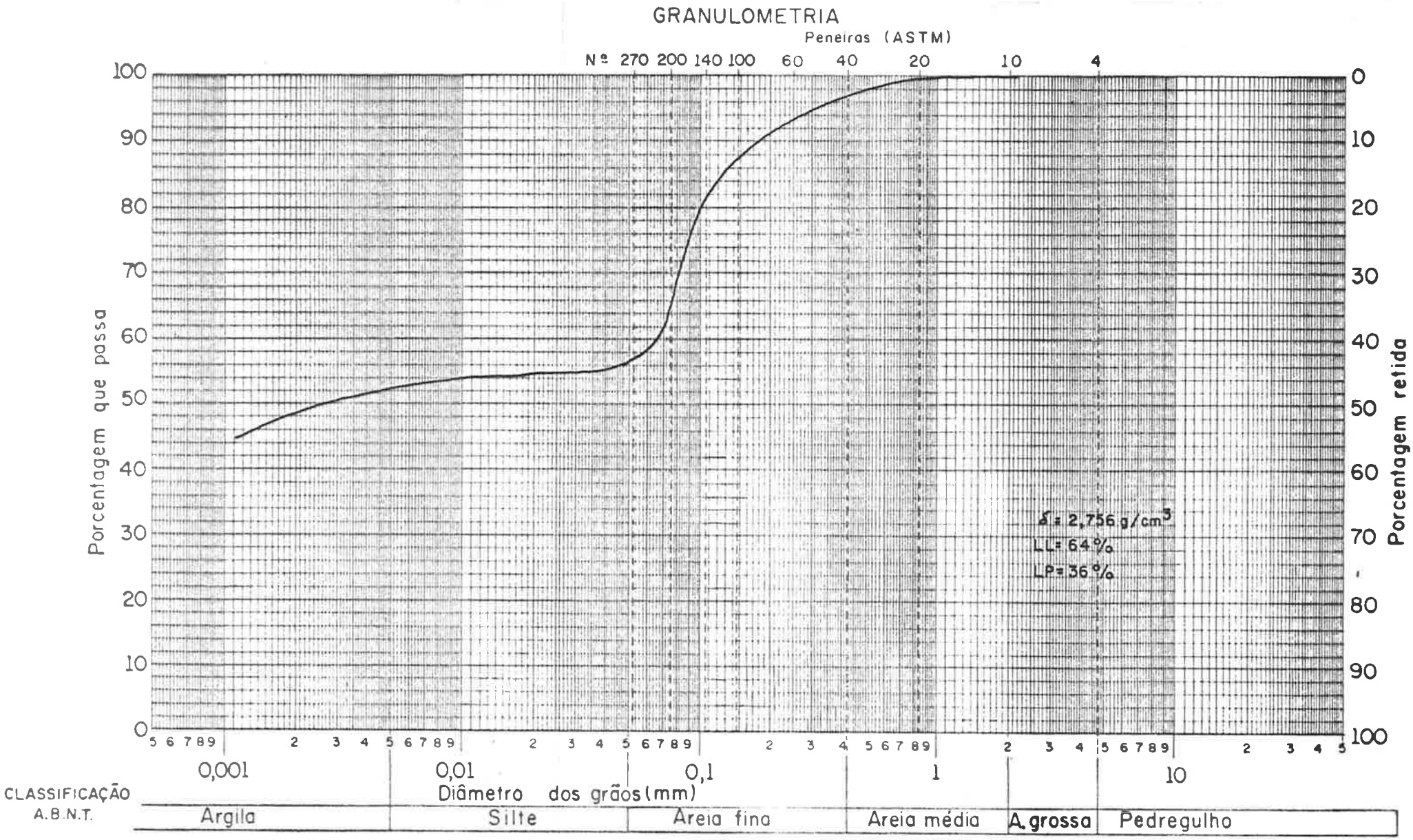
O traço final adotado foi aquele que, além de atender aos limites mínimos de resistência e de durabilidade, cobrisse eventuais variações na dosagem executada no canteiro.

a) Resistência à compressão

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão executados conforme MB-52/1945 constam da prancha 5.14.

b) Determinação da durabilidade

Os ensaios de molhagem e secagem foram executados conforme método empregado em 5.1.3, item e). Os resultados para os traços em


GRANULOMETRIA
Peneiras (ASTM)
Nº 270 200 140 100 60 40 20 10 4
Porcentagem que passa
Porcentagem retida
δ = 2,756 g/cm³
LL = 64 %
LP = 36 %
0,001
0,01
0,1
1
10
Diâmetro dos grãos (mm)
CLASSIFICAÇÃO A.B.N.T.
Argila
Silte
Areia fina
Areia média
A. grossa
Pedregulho

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO - FASE 1 - TIJOLOS EM MÁQUINA AUTOMÁTICA

Amostra	Traço em volume cimento/solo	Número de corpos de prova	Resistência à compressão (kgf/cm^2)		Idade (dias)
			média	desvio padrão	
1	1:10	6	33	0,7	7
2	1:10	6	38	2,9	14
3	1:11	6	33	4,3	7
4	1:11	6	37	2,1	14
5	1:12	6	28	2,9	7
6	1:12	6	34	1,8	14
7	1:13	6	26	1,2	7
8	1:13	6	29	3,0	14
9	1:14	6	25	2,4	7
10	1:14	6	27	2,8	14

volume de 1:10, 1:11, 1:12, 1:13 e 1:14 dos tijolos foram sempre inferiores à 5% de perda de peso o que nos indica serem os tijolos de boa qualidade no que diz respeito à durabilidade.

c) Absorção d'água

Os ensaios de absorção d'água estão apresentados na prancha 5.15 e foram executados conforme MB-848/1975 da ABNT. (94)

d) Conclusões

- em função dos resultados dos ensaios de durabilidade e de resistência à compressão optou-se pelo traço 1:13, (cimento/solo) em volume. Este traço foi utilizado na produção de tijolos que foi empregado em aproximadamente 1/3 das casas-embrião executadas.

5.2.3 - Fase 2

A fase 2 foi caracterizada pelo emprego de um solo proveniente de uma jazida mais distante que o solo empregado na fase 1 e que é caracterizada por teores de argila de 13% e de 8% (ver pranchas 5.16 e 5.17).

a) Resistência à compressão

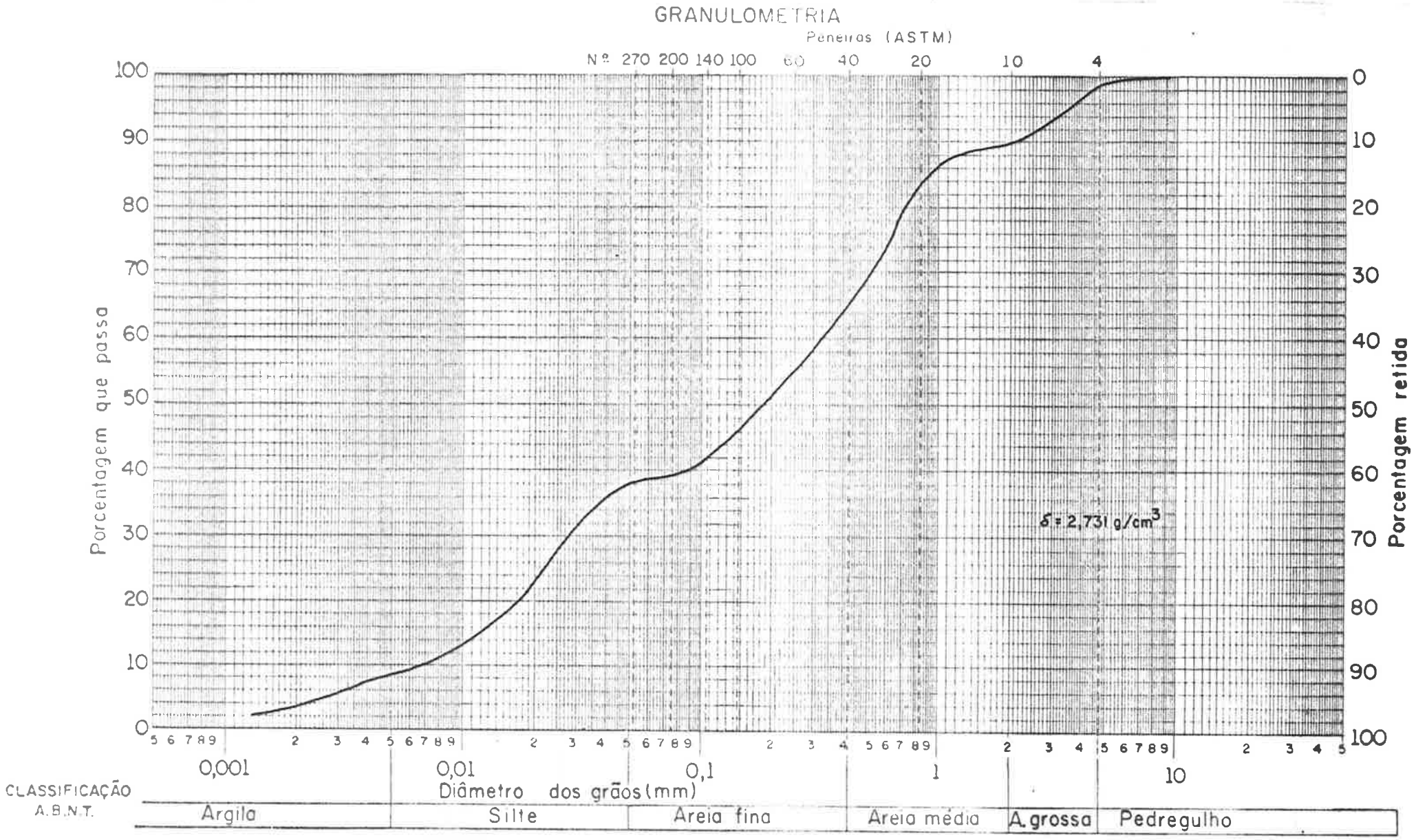
Os resultados dos ensaios executados pela MB-52 se encontram na prancha 5.18 e foram executados apenas aos 7 dias de idade. Isto se deveu ao fato de que os demais ensaios foram executados na medida que foram implantados os controles de qualidade.

b) Controle de qualidade

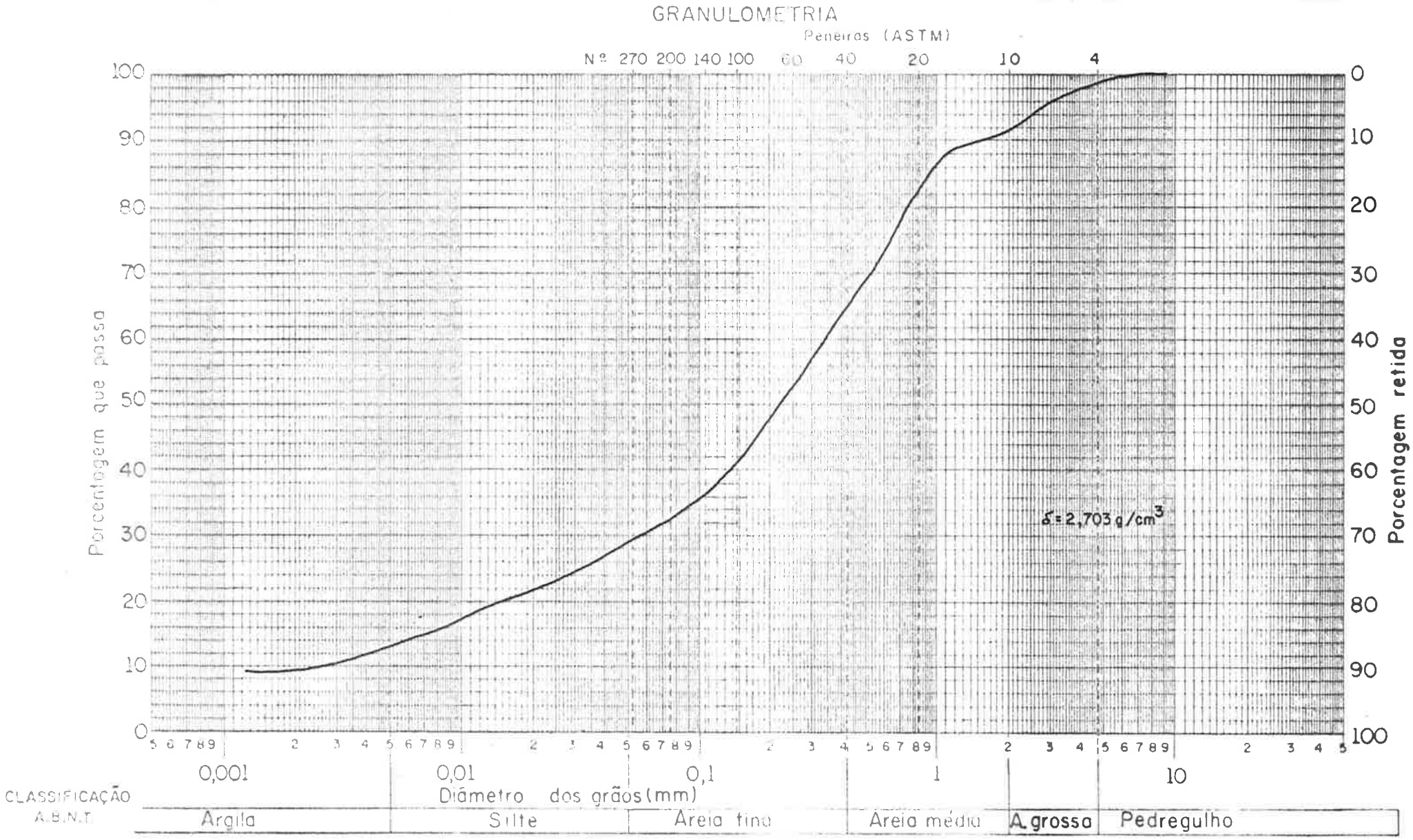
Para o controle de qualidade tomou-se como critério de amostragem, o mesmo adotado pela EB-19, isto é, retirar de 50000 tijolos ou fração, 25 tijolos e desses ensaios 10 à compressão. Os resultados se encontram na prancha 5.19.

ABSORÇÃO DE ÁGUA - FASE 2 - TIJOLOS EM MÁQUINA AUTOMÁTICA

Traço em volume solo/cimento	Absorção de água (%)	
	Individual	Média
1 : 10	25,3 24,5 23,7	24,5
1 : 11	23,5 24,6 24,6	24,2
1 : 12	24,9 24,7 25,6	25,0
1 : 13	25,3 23,9 24,9	24,7
1 : 14	26,3 25,3 24,5	25,4


GRANULOMETRIA
Peneiras (ASTM)
Nº 270 200 140 100 60 40 20 10 4
Porcentagem que passa
Porcentagem retida
δ = 2,731 g/cm³
0,001
0,01
0,1
1
10
Diâmetro dos grãos (mm)
CLASSIFICAÇÃO A.B.N.T.
Argila
Silte
Areia fina
Areia média
A. grossa
Pedregulho

prancha 5.16


GRANULOMETRIA
Peneiras (ASTM)
Nº 270 200 140 100 60 40 20 10 4
Porcentagem que passa
Porcentagem retida
δ = 2,703 g/cm³
0,001
0,01
0,1
1
10
Diâmetro dos grãos (mm)
CLASSIFICAÇÃO A.B.N.T.
Argila
Silte
Areia fina
Areia média
A. grossa
Pedregulho

prancha 5.17

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO - FASE 2 - TIJOLOS EM MÁQUINA AUTOMÁTICA

Amostra	Traço em volume cimento/solo	Número de corpos de prova	Resistência à compressão (kgf/cm^2)		Idade (dias)
			média	desvio padrão	
1	1:10	6	24	1,2	7
2	1:11	6	26	2,1	7
3	1:12	6	34	3,3	7
4	1:13	6	27	2,4	7
5	1:14	6	27	1,4	7
6	1:15	6	28	0,7	7

CONTROLE DE QUALIDADE - FASE 2 - TIJOLOS EM MÁQUINA AUTOMÁTICA

Traço em volume solo/cimento	Resistência à compressão (kgf/cm^2) - 10 c.p.		Idade (dias)	Observações
	Média	Desvio padrão		
1:11	30	4.5	9	Liberado
1:11	25	2.4	8	Liberado
1:11	29	3.2	13	Liberado
1:11	33	5.6	11	Liberado
1:13	22	2.2	9	Liberado sem restrições
1:13	31	2.5	17	Liberado
1:13	24	1.7	14	Liberado

c) Conclusões

- em função dos resultados dos ensaios de compressão optou-se pelo traço de 1:11 (cimento/solo) em volume, que posteriormente foi diminuído para 1:13 (cimento/solo) em volume devido a que os resultados de resistência alcançados foram elevados.
- os ensaios de controle de qualidade na prancha 5.19 nos mostra que este procedimento foi correto possibilitando uma boa qualidade com menos consumo de cimento. Após um período de ensaios de controle de qualidade de 30 dias deliberou-se ser desnecessário a continuidade de um controle laboratorial rigoroso, passando-se a exercer apenas um controle visual na obra.

5.3 - Custos

Os custos dos tijolos de solo-cimento foram levantados em 2 ocasiões: ocasião A, após a Fase 2 mencionada em 5.1.2 e ocasião B, após completado o estudo com a máquina automática, isto é, após a Fase 2 mencionada em 5.2.3. Como unidade monetária adotamos a UPC fornecida pela Secretaria do Planejamento que tem suas restrições como moeda padrão porém continua sendo um instrumento de comparação utilizado em diversos estudos econômicos e principalmente na área de construção civil.

5.3.1 - Ocasião A

Os custos foram levantados em janeiro de 1977, sendo que a UPC na época valia Cr$ 183,65. Os tijolos ensaiados tiveram seus custos avaliados a partir da tomada de preços da matéria-prima no atacado e no varejo computando-se além deles, a mão-de-obra,energia consumida, encargos trabalhistas de 80% e amortização do equipamento como 10% do custo total. O equipamento adotado foi o de produção manual, com previsão de 1000 tijolos diários e o de produção automática, com previsão de 20000 tijolos diários.

O custo do milheiro destes tijolos e dos de barro cozido e blo

cos de concreto encontram-se na prancha 5.20, que teve seus valores baseados na Revista Construção em São Paulo de 3 de janeiro de 1977. (95)

5.3.2 - Ocasião B

Na 2ª ocasião os custos foram levantados em maio de 1978 sendo o valor da UPC, Cr$ 238,32. Nesta etapa a apropriação de custos foi realizada não especificamente sobre os tijolos de solo-cimento mas sobre toda a edificação de 23,10 m^2 levando-se em conta as fundações, alvenaria, cobertura, instalações e revestimentos.

Levantaram-se também o custo global de mais duas alternativas onde foram modificados os detalhes da cobertura visando um barateamento global da edificação.

Além disso a COHAB forneceu dados para soluções similares em blocos de concreto.

	custo/m^2 em UPC	edificação de 23 m^2 em UPC
solo-cimento alternativa 1	5,06	116,91
solo-cimento alternativa 2	4,62	106,63
solo-cimento alternativo 3	4,42	101,99
bloco de concreto.	7,11	164,35

Solo	Porcentagem em peso cimento:cal:areia	Porcentagem em volume cimento:cal:areia	Resistência à compressão média (kgf/cm^2)	CUSTO (UPC) VAREJO Máquina manual	VAREJO Máquina automática	ATACADO Máquina manual	ATACADO Máquina automática
marrom	13 : - : -	10 : - : -	35	3,62	1,30	3,26	0,93
marrom	13 : 7 : -	10 : 10 : -	27	4,05	1,72	3,57	1,24
marrom	13 : 7 : 13	10 : 10 : 10	35	4,12	1,79	3,66	1,31
marrom	14 : 14 : -	10 : 8 : -	51	3,94	1,61	3,49	1,17
marrom	12 : - : 12	10 : - : 10	38	3,70	1,37	3,32	1,00
marrom	12 : - : 24	10 : - : 20	61	3,77	1,44	3,39	1,06
marrom	23 : - : 24	20 : - : 20	68	4,57	2,24	4,01	1,68
marrom	11 : - : -	8 : - : -	40	3,47	1,15	3,09	0,83
marrom	9 : - : -	7 : - : -	22	3,38	1,05	3,07	0,75
marrom	8 : - : -	6 : - : -	19	3,28	0,95	3,00	0,67
marrom	6 : - : -	5 : - : -	19	3,16	0,83	2,90	0,58
marrom	5 : - : -	4 : - : -	19	3,11	0,79	2,87	0,54
marrom	4 : - : -	3 : - : -	13	3,04	0,71	2,81	0,48
marrom	8 : 8 : -	7 : 7 : -	23	3,70	1,38	3,31	0,98
marrom	6 : 6 : -	5 : 6 : -	19	3,48	1,15	3,14	0,81
amarelo	13 : 4 : -	10 : 8 : -	22	3,94	1,61	3,49	1,17
amarelo	12 : - : 12	10 : - : 10	38	3,70	1,37	3,32	1,00
amarelo	23 : - : -	20 : - : -	42	4,42	2,09	3,88	1,55
vermelho	11 : - : -	10 : - : -	44	3,62	1,30	3,26	0,93
Média			-	3,69	1,36	3,31	0,98
Tijolo maciço de barro cozido			-		2,72	-	
Tijolo furado (20x15x10cm)		-	-		6,53	-	
Tijolo furado (20x20x10cm)		-	-		6,53	-	
Bloco de concreto (40x20x10cm)		-	-	14,70		-	
Bloco de concreto (40x20x15cm)		-	-	20,15			
Bloco de concreto (40x20x20cm)		-	-	25,59			

6. Paredes monolíticas de solo - cimento

6. Paredes monolíticas de solo-cimento

O sistema de construção de paredes de forma monolítica foi desenvolvido pela CEPED, Centro de Pesquisas e Desenvolvimento do Estado da Bahia, no âmbito do projeto THABA, tendo como premissa a utilização de materiais de fácil obtenção, adotando-se um sistema construtivo razoavelmente simples e com um mínimo de investimentos em equipamentos. Não se procurou encontrar uma solução definitiva para a habitação popular porém procurou-se buscar dentro de certos limites o barateamento da construção, um dos itens do custo de uma habitação:

"A construção de muros de paredes monolíticas é executada com a compactação do solo sem aditivos, ou com solo-cimento, entre dois pranchões, usualmente de madeira. A compactação na umidade ótima permite imediata desmoldagem e compactação da camada seguinte, sobre a anterior. Este método é também conhecido como "taipa-de-pilão" em contraposição à trama de madeira recoberta, que é chamada "taipa-de-sebe", ou simplesmente "taipa".(96)

Em termos de processo apropriado da construção reviveu-se uma técnica em vias de extinção nos centros urbanos adaptando-a a equipamentos e matérias primas atuais, neste caso, o cimento(97).

Nesta experiência, desenvolveu-se a contento as 4 etapas de tecnologia apropriada (prancha 2.1) ou seja:

- criação da tecnologia pelo CEPED;
- transferência da tecnologia através de um manual de instrução (98);
- avaliação da tecnologia pelo CEPED e outros grupos como o projeto PATAC na Paraíba (99);
- modificação da tecnologia pelo PATAC.

Desta forma a experiência é dinâmica sendo que a criação da tec

nologia é apenas parte de um processo onde está presente a preocupação da facilidade de disseminação das idéias com a utilização de materiais locais e através de um trabalho conjunto das pessoas se apropriando do bem produzido.

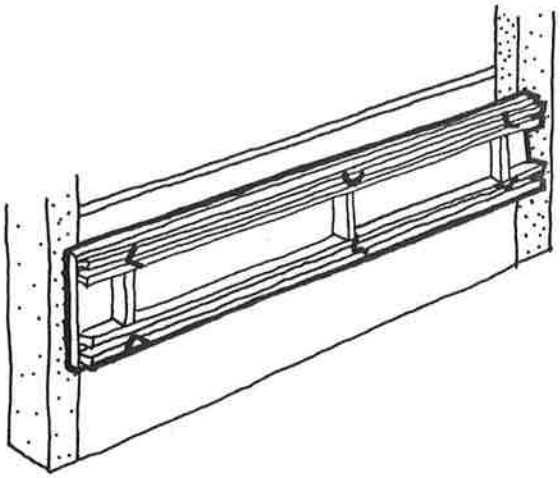
Para atingir a estes objetivos o CEPED desenvolveu uma metodologia para a escolha do solo e determinação do teor de cimento, além de propor um sistema de construção acima mencionado. Para uma avaliação e um aprofundamento das questões surgidas estudaram-se também as resistências à compressão dos painéis, resistências ao choque de corpo mole, corpo duro e às cargas excêntricas, durabilidade e permeabilidade de pinturas, o conforto térmico e a influência da cura e da adição de óleo na resistência do solo-cimento.

6.1 - O sistema de construção

O sistema construtivo constitue-se em compactar porções de solo-cimento entre duas estacas que definem o alinhamento de uma parede e duas pranchas de madeira a elas solidarizadas. É uma adaptação de taipa-de-pilão (vide item 3)

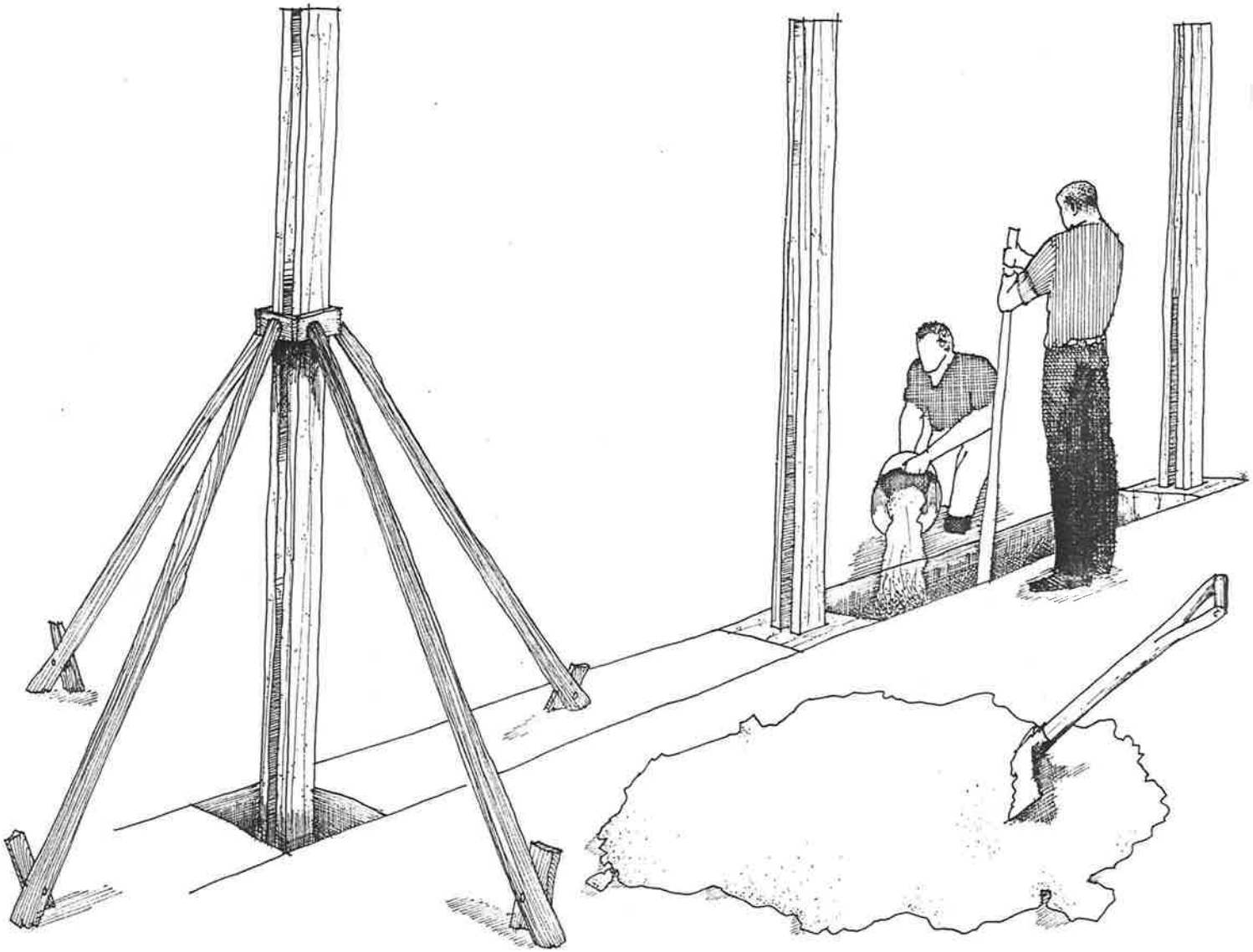
Esta forma de se construir tem sido proposta em vários estudos variando-se as dimensões e formados das pranchas de madeira e a maneira de fixá-los entre si. No Brasil o documento mais conhecido deste método construtivo é o boletim nº 54 de 1948 da ABCP, Casa de Paredes de Solo-Cimento onde além do método em si, propõem também critérios para dosagem e métodos de preparação das misturas. (82)

No estudo avaliaram-se diversos modelos de forma adotando-se como critérios os tempos empregados na montagem, enchimento, compactação e desmoldagem. Os melhores resultados foram obtidos com a forma abaixo, no sistema de guias perdidas de concreto pré-moldadas:

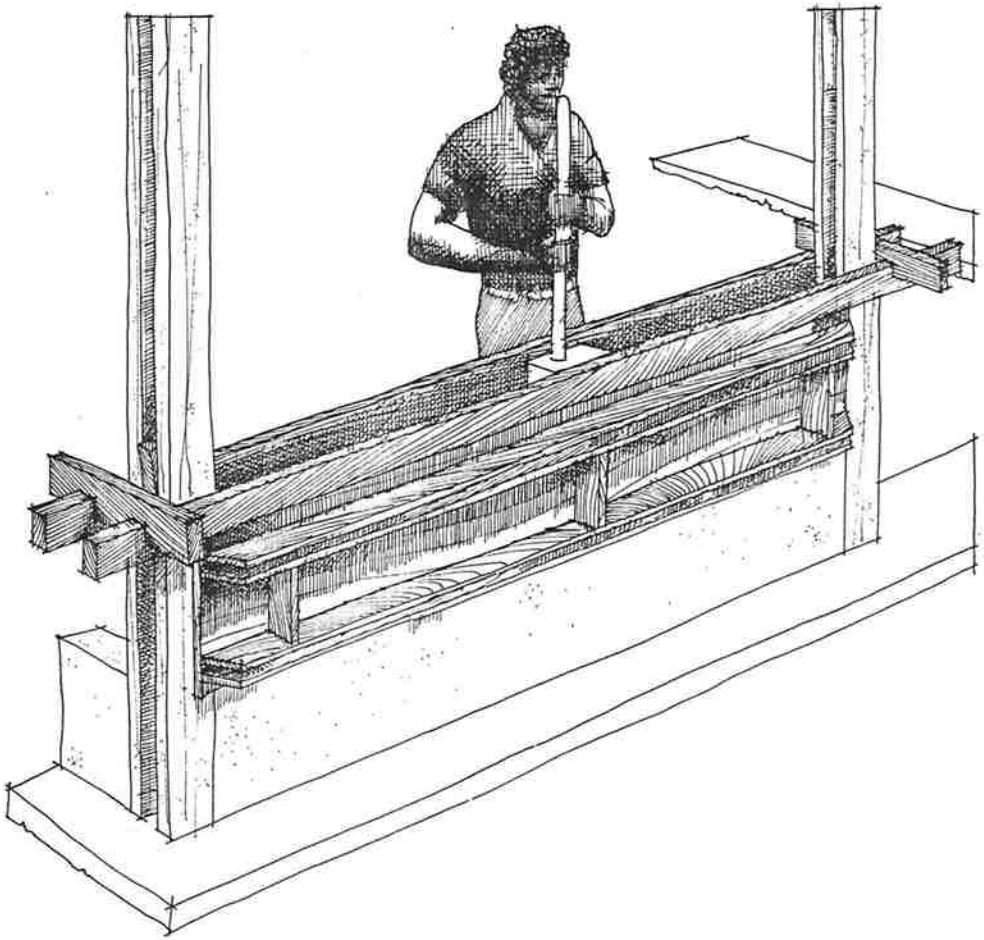


Nas pranchas 6.1, 6.2 e 6.3 apresentamos de forma esquemática este sistema , sendo seus principais detalhes:

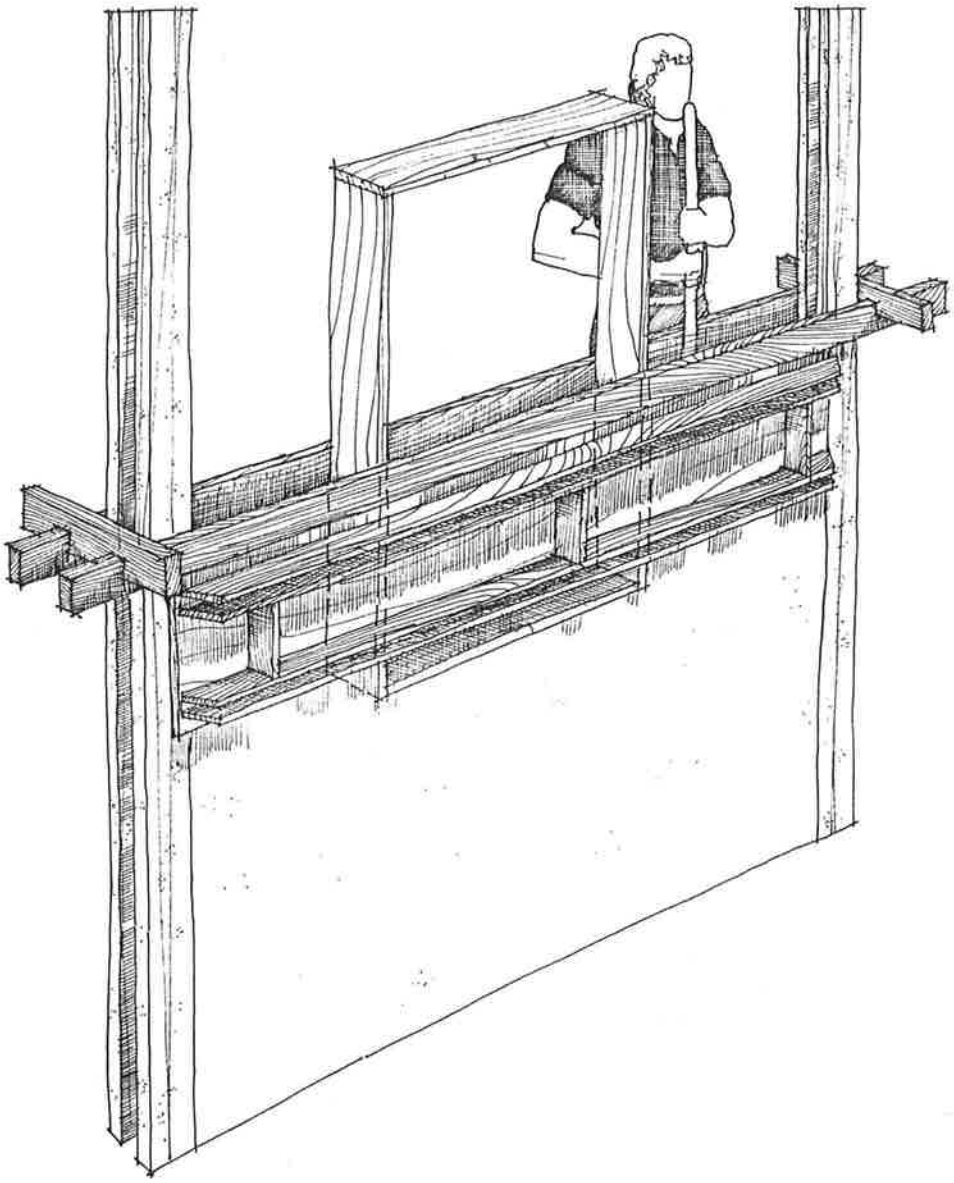
- a mistura solo-cimento é definida como em 6.3 tomando-se a precaução de se trabalhar com um volume tal de material que possibilite uma boa homogeneização.
- o cimento é misturado ao solo seco e previamente destorroado.
- a água é juntada posteriormente da forma indicada em 5.1.1 item c.
- em solos de boa qualidade as fundações podem ser de solo-cimento de 40 cm de largura por 30 a 40 cm de profundidade para paredes externas e de 20 cm por 20 a 30 cm para paredes internas sob efeito apenas de seu peso próprio; em solos de qualidade ruim ou no caso de dúvidas a respeito de seu comportamento sugere-se fundações convencionais.



prancha 6.1



prancha 6.2



prancha 6.3

- o respaldo da fundação deve ser impermeabilizado com muito cuidado, por exemplo, por uma argamassa com aditivos e duas camadas de emulsão asfáltica, para evitar a ascensão de umidade por capilaridade que é um fenômeno corrente em paredes de solo cimento; sugere-se também a confecção de um passeio em torno das paredes externas.
- a mistura solo-cimento deve ser compactada em camadas sucessivas de aproximadamente 15 cm com soquetes de 2,5 a 3 kg até que o mesmo não deixe mais marcada a superfície de compactação.
- a cura das paredes é conseguida molhando-a diariamente quatro ou mais vezes durante um mínimo de 15 dias.

Os detalhes e os esquemas apresentados não procuram ensinar a técnica da construção de paredes monolíticas de solo-cimento,que pode ser visto em detalhes na cartilha preparada especialmente para isso (98), porém levantar alguns pontos considerados críticos que devem ser executados com cuidado para não comprometer o resultado do processo construtivo.

A seguir analisaremos o material solo-cimento com um estudo de sua dosagem e uma avaliação de seu comportamento quando empregado em paredes.

6.2 - Escolha do solo

Uma das primeiras perguntas a se fazer é se o solo disponível perto do local da construção é adequado para a mesma. Ou se não o for, qual o solo ou mistura de solos poderia ser empregado. As principais razões que limitam a utilização de solos ou mistura de solos são sua trabalhabilidade e sua resistência após a estabilização.

A trabalhabilidade dos solos está representada na maior ou menor dificuldade em destorroá-lo, em misturá-lo com o estabilizador, umedecê-lo e compactá-lo. A trabalhabilidade do solo é função e

depende dos equipamentos disponíveis e do processo construtivo adotado.

A trabalhabilidade de forma genérica pode ser representada pelos limites de consistência, LL: limite de liquidez e LP: limite de plasticidade (vide 3.1.4). A pesquisa indicou que um número razoável a se adotar era o de 45 a 50% como valor máximo para o limite de liquidez.

Para o sistema construtivo adotado e com os equipamentos disponíveis, a construção se dificulta com a maior porcentagem de argila no solo. Além disso maiores teores de areia possibilitam um consumo menor de cimento. Porém é necessário que o solo tenha uma coesão afim de se processarem as reações de endurecimento do cimento.

Desta forma, tamanho dos grãos e sua distribuição afetam também a trabalhabilidade do solo influenciando sua resistência após a estabilização.

O CEPED adotou a seguinte especificação para a fração abaixo da peneira de 4,8 mm:

% de areia: 45 a 80
% de silte + argila: 20 a 55
% de argila < 20

Se o solo não atender à estas especificações podemos corrigi-lo misturando-lhe areia no caso de solos muito argilosos ou vice-versa. De qualquer forma sugerimos esta solução em último caso pois a correção é de difícil execução em obra.

Deve-se frisar que o CEPED, tendo em vista o emprego do solo-cimento em localidades distantes e sem acesso a laboratórios de ensaios de materiais, levantou dentre os existentes, alguns métodos expeditos para a escolha de solos.(100) Estes métodos podem

ser empregados quando se tem diversos solos disponíveis e se quer saber qual deles melhor se comportaria após a estabilização. (vide pranchas 6.4, 6.5 e 6.6)

6.3 - Determinação do traço

Os critérios de dosagem adotados basearam-se em duas características do solo-cimento: a resistência à compressão e a durabilidade.

6.3.1 - Resistência à compressão

Foram ensaiados corpos de prova com 2, 4, 6, 8, 10, 12 e 14% de cimento em peso, em diversos solos. Os corpos de prova foram moldados conforme o MB-3, Ensaio normal de compactação de solos, no cilindro conhecido como Proctor normal utilizando-se a energia normal de compactação. Após moldados, os cilindros foram esculpidos obedecendo-se uma relação altura/diâmetro variando entre 2,0 e 2,5, sendo o valor característico, a média sobre dois corpos de prova. (101)

Obtidos os resultados dos ensaios, procurou-se definir a resistência mínima admissível e com isso o teor mínimo de cimento.

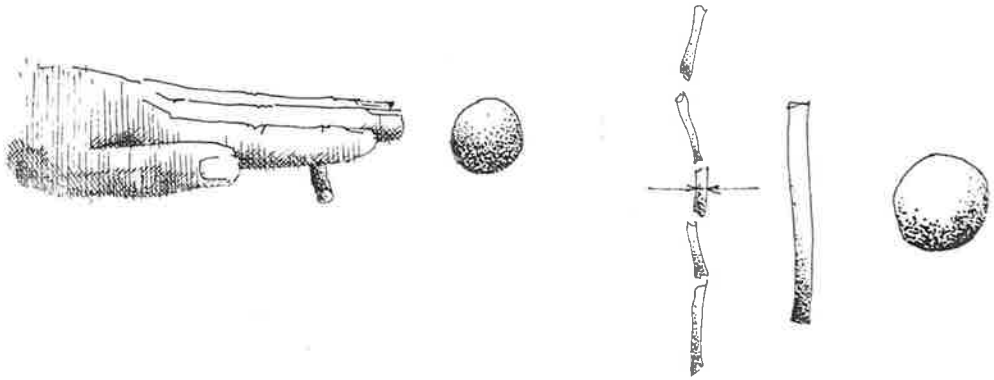
A resistência mínima admissível adotada foi a de 7,5 kgf/cm^2 para misturas empregadas em paredes que recebem telhados convencionais de telhas cerâmicas e de 5,0 kgf/cm^2 para misturas empregadas em paredes que não recebem essa carga. Estes valores foram adotados supondo-se um coeficiente de segurança de 5, uma relação resistência da parede/resistência do corpo de prova de 0,70 e cargas atuantes de 1,0 kgf/cm^2 em paredes que recebem telhados e de 0,5 kgf/cm^2 em paredes que não recebem telhados.

Com os resultados obtidos foi feita uma análise estatística correlacionando-se a % de areia e o teor de cimento necessário pa

Ensaio do cordão

Juntar água ao solo seco até se obter um cordão de 3 mm.

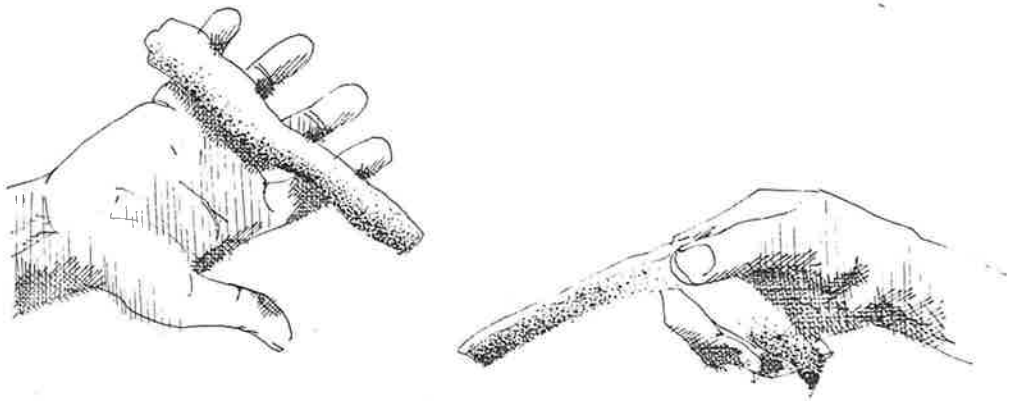
- cordão frágil - não é possível executar o cordão.
- cordão mole - o cordão tem pouca resistência.
- cordão duro - o cordão é resistente.



Ensaio da fita

Utilizando o solo com a mesma consistência do ensaio do cordão, fazer um cilindro do tamanho de um cigarro, e amassá-lo até formar uma fita de máximo comprimento.

- fita longa - 25 a 30 cm
- fita curta - 5 a 10 cm

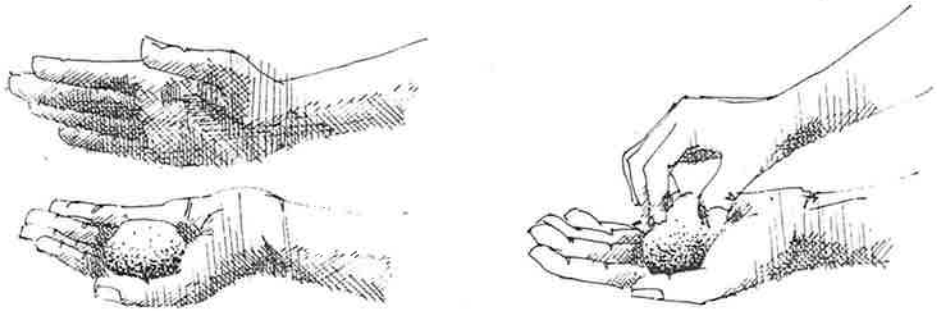


Prancha 6.4

Ensaio do bolo

Golpear uma mão com o solo bastante úmido com outra até que a água saia para a superfície.

- reação rápida - são necessários 5 a 10 golpes; a pressão dos dedos esmigalha o solo.
- reação lenta - são necessários 20 a 30 golpes; a pressão dos dedos deforma o solo.



Ensaio de resistência seca

Fazer duas pastilhas de 1 cm de espessura por 3 cm de diâmetro com solo bem úmido e secar.

Tentar esmagar entre o indicador e o polegar:

- grande resistência seca: é difícil esmagar a pastilha que se quebra como um biscoito.
- média resistência seca: não é difícil esmagar a pastilha que se reduz a pedaços.
- fraca resistência seca: é fácil esmagar a pastilha que se reduz a pó.

Prancha 6.5

MÉTODOS QUALITATIVOS DE ESCOLHA DO SOLO

CORDÃO	ENSAIOS		RESISTÊNCIA SECA	TIPO DE SOLO	POSSIBILIDADES DE UTILIZAÇÃO
	FITA	BOLO			
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, areais finas siltoras, areias finas argilosas, siltes argilosos.	Solo prensado para tijolos, adobes com cimento, terra compactada com ou sem cimento: quando muito arenosos, juntar solos finos, siltes e argilas siltosas.
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 siltosas.	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.

ra se alcançar as resistências mínimas.

% de areia	resistência à compressão	teor de cimento em peso (%)
45 a 55	5,0 kgf/cm^2	10
	7,5 kgf/cm^2	14
55 a 65	5,0 kgf/cm^2	10
	7,5 kgf/cm^2	14
65 a 75	7,0 kgf/cm^2	14
	7,5 kgf/cm^2	14
75 a 85	5,0 kgf/cm^2	14
	7,5 kgf/cm^2	14

Obs.: esta tabela se baseia em um quantil de 95%.

6.3.2 - Durabilidade

Foram ensaiados corpos de prova com 2, 4, 6, 8, 10, 12 e 14% de cimento em peso, em diversos solos. Os corpos de prova foram moldados da mesma forma que os empregados na determinação da resistência à compressão.

Após serem preparados, os corpos de prova foram submetidos a 12 ciclos de umedecimento e secagem em estufa a 70°C durante 72 horas. Ao final, sem escovamento, determinou-se a perda de peso em relação ao peso inicial. Este número mede a durabilidade da mistura.

Foram ensaiados diversos corpos de prova com diferentes teores de cimento e foi proposto uma perda de peso de 10% após 12 ciclos. Além disso estudaram-se mais dois parâmetros, 15% e 20%.

Com os resultados obtidos foi feita uma análise estatística correlacionando a % de areia e o teor de cimento necessário para se alcançar a durabilidade mínima.

% de areia	perda de peso (%)	teor de cimento em peso (%)
45 a 55	10	4
	15	4
	20	4
55 a 65	10	4
	15	4
	20	4
65 a 75	10	4
	15	4
	20	4
75 a 85	10	4
	15	4
	20	4

6.3.3 - Conclusões

Pelas tabelas anteriores constata-se que o critério de resistência à compressão é o que apresenta maiores teores de cimento e desta forma é o decisivo na escolha do traço. Convém ressaltar que o coeficiente de segurança adotado na resistência à compressão foi igual a 5 o que é um valor elevado. Porém tendo em vista um controle rigoroso de execução esta tabela poderá ser refeita adotando-se resistências à compressão inferiores a 5.

Para a transformação de traços em peso, em volume e o consumo de cimento e solo, o CEPED elaborou 4 tabelas que auxiliam este trabalho.

A tabela 1 da prancha 6.7 relaciona a % de cimento em peso e em volume com o δs, massa específica aparente do solo seco. No caso de se desconhecer δs sugere-se adotá-lo como sendo 1,1 a 1,2t/m^3. A tabela 2 da prancha 6.7 fornece a correlação entre % de areia

e a massa específica máxima seca do solo compactado.

A tabela 1 da prancha 6.8 fornece a correlação entre massa específica máxima seca do solo compactado, o teor de cimento em peso e a relação peso de cimento/volume compactado; a tabela 2 da prancha 6.8 fornece a correlação entre a massa específica máxima seca do solo compactado, a massa específica seca do solo solto e a relação do volume do solo solto e o volume compactado.

6.4 - Determinação da resistência à compressão de painéis

Procurou-se com este estudo determinar uma correlação entre a resistência de corpos de prova moldados no cilindro normal de Proctor e a resistência de painéis de solo-cimento e estabelecer um critério de dosagem de teor de cimento em função desta resistência dos painéis. Testaram-se também painéis de alvenaria de tijolos maciços e furados comparando-os com os painéis de solo-cimento. (102)

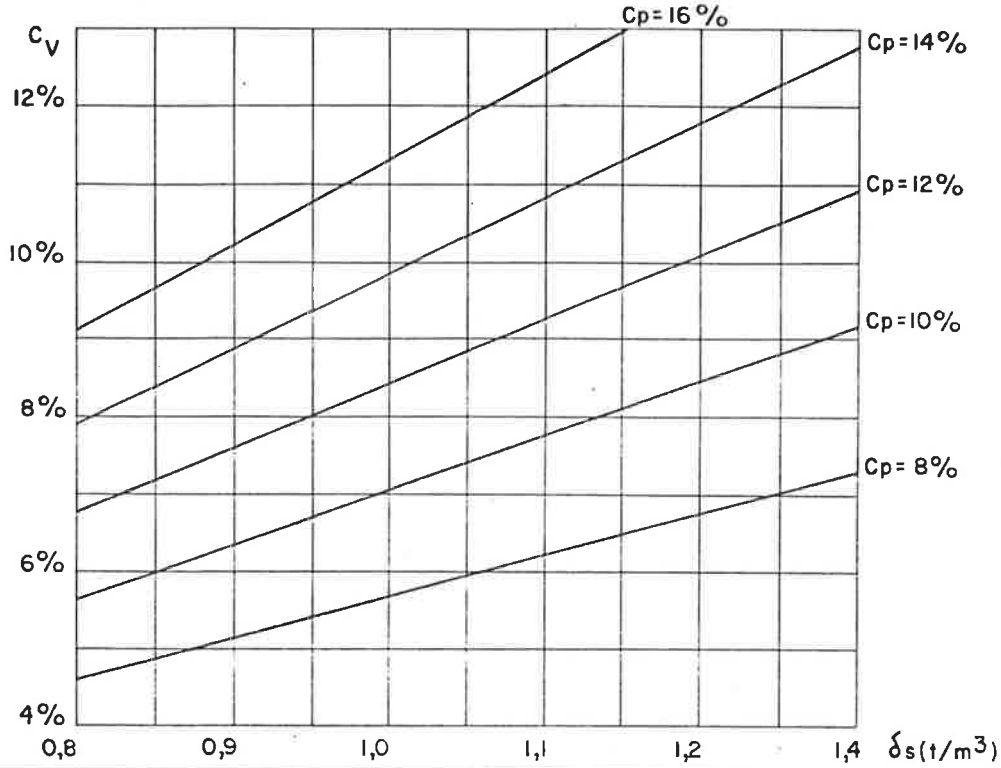
6.4.1 - Painéis de solo-cimento

Os painéis de solo-cimento foram preparados com 2 tipos de solo S1 e S2, classificados como no grupo A-2-4 da classificação ASSHO. A porcentagem de cimento portland comum CP-320 foi estabelecida a partir dos critérios de 6.3 interpolando-se os valores obtidos nos ensaios de compressão simples:

cimento (%)	Resistência à compressão (kgf/cm^2)	
	solo S1	solo S2
4,0	10	16
4,5	15	20
5,0	20	23

Os painéis de 1,50 m de altura por 1,50 m de largura foram construídos com espessuras de 9,5; 11,5; 15,0; 20,0 cm de acordo com

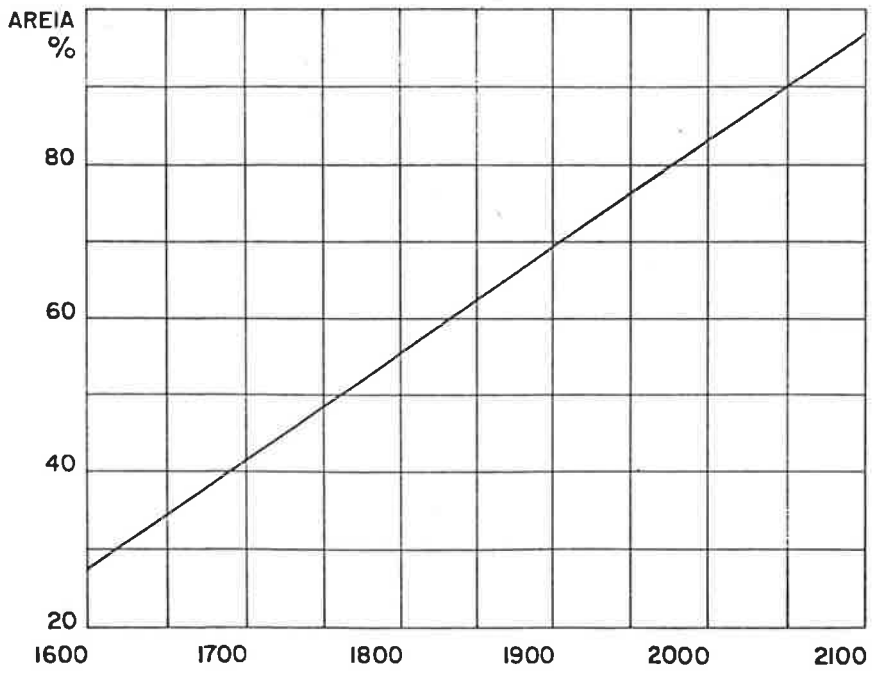
Tabela 1: relação entre % de cimento e massa específica aparente do solo seco.



C_V : $\frac{\text{volume de cimento}}{\text{volume do solo}} \times 100$ Cp : $\frac{\text{peso de cimento}}{\text{peso do solo}} \times 100$

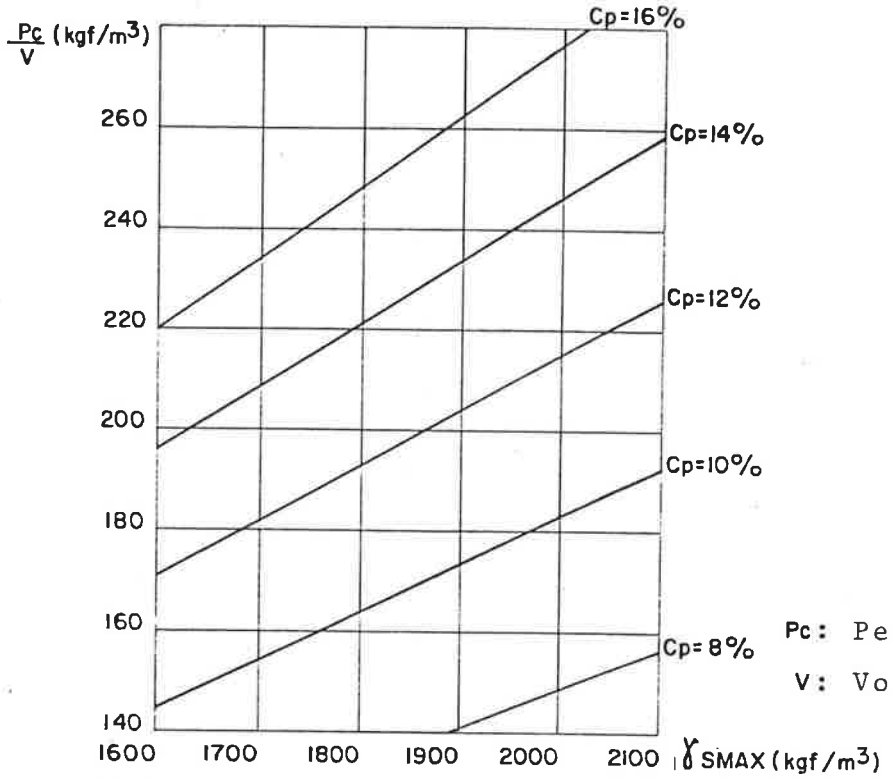
δs : massa específica aparente do solo seco

Tabela 2: relação entre % de areia e massa específica máxima seca do solo compactado.



γ_{SMAX} : massa específica máxima seca do solo compactado

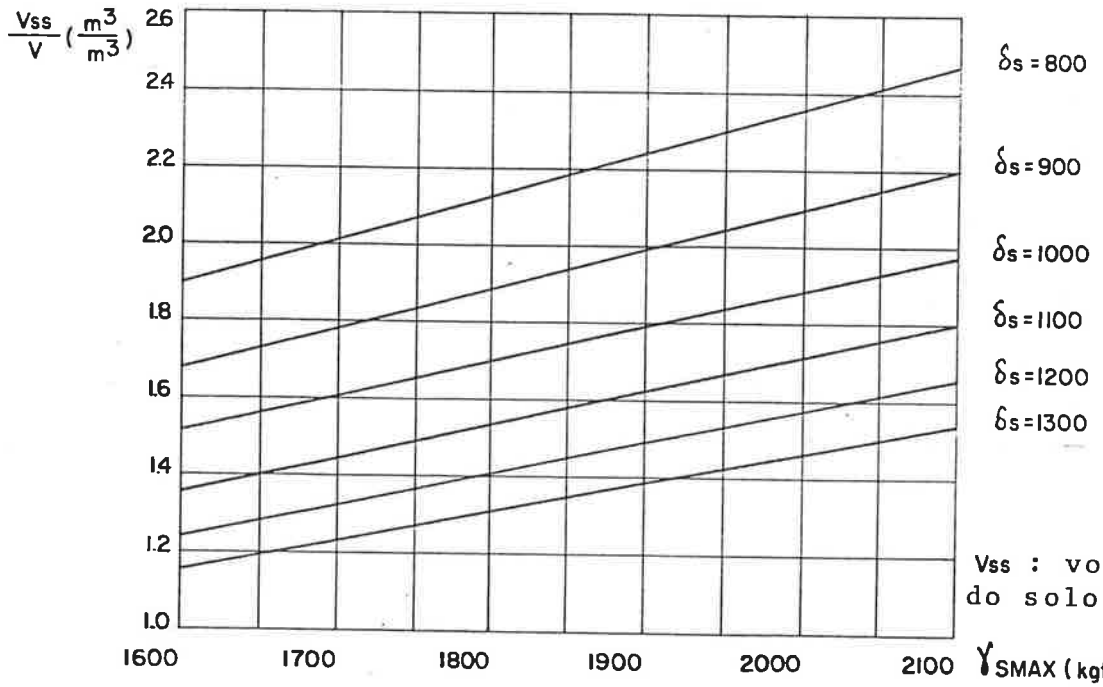
Tabela 1: relação entre massa específica máxima seca do solo compactado e razão peso cimento/volume compactado.



Pc: Peso de cimento

V: Volume compactado

Tabela 2: relação entre massa específica máxima seca do solo compactado e razão volume do solo solto/volume compactado.



Vss : volume do solo solto

6.1 sendo curados ao ar livre, molhados 4 vezes ao dia até a data do ensaio.

Para cada painel foram moldados 6 corpos de prova sendo que 2 foram curados em câmara úmida e 4 foram curados nas mesmas condições do painel.

6.4.2 - Painéis de alvenaria

Os painéis de alvenaria foram executados com tijolos maciços e furados rejuntados com argamassas conforme as características:

	tijolos		argamassa
	dimensões (mm)	resistência à compressão (kgf/cm^2)	resistência à compressão (kgf/cm^2)
tijolo maciço	230x95x50	128	28
tijolo furado 1	195x170x 95	15	30
tijolo furado 2	200x180x105	37	44

Os tijolos maciços e furados de barro cozido, foram testados conforme os MB-52/1945 e MB-53/1945 da ABNT, Ensaio de compressão de tijolos maciços e furados de barro cozido para alvenaria e as argamassas de assentamento foram testadas conforme o MB-1/1977 da ABNT, Ensaio de cimento portland.(77, 65)

Os painéis de 1,50 m de altura por 1,50 m de largura de tijolos maciços foram construídos em 2 espessuras: 9,5 cm (parede de 1/2 tijolo) e 20 cm (parede de 1 tijolo) e os de tijolos furados fotam construídos em 2 espessuras: 9,5 cm (parede 1/2 tijolo) e 17 cm (parede de 1 tijolo). Os painéis não foram revestidos.

6.4.3 - Ensaio à compressão

Os painéis foram ensaiados à compressão conforme a norma

ASTM E 72-74,"Standards Methods of Conducting Strenght Tests of Panels for Building Construction". Foram ensaiados 16 painéis de solo-cimento e 7 painéis de tijolos de barro cozido, tendo sido observadas as cargas de ruptura, a forma da ruptura e as deformações. (90)

O esquema de aplicação da carga se encontra na prancha 6.9.

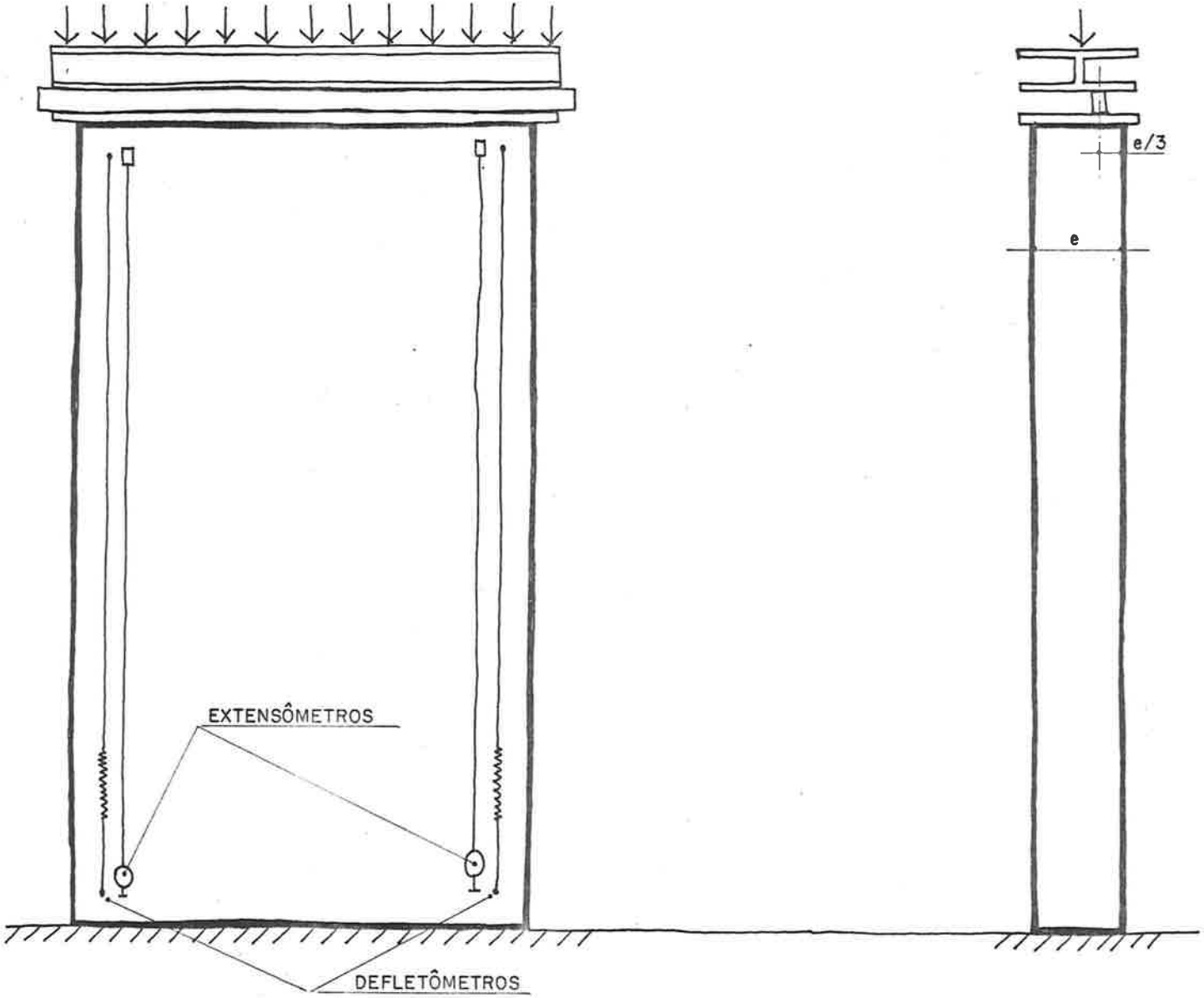
A carga foi aplicada em incrementos iguais de 1250 kgf para os painéis com 5% de cimento e para os de 20 cm e 17 cm de espessura. Nos demais os incrementos foram de 625 kgf.

Os resultados que se encontram nas pranchas 6.10 e 6.11 nos remetem às seguintes conclusões:

- as resistências dos painéis de solo-cimento são compatíveis com as resistências dos painéis de alvenaria.
- a relação tensão de ruptura do painel/resistência do corpo de prova é de 0,45 para painel de 1,50 m de altura e de 0,20 para painel de 2,40 m de altura.
- a resistência mínima de corpos de prova à compressão simples que deve ser adotada é de 10 kgf/cm^2 quando aplicados em paredes monolíticas.
- desde que o solo atenda aos critérios mencionados em 6.2, a dosagem em volume de 1:15 de cimento e solo foi considerada razoável.

6.5 - Determinação da resistência ao impacto e às cargas excêntricas.

Os ensaios de determinação da resistência ao impacto e às cargas excêntricas foram efetuados conforme o texto "Recomendaciones sobre las especificaciones que debem cumplir los elementos de cerramiento exterior y divisorios de interiores no portantes" do INTI, Instituto Nacional de Tecnologia Industrial da Argentina



prancha 6.9

que é baseado no "Directives Communes pour l'agrément des cloisons légères" da UEAtc. (103)

O ensaio de impacto consiste em se fixar o painel à uma estrutura e aplicar a carga através de um peso conforme o desenho da prancha 6.10. A carga foi de dois tipos: corpo mole e corpo duro. O impacto de corpo mole representa a ação de ombros e o impacto de corpo duro a ação de canto de móveis.

Para impactos de corpo mole utilizou-se uma bolsa de couro cilíndrica de 30 kg suspensa de uma altura de 2 m, deixando-a cair de forma livre de alturas sucessivas e crescentes de 20 em 20cm,sendo medidas flechas instantâneas e residuais no ponto de impacto.

Para impactos de corpo duro utilizou-se uma esfera de aço de 500g, deixando-a cair de forma livre de alturas sucessivas e crescentes de 25 em 25 cm, sendo medidos os diâmetros das mossas na superfície dos painéis.

Executados os ensaios de corpo mole em 15 painéis de solo-cimento e 5 painéis de alvenaria chegaram-se às conclusões:

- o sistema construtivo adotado é satisfatório.
- a espessura do painel tem grande influência na resistência a impactos de corpo mole podendo se considerar como mínima a espessura de 10 cm.
- nas paredes esbeltas de solo-cimento deve-se usar teores de cimento superiores a 5%.

Executados os ensaios de corpo duro em 12 painéis de solo-cimento e 3 painéis de alvenaria chegaram-se às conclusões:

- as paredes de solo-cimento são resistentes ao impacto de corpos duros, independentemente do teor de cimento.
- as espessuras das paredes não influem em sua resistência ao impacto de corpos duros.

O ensaio de determinação da resistência às cargas excêntricas tem como objetivo avaliar a resistência da divisória aos esforços provenientes de objetos suspensos transmitindo-lhe situações de flexão composta.

A carga de 100 kg é mantida conforme a figura da prancha 6.10 durante 24 h e avalia-se após este período se o painel sofreu modificação.

Foram ensaiados doze painéis de solo-cimento e três de alvenaria variando-se o teor de cimento e as espessuras desde um mínimo de 4% e 9,5 cm até 5% e 20 cm. Concluiu-se que todos os painéis satisfizeram as exigências do INTI.

6.6 - Durabilidade e permeabilidade de pinturas (104)

Com o objetivo de se avaliar o ganho de qualidade com a aplicação de um revestimento sobre as paredes foram executados ensaios de durabilidade e permeabilidade em corpos de prova de 12,5cm de altura por 4,5 cm de diâmetro.

Para isso foram moldados 2 séries de corpos de prova:

- 36 corpos de prova sem adição de cimento variando-se apenas a porcentagem de areia, 40, 60 e 80%;
- 36 corpos de prova com adição de 8% de cimento variando-se a porcentagem de areia, 40, 60 e 80%; para cada porcentagem de areia foram selecionados 5 tipos de pintura além do solo-cimento sem revestimento:
  - têmpera: pintura a base de cola sintética solúvel em água:
    - . pasta: 1 kg de cal + 1 kg de gesso + 1,5ℓ de água
    - . água de cola: 100 g de cola + 2ℓ de água
    - . tinta: 1 parte de água de cola + 2 partes de pasta
  - cimento branco e areia:
    - . 1ª demão: 1 kg cimento branco + 1kg areia fina + 2,5ℓ água

. 2ª demão: 1kg cimento branco + 1kg areia fina + 2,0ℓ água

- hidracor: pintura a base de cal
  . 2 litros de água/kg de pó
- conservado P: pintura a base de cimento
  . 1/1 de água e conservado em volume
- coralatex: pintura a base de latex

O ensaio de durabilidade foi executado conforme 6.3.2, isto é,12 ciclos de molhagem e secagem. Na 1ª série de corpos de prova,sem cimento, pode-se apenas analisar qualitativamente os resultados pois a maioria deles desagregou no 1º ciclo. Podemos afirmar que a tinta a base de latex e de cimento se comportaram melhor, apesar de que os corpos de prova não alcançaram os 12 ciclos sem se desagregarem.

Para a 2ª série de corpos de prova avaliou-se a absorção de água em cada ciclo dos 12 executados sendo que este valor mediu indiretamente a impermeabilização dos revestimentos. As conclusões obtidas são as seguintes:

- a têmpera, o cimento branco e areia e, a tinta a base de cal não tiveram ação impermeabilizante, mas podem ser empregadas em paredes internas não molhadas.
- a tinta a base de cimento apresentou ótimos resultados.
- a tinta a base de latex também apresentou ótimos resultados desde que a superfície acabada se apresentasse sem furos ou poros pois o latex constitue uma camada impermeabilizante e qualquer falha compromete os resultados.
- não se concluiu nada a respeito da influência da porcentagem de areia ou da durabilidade das tintas.

6.7 - A cura na resistência à compressão

A cura, isto é, o processo de endurecimento do solo-cimento, é

função das condições de exposição em que se dá a hidratação de seu principal agente ativo, o cimento. Sabe-se que a cura influencia a resistência à compressão do solo-cimento e o que se procurou avaliar foi o comportamento de diversas soluções:

a) a cura em câmara úmida com condições constantes de temperatura e umidade.

b) a cura à sombra em recinto fechado, sem molhar.

c) a cura ao ar livre, com os corpos de prova molhados 4 vezes ao dia.

d) a cura ao ar livre com os corpos de prova protegidos por toalhas de papel, molhados 4 vezes ao dia.

e) a cura à sombra com 2 molhagens ao dia.

O estudo foi executado em corpos de prova moldados com um mesmo solo e um teor constante de cimento, ensaiados à compressão simples após 7,14 e 28 dias de idade.

Os corpos de prova foram moldados conforme mencionado em 6.3.1 e as condições de cura foram mantidas constantes durante 28 dias, apesar de algumas bibliografias indicarem um período de apenas 7 dias.

Os resultados obtidos no ensaio podem ser verificados na prancha 6.13. Nota-se que realmente existe uma influência do tipo de cura na resistência à compressão sendo que a menor resistência foi obtida em corpos de prova secos a sombra onde não se protegeu o material da perda de água.

A prática de três molhagens ao dia durante o período de cura,

duas semanas, é o processo indicado para as paredes monolíticas de solo-cimento.

6.8 - Custos (105)

Para a apropriação de custos da construção com parede monolíticas adotou-se também a UPC que na ocasião, 1º trimestre de 1978, valia Cr$ 238,32. A solução analisada foi a mais simples, com paredes monolíticas, aberturas convencionais com telhas de barro cozido e instalações também convencionais.

O protótipo executado tinha 52 m^2 e seu custo foi de Cr$46.282,50, isto é, 194,20 UPC o que nos leva a um custo por m^2 de 3,73 UPC. O custo com a mão-de-obra representou 47% do total gasto.

7. Considerações finais

7. Considerações finais

a) das "soluções" que as populações de baixa renda encontram para sua moradia, a auto-construção é uma delas onde existe a possibilidade de uma intervenção no sentido de se baratear o custo da edificação; porém é bom lembrar novamente que outros tipos de intervenção nos níveis sociais, econômicos e políticos talvez atingissem resultados positivos em um menor espaço de tempo e utilizando-se melhor dos recursos disponíveis na sociedade.

b) a tecnologia apropriada se coloca como um instrumento dos técnicos e dos auto-construtores para melhorar as condições das habitações e conseguir além do barateamento da construção a possibilidade de se montar mecanismos que tendam a assegurar o controle social da produção habitacional. Este enfoque de tecnologia não é acadêmico ou meramente um exercício intelectual. Ele tem sido empregado em diversos países, tais como o México, China, Colombia, India, Turquia, Tanzania e inúmeros outros com resultados positivos, apesar dos riscos de ser utilizada como instrumento de perpetuação da relação de dependência dos subdesenvolvidos.

c) a tecnologia apropriada se expressa através de 4 etapas: criação, transferência, avaliação e modificação. Somente após percorremos estas 4 fases podemos avaliar o processo;porém este estudo se deteve apenas na etapa de criação apesar de existirem referências que mencionam o emprego de solo-cimento em tijolos e em paredes monolíticas, por auto-construtores, com sucesso, em diversas localidades. A experiência do CEPED avançou pelas 4 etapas todavia a do IPT se restringiu à primeira delas. A transferência seria o próximo passo, através de um manual para produção de tijolos, escrito de forma simples e acessível às populações de baixa renda. Este manual é muito importante para que o estudo desenvolvido não fique restrito ao meio técnico e que a prática dos que dela fizerem uso possa contribuir para aperfeiçoar este elemento da construção. Este manual poderia ser distribuído pela

periferia das cidades onde ocorre a auto-construção e o tijolo de solo-cimento seria avaliado e modificado fechando o ciclo de desenvolvimento de uma tecnologia apropriada.

---

d) o emprego do solo nas construções é apropriado e neste estudo exploramos apenas um estabilizador, o cimento, entre muitos outros possíveis. Acreditamos que a mesma metodologia possa ser empregada com outros materiais estabilizantes. Cabe salientar que sempre deve ser feita uma análise econômica para se adotar uma solução. Atualmente o custo do cimento tem aumentado devido ao custo de energia nele embutido (protocolo prevê a substituição total do óleo combustível na indústria do cimento, até dezembro de 1984) a ponto de ser necessário reavaliar os custos comparativos do solo-cimento mencionados em 5.3 e 6.8.

---

e) a tecnologia depende do conhecimento científico e na maioria das vezes começa onde termina a atividade da ciência; porém a compreensão dos fenômenos envolvidos é fundamental para o sucesso do desenvolvimento tecnológico. Esta é a razão pela qual analisamos a interação solo-cimento apesar do pouco conhecimento existente das reações argilominerais-cimento.

---

f) o objetivo deste estudo não foi o de comparar 2 formas de emprego de solo-cimento mas expor 2 formas pelas quais pode ser empregado. Acreditamos que a escolha entre tijolos e paredes monolíticas ou entre estes e outros elementos mais tradicionais como os tijolos maciços e furados de barro cozido e blocos de concreto se fará pelos técnicos e auto-construtores envolvidos tendo em vista os seus interesses. Procuramos com este estudo demonstrar a viabilidade de uma tecnologia à base de solo-cimento e ampliar a base informativa sobre a qual se fundamentará a melhor alternativa para a resolução dos problemas habitacionais locais de cada comunidade.

---

g) a experiência do tijolo se baseou em equipamentos existentes no mercado sem uma análise mais profunda. Estes equipamentos apre

sentaram problemas de operação que podem ser superados com o aperfeiçoamento das prensas; uma outra contribuição é o desenvolvimento de uma prensa manual que possa ser construída em pequenas oficinas mecânicas como as de reparação de automóveis ou de implementos agrícolas, com o auxílio de uma cartilha onde se exporia de forma simples as etapas de sua fabricação. Esta prensa poderia então estar disponível a um grande número de interessados, em diversos localidades que poderiam dispor além dela, dos meios para fazer sua manutenção pois estariam familiarizados com seus eventuais problemas.

---

h) o tijolo de solo-cimento é empregado em paredes, de forma tradicional, em conjunto com argamassas de assentamento e de revestimento tradicionais; esta solução tem-se mostrado de bom desempenho porém ainda não se conhece as possibilidades de se diminuir o custo global da alvenaria, através do custo das argamassas sem comprometer a qualidade da mesma. Uma das possibilidades além da diminuição da relação aglomerantes/agregados, é o emprego de solo também nas argamassas de assentamento e de revestimento.

---

i) a contração dos solos mesmo após seu emprego com estabilizadores é um fenômeno que ocorre nas construções com solo-cimento. Esta contração tem sido encontrada tanto nas paredes monolíticas como nos tijolos sendo a responsável pelo aparecimento de fissuras e existem evidências de que a distribuição granulométrica e os argilominerais presentes são algumas das variáveis que influem nas variações dimensionais das peças fabricadas. É necessário portanto um estudo de trincas em construções de solo-cimento e mais especificamente sua relação com a contração, identificando-se as causas e quantificando-se as variações dimensionais auxiliando no projeto de detalhes construtivos para se evitar estes tipos de patologia. Por outro lado as fissuras que ocasionalmente tem ocorrido não comprometem as edificações.

---

j) nas duas experiências mencionadas utilizaram-se como ensaio expedito a determinação da qualidade do solo e da umidade ótima

de compactação; a tecnologia apropriada faria uso intensivo desses ensaios simples executados no próprio canteiro sem a necessidade de que sejam feitos em laboratórios, entretanto apresentando resultados compatíveis; a literatura comenta diversos desses ensaios tais como os utilizados na determinação de distribuição granulométrica, da resistência à compressão e da durabilidade porém os mesmos devem ser avaliados para diversos tipos de solo e diversas porcentagens de cimento para posteriormente serem consagrados e empregados. Os ensaios serão válidos desde que a dispersão de seus resultados em comparação com os de laboratório, ou seja, os corretos, seja constante e conhecida não sendo necessário que os mesmos sejam coincidentes.

---

k) a tecnologia do emprego de solo-cimento tem se demonstrado através da prática, no Brasil e em diversos outros países, que pode ser uma alternativa para a construção de moradias para populações de baixa renda. Ela não é a única pois existem ainda outras, pouco ou não pesquisadas que também podem ser consideradas apropriadas tais como: concreto armado com bambu ou outras fibras, polpa de bambu, pregos de bambu, resíduos industriais e agrícolas tais como de gesso químico, palha de arroz, casca de coco, ferro-cimento, madeiras, utilização de lixo como produção de agregado leve a partir de lodo de esgoto, cimentos alternativos como pozolanas naturais e artificiais, cimento para alvenaria, tijolos queimados de solo-cal, etc...

---

8. Referências bibliográficas

8. Referências Bibliográficas

1. BOLAFFI, Gabriel - A casa das ilusões perdidas: aspectos sócio-econômicos do Plano Nacional de Habitação. Caderno Cebrap, São Paulo, nº 27, 1977.

2. OS 11 ANOS de fracassos do BNH. Opinião, Rio de Janeiro, 1 ago. 1975.

3. AZEVEDO, Sérgio - A política habitacional para as classes de baixa renda. Rio de Janeiro, Instituto Universitário de Pesquisas, 1975.

4. ANGEL, Shlomo; BENJAMIN Stan; DEGOEDE Koos - The low-income housing system in Bangkok. Ekistics, n. 261, aug. 1977.

5. ANGEL, Shlomo & BENJAMIN, Stan - Expanding the perception of the housing problem in developing countries. Habitat, 1976.

6. TURNER, John & FICHTER, Robert (ed) - Freedom to build. New York, The Mac Millan Company, 1972.

7. FATHY, Hassan - Architecture for the poor. Chicago, The University of Chicago Press, 1973.

8. SMITH, J. - Housing em Chile: a political lever. Architectural Design, 46 (4) 1976.

9. CAMARGO, C.P.F et alii - São Paulo 1975 - Crescimento e pobreza. São Paulo, Loyola, 1976.

10. BAROSS, Paul & MARTINEZ, Edgardo - Upgrading low-income residential areas in developing countries: the social organization of decision - making. Rotterdam, Bowncentrum International Education, 1977.

11. ABRAMS, Charles - Habitação, desenvolvimento e urbanização. Rio de Janeiro, Edições O Cruzeiro, 1967.

12. SÃO PAULO. PREFEITURA MUNICIPAL. SECRETARIA DO BEM ESTAR - Diagnóstico da Situação Habitacional em São Paulo. Boletim Habi, São Paulo, 1974.

13. BOTTIN, Cibele - Autoconstrução. São Paulo, FAU, 1976. (trabalho de graduação interdisciplinar).

14. MARICATO, Ermínia T. - Autoconstrução: arquitetura possível. Trab. apres. 28ª Reunião anual da SBPC, Brasília, 1976.

15. ABIKO, Alex - Self help as a building production process. Rotterdam, Bouwcentrum International Education, 1978.

16. SÃO PAULO. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE PAULO S.A. Diretrizes habitacionais. São Paulo, IPT, 1979

17. COMPANHIA METROPOLITANA DE HABITAÇÃO DE SÃO PAULO - Programa de Superintendência de operações sociais da COHAB-SP. São Paulo, COHAB, 1975.

18. SÃO PAULO. INSTITUTO DE ORIENTAÇÃO ÀS COOPERATIVAS HABITACIONAIS - Conjuntos habitacionais: um estudo. Rio de Janeiro, Inocoop-BNH, 1974.

19. SÃO PAULO. COMPANHIA ESTADUAL DE CASA POPULARES - Programa Estadual de Habitação Popular. Planasa. São Paulo, CECAP, 1976.

20. HARMS, H. - Limitations of sel-help. Architectural design. 46 (4), 1976.

21. DIAS, Francisco & PORTAS, Nuno - Habitação evolutiva. Portugal, LNEC, s.d.

22. PRADILLA COBOS, E. - La ideologia burguesa y el problema de la vivienda. In: Ideologia y Sociedad. Bogota, 1976.

23. ACUÑA, Carlos - Problema habitacional, tecnologia, lucha social. In: Arquitectura Autogobierno. Mexico, 1978.

24. SÃO PAULO (Estado) SECRETARIA DE ECONOMIA E PLANEJAMENTO. COORDENADORIA DE PLANEJAMENTO E AVALIAÇÃO. Construção de moradias na periferia de São Paulo: aspectos sócio-econômicos e institucionais. São Paulo, Secretaria de Economia e Planejamento, 1979.

25. FERRO, S. - A casa popular. São Paulo, FAU/USP, 1972.

26. TABAK, Fanny et alii - Dependência tecnológica e desenvolvimento nacional. Rio de Janeiro, Pallas, 1975.

27. COSTA, João Frank - Condições e fatores determinantes para uma política nacional de desenvolvimento tecnológico: aspectos externos. Revista de Administração de Empresas, Rio de Janeiro, v.14, 1974.

28. JÉQUIER, Nicolas - Appropriate technology. Paris, Development Centre of the Organization for Economic Co-Operation and Development, 1976.

29. SCHUMACHER, E.F. - Small is beautiful. London, Abacus, 1977.

30. DARROW, Ken & PAM, Rich - Appropriate technology sourcebook-volunteers in Asia publication, 1976.

31. CODETEC-UNICAMP - Considerações sobre tecnologia apropriada. Campinas, 1979.

32. BRUNA, Paulo J.V. - Arquitetura, industrialização e desenvolvimento. São Paulo, 1972.

33. SINGER, Paulo - Aspectos econômicos da habitação popular. São Paulo, FAU-USP, 1963.

34. MOTTA, Caio F.A. - Nível de satisfação em conjuntos habitacionais da Grande São Paulo. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A.,1975

35. LOPES PONGI BOVE, Danilo - Tecnologia de la production. Buenos Aires, 1970.

36. BENDER, Richard - Una visión de la construcción industrializada. Barcelona, Gustavo Gili, 1976.

37. SHELTER. California, Shelter Publications, 1973.

38. ATMAN, R. & SCHILDERMAN, T. - Building process and resources. Rotterdam, Bouwcentrum International Education, 1978.

39. DALIX, Patrice - The development of an appropriate technology in the third world. The experience of Tunisia. Inovation, Technology Transfer, vol. 6, 1975.

40. ERBER, Fabio Stefano - Escolha de tecnologias, preços dos fatores de produção e dependência - uma contribuição ao debate. Pesquisa e Planejamento Economico, Rio de Janeiro. Jun. 1972.

41. RATTNER, Henrique - Desenvolvimento e emprego: a viabilidade de uma tecnologia intermediária. Revista de Administração de Empresas, Rio de Janeiro, v. 44, 1974.

42. KÉZDI, Árpád - Handbook of soil mechanics, v. 1 - soil physics. Amsterdam, Elsevier Scientific Publishing Company, 1974.

43. HOUSEL, William S. - Applied soil mechanics, part 1 - Soil as an engineering material. Michigan, Edwards Brothers Inc., 1938.

44. SANTOS, Pérsio de Souza - Tecnologia de argilas, aplicada às argilas brasileiras. São Paulo, Edgar Blücher, Ed. da Universidade de São Paulo, 1975.

45. BRASIL. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - Análise granulométrica de solos. Rio de Janeiro, ABNT, 1968. (ABNT MB-32).

46. BRASIL. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - Determinação do limite de liquidez dos solos. Rio de Janeiro, ABNT, 1969. (ABNT MB-30).

47. BRASIL. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - Determinação do limite de plasticidade dos solos. Rio de Janeiro, ABNT, 1969. (ABNT MB-31).

48. CONSTRUCTION en terre. Paris, Institut de l'Environnement, 1975.

49. CENTRO INTERAMERICANO DE VIVIENDA Y PLANEJAMENTO - Guia de auto-construcion. Bogotá, 1961. (CINVA)

50. SOIL-CEMENT; its use in building. New York, 1964.

51. DURIEZ, M. & ARRAMBIDE, J. - Nouveau traité de materiaux de construction. Paris, Dunod, 1961.

52. VENUAT, M. & PAPADAKIS, M. - Controle et essais des ciments, mortiers, bétons. Paris, Eyrolles, 1961.

53. LEA, F. - The chemistry of cement and concrete. London, Edwards Arnold (Publishers) Ltd, 1970.

54. BRASIL. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - Cimento portland comum. Rio de Janeiro, ABNT, 1977. (ABNT-EB-1)

55. SINDICATO Nacional da Indústria do Cimento. Relatório Anual. Rio de Janeiro, SNIC, 1978.

56. SINDICATO Nacional: 25 ANOS de indústria, 1953 - 1978. Rio de Janeiro, SNIC, 1978.

57. RELATÓRIO Anual, 1976 - 1977. Rio de Janeiro,SNIC, 1977.

58. SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO: 47 anos de Indústria, 20 anos de sindicato. Rio de Janeiro, SNIC, 1973.

59. SÃO PAULO. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. - Manual de recomendações para um programa de redução do consumo de energia na indústria de cimento. São Paulo, Inst. Pesq., 1978. (Publicação IPT, nº 1112).

60. SOCIEDADE CIVIL DE PLANEJAMENTO E CONSULTAS TÉNICAS LTDA.- A indústria de cimento no Brasil, seus custos e desenvolvimento. Rio de Janeiro, CONSULTEC, 1967.

61. BRASIL. Ministério dos Transportes, Grupo de Estudos para Integração da Política de Transportes - Determinação dos fluxos de transporte no Brasil e sua repartição intermodal, bem como identificação das técnicas utilizadas no acondicionamento e movimentação das cargas, 1973. (Relatório final).

62. GRIM, E. - Applied clay mineralogy. New York, Mc Graw Hill, 1962.

63. DOUBLE, D.D. & HELLAWELL, A. - The solidification of cement. Science, 1976.

64. PETRUCCI, Eladio - Concreto de cimento portland. Porto Alegre, Editora Globo, 1978.

65. BRASIL. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - Ensaio de cimento portland. Rio de Janeiro, ABNT, 1978. (ABNT MB-1)

66. GUIMARÃES, J.E. Passos - Estabilização de solos. ABPC,1971

67. PINTO, C.S. - Estudo de variação da capacidade de suporte de um solo pela adição de pequena quantidade de cal ou de cimento. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A., 1964. (Publ. IPT, n. 827).

68. HANDY, R.L. - Cementation of soil minerals with portland cement or alkalis. Highway Research Board, Washington, Bulletin 198, 1958.

69. HIGHWAY RESEARCH BOARD - Soil stabilization with portland cement, Washington, Bulletin 292, 1961.

70. HERZOGA, Mitchell J. K. - Reaction accompanying stabilization of clay with cement. Highway Research Record, Washington, n. 36, 1963.

71. GOUDA, G.R.; ROY, D.M; SARKAR, A. - Thaumasite in deteriorated soil-cements. Cement and Concrete Research, v. 5, 1975.

72. OLIVEIRA, Umbelino & SOUZA, Roberto de - Tijolos de solo-cimento produzidos em mutirão. Trab. apres. Simpósio sobre Barateamento de Construção Habitacional, Salvador, BNH, 1978.

73. SÃO PAULO. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. - Casa evolutiva em mutirão concentrado em blocos de solo-cimento: fase 1 - a aplicação do solo-cimento à habitação. São Paulo, Inst. Pesq., 1977 (Relatório n. 9795).

74. SÃO PAULO. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. - Casa evolutiva construída em mutirão concentrado com tijolos de solo-cimento: fase 1 - a aplicação do solo-cimento à habitação. São Paulo, Inst. Pesq., (Relatório nº 10641)

75. SÃO PAULO. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. - Implementação técnica de tijolos de solo cimento através de máquina automática TOR-HPT-30. São Paulo, Inst. Pesq., 1978 (Relatório n. 11273).

76. BLOQUES de suelos estabilizados: máquina giratória hidráulica para la compression de bloques de tierra para construction. Bogotá, CINVA, 1953.

77. BRASIL. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - Ensaio à compressão de tijolos maciços de barro cozido para alvenaria, Rio de Janeiro, ABNT, 1945. (ABNT MB-52)

78. MORIARTY, J.P.; SWARE, T.I.; THERKILDSEN, O.K. - Soil-cement for low-cost housing. Building Research and Practice, May/June, 1975.

79. ROSENAK, S. - Use of soil-cement for low-cost housing in the tropics. Civil Engineering and Public Works Review, n. 617, nov. 1957.

80. BRASIL. Associação Brasileira de Cimento Portland - Método do SC-3. Ensaio de durabilidade por molhagem e secagem.

81. American Society for Testing and Materials. D559 - Wetting and drying tests of compacted soil cement mixtures. Philadelphia, ASTM, 1971.

82. BRASIL. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - Casas de paredes de solo-cimento. Cimento e Concreto, Rio de Janeiro, n. 54, 1948.

83. CYTRIN, S. - Soil construction; its principle and application for housing. Jerusalem, The Weizmann Science Press of Israel, 1957.

84. BRASIL. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - Determinação da absorção d'água para ladrilhos cerâmicos. Rio de Janeiro, ABNT, 1975. (ABNT MB-848).

85. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - Specification for building brick.(Solid Masonry made from clay or shale), 1975. (ASTM C 62).

86. PETRUCCI, Eládio - Materiais de construção. Porto Alegre Editora Globo, 1976.

87. BRASIL. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - Especificação recomendada para tijolos maciços de barro cozido para alvenaria. Rio de Janeiro, ABNT, 1943. (ABNT EB-19).

88. BRASIL. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - Resistência à tração simples de argamassas e concretos por compressão diametral de corpo de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, ABNT, 1958. (ABNT MB 212).

89. DEUTSCHE Institut für Normung, 1048. Test Methods for concrete, 1972.

90. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - Conducting strength tests of panels for building construction, Philadelphia, ASTM, 1977. (ASTM E 72).

91. WHITTEMORE, Herbert et alii - Structural, heat-transfer, and water-permeability properties of live earth-wall constructions. Washington, National Bureau of Standards, 1941.

92. INSTITUTO ARGENTINO DE RACIONALIZACION DE MATERIALES, 11591. Método de ensayo de estanquidad al agua de los cerramientos exteriores. Buenos Aires, IRAM, 1972.

93. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - Standard Method of test for water permeance of masonry. Philadelphia, ASTM, 1974. (ASTM E 514).

94. BRASIL. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - Determinação da absorção de água para ladrilhos cerâmicos. Rio de Janeiro, ABNT, 1975. (ABNT MB-848).

95. CONSTRUÇÃO EM SÃO PAULO, São Paulo, n. 1508, jan. 1977.

96. CENTRO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO DO ESTADO DA BAHIA - Manual de construção com solo-cimento. Camaçari, CEPED, 1978.

97. SCHMIDT, Carlos Borges - Construções em taipa. Boletim de Agricultura. São Paulo, 1946.

98. CENTRO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO DO ESTADO DA BAHIA - Manual prático de construção com solo-cimento. Camaçari, CEPED, 1978.

99. COMUNICANDO. Campina Grande, n.5, 1979.

100. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - Description of soils (visual-manual procedure), Philadelphia, ASTM, 1975. (ASTM D 2488).

101. BRASIL. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos de concreto, Rio de Janeiro, ABNT, 1974. (ABNT MB-3).

102. CENTRO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO DO ESTADO DA BAHIA - Solo-cimento na habitação popular. Relatório final. fase 2. Projeto Thaba. Camaçari, CEPED, 1979.

103. UNION EUROPÉENNE POUR L'AGRÉMENTE TECHNIQUE DANS LA CONSTRUCTION (UEAtc) - Directives Communes pour l'agrément des cloisons légères. Cahiers du CSTB, 144 (1215) nov.1973

104. GUIMARÃES, Sueli da Silva - O efeito impermeabilizante de uma pintura de paredes de solo-cimento. Boletim técnico do CEPED, Camaçari, n. 5, 1978.

105. CENTRO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO DO ESTADO DA BAHIA - Narandiba, campus experimental de habitação. Salvador, CEPED, 1978.