

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

TIJOLOS DE TERRA CRUA REFORÇADA
COM FIBRAS VEGETAIS

Soenia Marques Timóteo de Sousa

Dissertação de Mestrado

Campina Grande - Paraíba
Dezembro - 1993

Soenia Marques Timóteo de Sousa

TIJOLOS DE TERRA CRUA REFORÇADA
COM FIBRAS VEGETAIS

Dissertação Apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba em Cumprimento às Exigências para Obtenção do Grau de Mestre (M.Sc.).

Área de Concentração: Geotecnia

Orientadores: Prof. Normando Perazzo Barbosa, D. Ing.

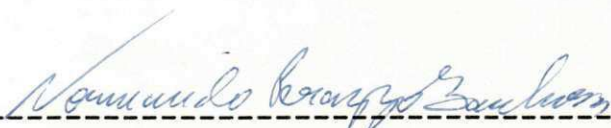
Prof. Romildo D. Toledo Filho, M. Sc.

Campina Grande - Paraíba
Dezembro - 1993

DIGITALIZAÇÃO:
SISTEMOTECA - UFCG

TIJOLOS DE TERRA CRUA REFORÇADA
COM FIBRAS VEGETAIS

Dissertação aprovada em 23 de Dezembro de 1993



Prof. Normando Perazzo Barbosa, D. Ing.

Presidente - Orientador



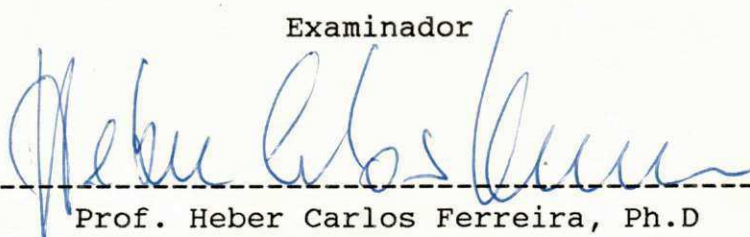
Prof. Romildo Dias Toledo Filho, M.Sc

Orientador



prof. Khosrow Ghavami, Ph.D

Examinador



Prof. Heber Carlos Ferreira, Ph.D

Examinador

Campina Grande - Paraíba

Dezembro

1993

TIJOLOS DE TERRA CRUA REFORÇADA
COM FIBRAS VEGETAIS

Soenia Marques Timoteo de Sousa

DEDICATORIA

A minha, mae Helena Marques Borborema, com Saudade.

"A fatalidade nem sempre permite o reencontro constante, mas a amizade incentiva os nossos corações para o desejo de Paz e Amor."

Helena Marques Borborema

"O OFÍCIO DO HOMEM É CONSTRUIR UM DIA
MENOS ESCURO, AINDA QUE TRABALHE NAS TREVAS."

Alvaro Luís Guedes Pinheiro

A G R A D E C I M E N T O

A Deus pelo seu amor incondicional, que sempre está presente nos momentos alegres, me dá forças e renova o animo do meu espírito para continuar lutando nos momentos difíceis.

Ao professor Normando Perazzo Barbosa pelo estímulo, orientação, ensinamentos transmitidos e amizade, que contribuíram valiosamente à realização desta dissertação.

Ao professor Romildo Dias Tolêdo Filho pelas sugestões e orientação de grande importância para a execução desta pesquisa.

Ao professor Joao Batista Queiroz de Carvalho, pela amizade e apoio imprescindíveis à realização deste trabalho.

Ao professor K. Ghavami pelas sugestões e transmissão de conhecimentos que colaboraram para a realização desta pesquisa.

Ao professor Heber Carlos Ferreira, pelo auxílio na interpretação das análises de ATD.

Ao professor Ailton Alves Diniz que muito contribuiu para o andamento da pesquisa no Laboratório de Solos II.

A CAPES pelo suporte financeiro na forma de bolsa de mestrado.

Aos Engenheiros Francisco Batista dos Santos, Williams Guimaraes Lima e Jeconias Dantas Costa, pelo auxílio nos ensaios realizados nos laboratórios de Solos.

Aos colegas Fernanda Farias Dantas, Rosania Lima

Barreto e Gentil Pedro de Lima, pela amizade, carinho e auxílio na execução dos ensaios no laboratório de Solos II.

A Vanda Gomes Wanderley do Instituto Nacional de Tecnologia pelas fotos das fibras de sisal ampliadas.

Aos meus pais Rafael Timóteo de Sousa e Helena Marques Borborema, a quem devo a minha formação educacional e fornecimento de subsídios para que pudesse um dia caminhar rumo a vitória.

Aos professores, alunos do Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, da área de Geotecnia, que contribuíram direta ou indiretamente para a realização desta pesquisa.

Aos funcionários da área de Geotecnia que de alguma forma colaboraram para execução deste trabalho.

A minha tia pelo zelo que tem demonstrado por mim.

Aos meus irmãos, Aneruce e Jenesmarques Timóteo de Sousa, pelo carinho e incentivo que foram fundamentais para a conclusão deste trabalho.

A Yolanda Wanderley Barbosa pelo carinho e amizade.

Ao Secretário de Viação e Obras da Prefeitura Municipal de Campina Grande, Arlindo Diniz, pelo fornecimento da emulsão asfáltica.

Ao PATAC - Programa de Assistência Técnica Apropriadas às Comunidades pelas ilustrações.

RESUMO

O presente trabalho trata do reforço de solos com fibras vegetais, na confecção de tijolos de terra crua. A fibra vegetal usada foi a de sisal.

Foram selecionados quatro tipos de solos de diferentes localidades do Estado da Paraíba: João Pessoa, Campina Grande, Areia e Taperoá. Realizaram-se ensaios de caracterização, análise química e análise térmica diferencial. As propriedades mecânicas dos solos e misturas solo-fibras foram obtidas em corpos de prova ensaiados à compressão simples, com vistas a se definir alguns dos parâmetros a serem utilizados nos tijolos.

A fim de garantir a durabilidade de tijolos submetidos à ação da água utilizou-se a cal e a emulsão asfáltica como aditivos. Para se observar o desgaste do tijolo foi feito o ensaio de durabilidade por perda de massa em ciclos de molhagem e secagem. Verificou-se também a absorção da água e as variações dimensionais dos tijolos com o tempo.

Considerando que nem todo tipo de solo disponível localmente seja adequado para produção de tijolos de terra crua, mostrou-se a possibilidade de aproveitá-los, corrigindo-lhes a granulometria, à partir da mistura com outros tipos de solos, em quantidades adequadas.

Também foram estudados tijolos moldados com diferentes misturas de solos e fibras.

Além disso foi pesquisada antiga tecnologia usada

1

pela civilização Persa, que consiste em deixar a mistura solo-água-fibra em repouso durante certo tempo antes de se confeccionarem os tijolos. Os períodos usados foram de 30, 60 e 90 dias.

Apresentam-se ainda os resultados da experimentação de um painel de parede de tijolos solo-fibra-emulsão.

Os ensaios de resistência à compressão mostraram que o método aqui desenvolvido permite a confecção de tijolos com resistência superior a 2,0 MPa chegando em alguns casos a ser maior que 3,0 MPa, em função das amostras utilizadas, das composições de mistura empregada e do tempo de cura. Os resultados obtidos nesta pesquisa permitem concluir que a maioria dos tipos de solos podem ser aproveitados como matéria-prima na confecção de tijolos de terra crua, desde que devidamente estabilizado com aditivos (cal, emulsão), fibras vegetais ou mediante mistura com solos, propiciando resistências mecânicas aceitáveis, podendo ser utilizados em obras de pequeno porte na construção civil, com bom desempenho e segurança.

ABSTRACT

This thesis deals with the soil stabilization of adobe with sisal vegetable fibres.

Four soils of different places in Paraíba State: João Pessoa, Campina Grande, Areia e Taperoá were selected. Characterization tests, chemical tests and differential thermal analyses of the soils were made. The mechanical properties of soils and soil-fibres mixtures were determined in specimens tested to compressive strength, in order to evaluate the parameters that will be utilized in the bricks.

In order to ensure durability, to the bricks that will be submitted to water action, lime and emulsified asphalt additives were used. Brick durability tests were done based on wetting and drying in two different ways. The water absorption and dimensional variation of the bricks over time were verified.

Considering that not every type of soil available "in situ" is appropriate for this constructive process, It was shown the possibility to make a correction of its properties, making mixtures with other kinds of soils. Therefore, bricks were also made with different soil-fibre mixtures.

Moreover, it was investigated the antique technology utilised by Persa Civilization. This consist of placing the mixture in rest during certain time before making bricks. The period used was 30, 60 e 90 days.

The results of the experimentation of a wall made with bricks soil-fibre-emulsified are showed.

Compression strenght tests shown the developed methodo allows bricks strenght higher than 2 MPa.

Results indicated that many type of soil can be used like raw material in making bricks earthen, if it is properly stabilized with additives like lime, emulsified asphaltic, vegetable fibres and mechanical stabilization of soil, providing the acceptable mechanic resistence to be used, in small and medium constructions in Civil Engeneering.

S U M Á R I O

CAPITULO I - INTRODUÇÃO

CAPITULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Generalidades	7
2.2 - Modos de Utilização da Terra Crua	9
2.3 - Indicações de Alguns Estudos Feitos Sobre a Terra Crua.	11
2.4 - Componentes Granulométricos do Solo	14
2.5 - Estabilizantes.	18
2.5.1 - Cal	19
2.5.1.1 - Estabilização com Cal	20
2.5.1.2 - Efeito da Cal no Solo	21
2.5.2 - Estabilização com Emulsão Asfáltica	24
2.5.3 - Estabilização Granulométrica	26
2.6 - Tijolos de Terra Crua	31

CAPITULO III - MATERIAIS DE BASE E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

3.1 - Materiais de Base	36
3.1.1 - Solos	36
3.1.1.1 - Características Físicas	38
3.1.1.2 - Características Químicas.	42
3.1.1.3 - Características Mineralógicas	44
3.1.2 - Fibras de Sisal.	48
3.1.2.1 - Propriedades Físicas das Fibras de Sisal. . .	50
3.1.2.1.1 - Comprimentos das Fibras	50

3.1.2.1.2 - Diâmetro.	51
3.1.2.1.3 - Teor de Umidade Natural	51
3.1.2.1.4 - Peso Específico das Fibras de Sisal	53
3.1.2.1.5 - Absorção de Água pelas Fibras de Sisal.	53
3.1.2.1.6 - Variações Dimensionais.	54
3.1.2.2 - Propriedades Mecânicas das Fibras de Sisal.	55
3.1.2.2.1 - Resistência à Tração das Fibras de Sisal.	55
3.1.2.2.2 - Durabilidade das Fibras de Sisal.	56
3.1.3 - Aditivos: Cal e Emulsão Asfáltica	59
3.1.3.1 - Cal	59
3.1.3.2 - Emulsão Asfáltica	60
3.1.4 - Água.	61
3.2 - Equipamentos.	61
3.2.1 - Misturador.	61
3.2.2 - Prensa.	62
3.2.3 - Equipamento de Ensaio dos Tijolos	63

CAPÍTULO IV - TIJOLOS DE SOLO-FIBRA: METODOLOGIA

4.1 - Observações Preliminares.	66
4.2 - Estudos em Corpos de Prova.	67
4.2.1 - Influência da Relação Água/Solo	69
4.2.2 - Influência do Tempo de Cura	70
4.2.3 - Influência da Percentagem de Fibras	70
4.2.4 - Influência do Comprimento das Fibras.	71
4.2.5 - Influência do Uso de Aditivos	71
4.3 - Estudo dos Tijolos.	71
4.3.1 - Comportamento Tensão-deformação	73
4.3.2 - Variações Dimensionais.	75

4.3.3 - Absorção.	75
4.3.4 - Durabilidade.	76
4.3.5 - Mistura em Repouso.	77
4.3.6 - Correção Granulométrica	79

CAPITULO V - APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 - Observações Preliminares.	82
5.2 - Estudos em Corpos de Prova.	83
5.2.1 - Influência da Relação Água/Solo	84
5.2.2 - Influência do Tempo de Cura	87
5.2.3 - Influência da Percentagem de Fibras	89
5.2.4 - Influência do Comprimento das Fibras.	91
5.2.5 - Influência da Adição de Aditivos.	91
5.3 - Estudo dos Tijolos.	92
5.3.1 - Influência do Comprimento das Fibras.	92
5.3.2 - Comportamento Tensão-deformação dos Tijolos . .	94
5.3.3 - Valores Selecionados para Confecção dos Tijolos .	99
5.3.4 - Variações Dimensionais.	101
5.3.5 - Absorção.	103
5.3.6 - Durabilidade.	104
5.3.7 - Mistura em Repouso.	106
5.3.8 - Correção Granulométrica	108
5.3.8.1 - Comportamento Tensão-deformação dos tijolos Corrigidos Granulometricamente.	109
5.3.8.2 - Variação Dimensional dos Tijolos Corrigidos Granulometricamente	112

CAPITULO VI - ENSAIO DE UM PAINEL DE TIJOLOS DE SOLO FIBRAS

6.1 - Características do Ensaio	115
6.2 - Características do Painel	116
6.3 - Apresentação dos Resultados do Ensaio	117
6.4 - Considerações Sobre o Desempenho da Parede de Tijolos Solo-fibra.	120
6.5 - Conclusões.	123

CAPITULO VII - CONSIDERAÇÕES FINAIS

7.1 - Conclusões.	125
7.2 - Sugestões para Continuação do Trabalho.	127

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXO

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO I

- Figura 1.1 - Casa de terra no Nordeste brasileiro . . . 03
- Figura 1.2 - Casas de luxo em terra crua construídas nos Estados Unidos. 04

CAPITULO II

- Figura 2.1 - Modos e utilização da terra nas construções 10
- Figura 2.2 - Estrutura da argila caulinitica. 16
- Figura 2.3 - Estrutura da argila ilita. 17
- Figura 2.4 - Estrutura da argila montmorilonítica . . . 18
- Figura 2.5 - Gráfico do índice de plasticidade e limite de liquidez. 29
- Figura 2.6 - Gráfico de Rothfuchs 31

CAPITULO III

- Figura 3.1 - Mapa do Estado da Paraíba indicando as cidades de origem dos solos selecionados . 37
- Figura 3.2 - Curvas granulométricas dos solos de Taperoá, João Pessoa, Campina Grande e Areia. 40
- Figura 3.3 - Curvas de análise térmica diferencial dos solos e cal. 45
- Figura 3.4 - Agave sisalana 49
- Figura 3.5 - Fibra de sisal ampliada 19 (acima) e fibra de sisal ampliada 54 vezes 52
- Figura 3.6 - Absorção de água pelas fibras de sisal . . 54
- Figura 3.7 - Misturador do solo 62

Figura 3.8 - Prensa manual para confecção dos tijolos .	63
Figura 3.9 - Máquina de ensaio à compressão simples de corpos de prova e tijolos.	64

CAPITULO IV

Figura 4.1 - Tijolo preparado para o ensaio de resistência à compressão simples	74
Figura 4.2 - Mistura solo-fibra-água em repouso, coberta com panos para evitar a evaporação da água de moldagem, solo de Joao Pessoa . .	78
Figura 4.3 - Mistura solo-fibra-água em repouso, depois de revolvida, solo de Joao Pessoa.	79

CAPITULO V

Figura 5.1 - Influência da relação água/solo na resistência a compressão simples dos corpos de prova com o solo de Taperoá	84
Figura 5.2 - Influência da relação água/solo na resistência a compressão simples dos corpos de prova com o solo de Joao Pessoa	85
Figura 5.3 - Influência da relação água/solo na resistência a compressão simples dos corpos de prova com o solo de Joao Pessoa mais 4% de fibra de sisal.	86
Figura 5.4 - Influência da percentagem de fibras no solo de Taperoá	89
Figura 5.5 - Influência da percentagem de fibras no solo de Joao Pessoa.	90
Figura 5.6 - Influência da adição de emulsão asfáltica no solo de Taperoá	91
Figura 5.7 - Influência da adição de emulsão asfáltica no solo de Joao Pessoa	92
Figura 5.8 - Influência do comprimento das fibras no comportamento dos tijolos	93
Figura 5.9 - Curvas tensão-deformação solo de Taperoá com 4% de fibras de sisal.	95

Figura 5.10 - Curvas tensao-deformação solo de Taperoá com 2% de emulsao asfáltica e 2% de fibras de sisal.	96
Figura 5.11 - Curvas tensao-deformação solo de Taperoá com 2% de emulsao asfáltica e 4% de fibras de sisal	96
Figura 5.12 - Curvas tensao-deformação solo de Joao Pessoa com 2% fibras de sisal	97
Figura 5.13 - Curvas tensao-deformação solo de Joao Pessoa com 2% de emulsao asfáltica.	97
Figura 5.14 - Curvas tensao-deformação solo de Joao Pessoa com 2% emulsao asfáltica e 2% de fibras de sisal.	98
Figura 5.15 - Curvas tensao-deformação solo de Joao Pessoa com 6% de cal.	98
Figura 5.16 - Curvas tensao-deformação solo de Joao Pessoa com 6% de cal e 2% de fibras de sisal	99
Figura 5.17 - Curvas tensao-deformação solo de Joao Pessoa com 2% fibras de sisal, 60 dias em repouso e 7 dias de cura ao ar	106
Figura 5.18 - Curvas tensao-deformação solo de Joao Pessoa com 2% fibras de sisal, 60 dias em repouso e 28 dias de cura ao ar	107
Figura 5.19 - Curvas tensao-deformação solo de Campina Grande com solo de Joao Pessoa e 2% de fibras de sisal	111
Figura 5.20 - Curvas tensao-deformação solo de Areia com solo de Joao Pessoa e 2% de fibras de sisal	111

CAPITULO VI

Figura 6.1 - Esquema geral de ensaio.	114
Figura 6.2 - Instrumentação da parede	115
Figura 6.3 - Curvas carga-deslocamento vertical da parede	117
Figura 6.4 - Fissuras na parede sob carga de 155 kN	118

Figura 6.5 - Curva tensão-deformação específica média da parede	119
Figura 6.6 - Curvas carga-deslocamento transversal da parede	119
Figura 6.7 - Curva carga-deslocamento lateral da extremidade da parede	120
Figura 6.8 - Corte transversal em residência popular. .	121
Figura 6.9 - Deformações transversais ao longo da parede ensada	122

INDICE DE TABELAS

CAPITULO III

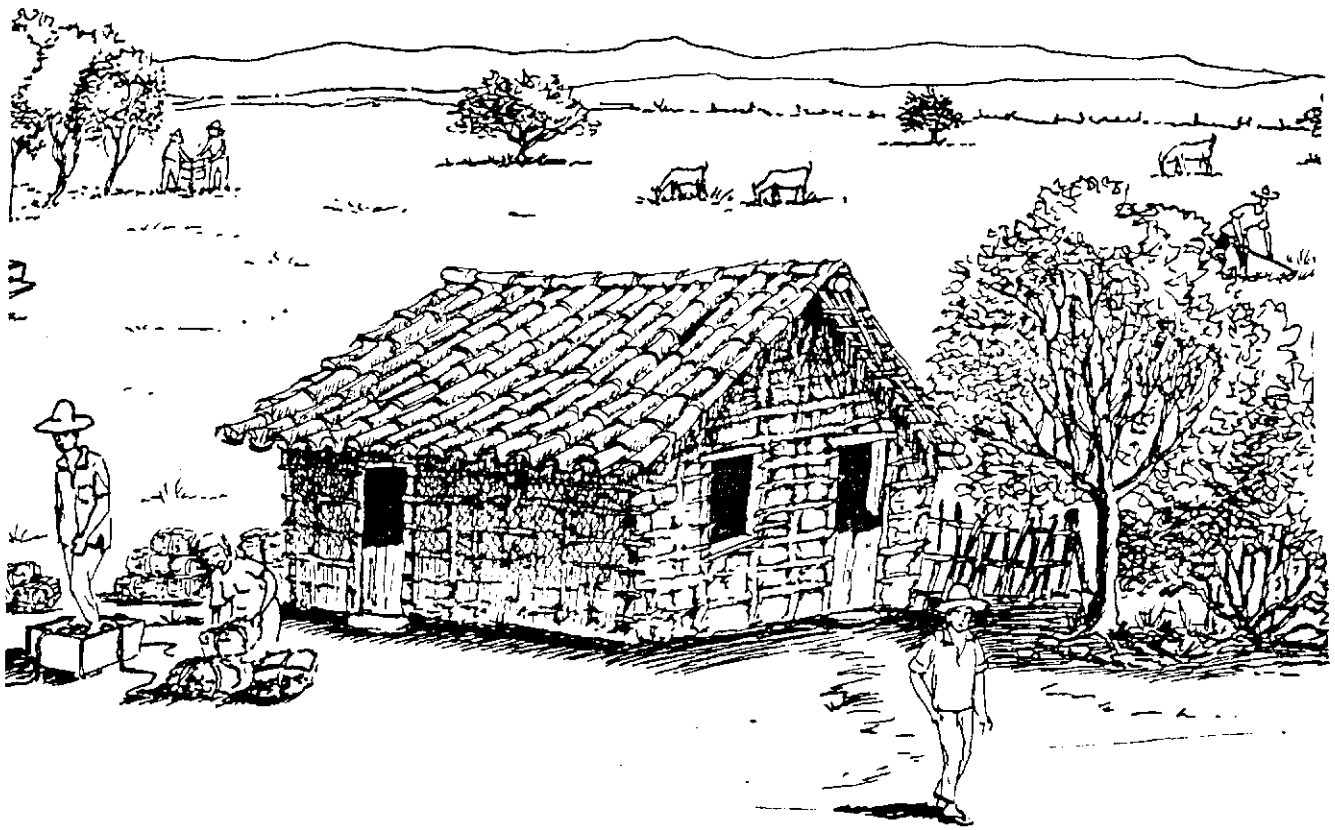
Tabela 3.1 - Ensaio de caracterização dos solos.	38
Tabela 3.2 - Características dos solos.	39
Tabela 3.3 - Comparação entre os valores considerados ideais em [12] e os parâmetros dos solos estudados.	42
Tabela 3.4 - Composição química dos solos	43
Tabela 3.5 - Composição da folha de sisal e da sua utilização	49
Tabela 3.6 - Comprimento das fibras de sisal.	50
Tabela 3.7 - Diâmetro das fibras de sisal pelos processos: Paquímetro e retroprojektor	51
Tabela 3.8 - Teor de umidade natural da fibra de sisal.	51
Tabela 3.9 - Peso específico das fibras de sisal.	53
Tabela 3.10 - Variação dimensional das fibras de sisal nas direções: longitudinal e transversal	55
Tabela 3.11 - Tensão-deformação na ruptura das fibras de sisal.	55
Tabela 3.12 - Tensão e deformação na ruptura das fibras de sisal após imersão em solução de Ca(OH)_2 , durante 30, 60, 90, 120 e 210 dias.	57
Tabela 3.13 - Tensão e deformação na ruptura das fibras de sisal após imersão em solução de Na(OH) , durante 30, 60, 90, 120 e 210 dias.	58
Tabela 3.14 - Tensão e deformação na ruptura das fibras de sisal após imersão em água de torneira, durante 30, 60, 90, 120 e 210 dias.	58
Tabela 3.15 - Composição química da cal	59

CAPITULO V

Tabela 5.1 - Resultados de resistência a compressão simples; solo de Taperoá	87
Tabela 5.2 - Resultados de resistência a compressão simples, solo de Joao Pessoa	87
Tabela 5.3 - Resultados de resistência a compressão simples.	88
Tabela 5.4 - Resultados de resistência à compressão simples, solo de Taperoá	94
Tabela 5.5 - Resultados de resistência à Compressão simples, solo de Joao Pessoa	95
Tabela 5.6 - Valores preliminarmente recomendados ao fabrico de tijolos com o solo de Taperoá e Joao Pessoa.	100
Tabela 5.7 - Variações dimensionais dos tijolos com o solo de Taperoá.	101
Tabela 5.8 - Variações dimensionais dos tijolos com o solo de Joao Pessoa.	102
Tabela 5.9 - Resultados de absorção de água	103
Tabela 5.10 - Resultados de durabilidade por perda de massa	105
Tabela 5.11 - Características dos solos corrigidos granulometricamente	108
Tabela 5.12 - Características dos solos corrigidos granulometricamente	109
Tabela 5.13 - Resultados de Resistência à Compressão Simples	110
Tabela 5.14 - Variações dimensionais dos tijolos.	112
Tabela 5.15 - Variações dimensionais dos tijolos.	113

CAPITULO VI

Tabela 6.1 - Resistência à compressão e idade dos constituintes das paredes.	116
--	-----



9A-43

CAPITULO I

INTRODUÇÃO

A arte de construir é uma atividade relativamente recente na história da humanidade. De fato, o homem já era capaz de fazer belas pinturas, modelar vasos cerâmicos, fabricar artefatos de caça, joias, adórnos e tantas outras coisas, quando, há cerca de 10 mil anos, com o advento da agricultura, que o obrigava a fixar-se nos locais à espera das colheitas, começou a construir suas habitações.

Os primeiros materiais de construção foram aqueles ofertados pela natureza, como madeira, pedras, e, como não poderia deixar de ser, a TERRA.

Todas as grandes civilizações da antiguidade fizeram uso de terra crua para a construção de seus notáveis monumentos.

Os egípcios o tinham no rio mais longo do planeta um fornecedor de limo argiloso que convenientemente misturado com a areia do deserto próximo, criavam condições para o fabrico em larga escala dos tijolos de adobe secos ao sol.

Percebendo os efeitos benéficos das fibras, já misturavam a palha de trigo aos seus blocos de terra crua, com os quais foram edificadas tanto casas humildes para o povo como templos e palácios para os faraós.

Realmente, quem visita o Museu Britânico nos dias de hoje, em um dos numerosos salões dedicados à civilização

egípcia, encontra exposto um tijolo de adobe do templo de Ramsés II (cerca de 1750 a.C.) feito com a argila escura do Nilo misturada a palha de trigo, em perfeito estado de conservação.

Também na Mesopotâmia, os rios Tigres e Eufrates ofereciam matéria-prima de qualidade para a construção com terra.

A muralha de Nínive, Assíria, é toda construída com esse material.

Os Persas também foram exímios construtores com a terra crua. Persépoles e Susan, cidades notáveis da antiguidade produziram belíssimas obras de arquitetura em terra. Era comum a associação de colunas de pedras aos muros de tijolo de terra crua.

As fortificações das cidades também eram construídas com terra. A célebre Muralha da China, erguida em longos trechos em terra à partir do século III a.C. é ainda hoje prova da solidez que este material pode adquirir [1].

Com a Revolução Industrial, o advento dos materiais de construção industrializados e a maciça propaganda estimulando seu uso, fez com que materiais e técnicas tradicionais fossem sendo relegadas a segundo plano.

Continuou-se estudando a terra apenas com vistas a aplicação em estradas e barragens.

Nos países do Terceiro Mundo, as construções com terra ficaram relegadas às populações marginais, já que a pobreza não lhes permite outra escolha. No Nordeste do Brasil, as populações pobres confeccionam com a terra

produtos de má qualidade: casas com paredes cheias de fissuras, pouco duráveis, insalubres e de desagradável aspecto estético (Figura 1.1).



Figura 1.1 - Casa de terra no Nordeste brasileiro.

Tal fato permite, para alegria dos grandes grupos de fabricantes de materiais de construção convencionais, a associação da terra crua a um produto de baixo desempenho, intimamente ligado à pobreza.

Com um pouco de tecnologia, contudo, tudo se transforma.

A nova cidade de Isle-d'Abeau, nas proximidades de Lyon, França, foi inteiramente edificada em terra crua entre 1982 e 1985 [2]. O bom desempenho de suas construções é prova inconteste das possibilidades de emprego desse

material de qualidade quando convenientemente empregado.

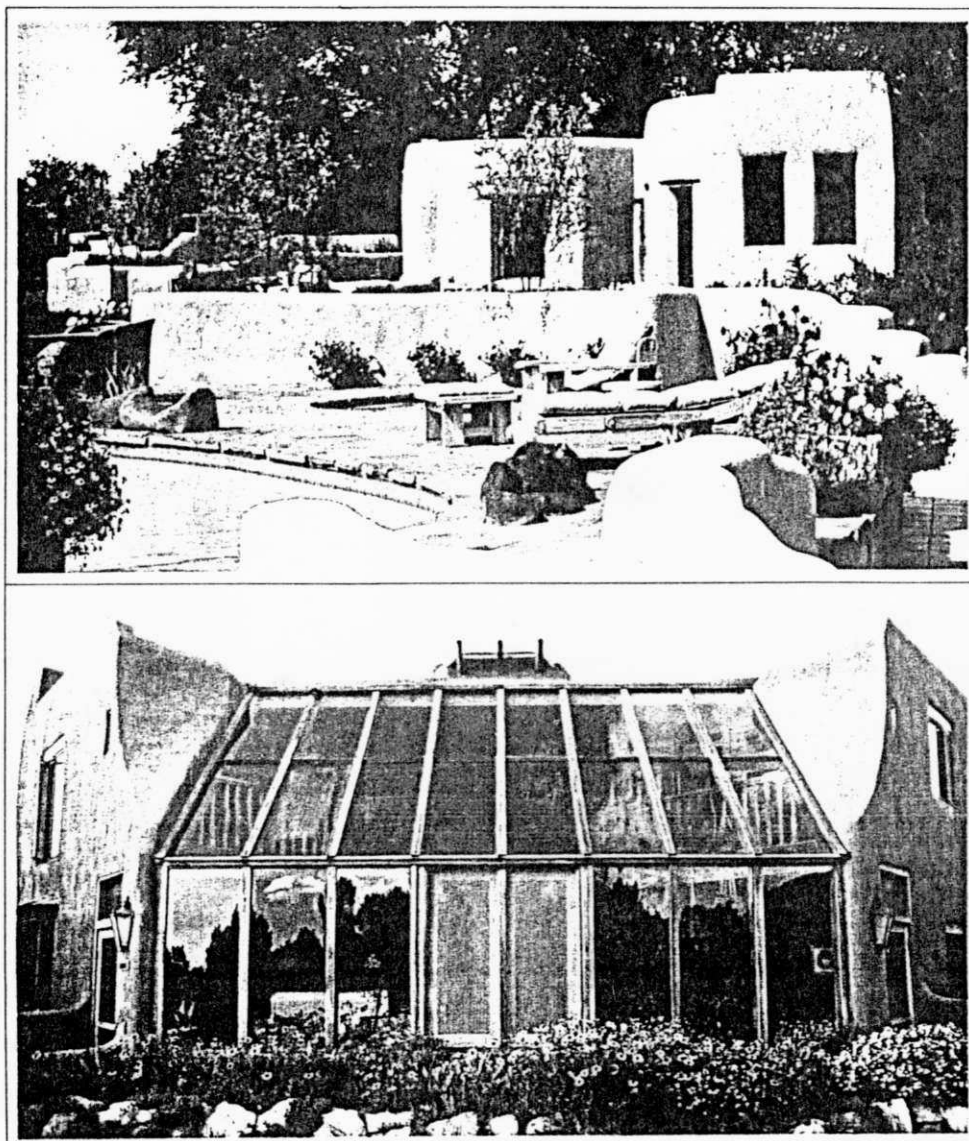


Figura 1.2 - Casas de luxo em terra crua construídas nos Estados Unidos.

A Figura 1.2 obtida da referência [3], é a contraprova de que a terra crua deva ser associada à idéia da pobreza.

Materiais como aço e concreto têm sido intensivamente estudados há muitas décadas. Tendo se tornado "confiáveis",

nao encontram problemas de aceitaçao, embora caros e muitas vezes nao adequados às condiçoes locais. Já a terra, um dos mais antigos materiais de construcao e um dos mais novos em termos de conhecimentos mecânicos, é frequentemente rejeitada tanto pelo povo por conta de sua nao modernidade quanto pelos empresários de construcao por conta da falta de estudos sobre ela [4].

Pensando em quebrar o ciclo vicioso de nao se utilizar as construções em terra por ser esta pouco estudada e ser pouco estudada por nao ser utilizada pelas classes que detem certo poder de compra, alguns grupos internacionais como o Laboratoire Geomateriaux e o Centro Internacional da Construcao com Terra, ambos na França, foram criados para desenvolver pesquisas científicas sobre o assunto.

A nível local, há poucos anos iniciou-se na Universidade Federal da Paraíba, com apoio da Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro na pessoa do prof. K. Ghavami, programa de pesquisa sobre materiais de construcao alternativos, entre eles, a terra.

O prof. Toledo Filho [5] utilizou fibras de coco e de sisal misturadas à terra para melhorar suas propriedades e deu inicio a estudos neste dominio. A evolucao das pesquisas deu origem a este trabalho de tese que trata de investigacao feita a respeito de quatro tipos de solo do Estado da Paraíba, estabilizados com fibras vegetais, com vistas à fabricacao de tijolos prensados.

O principal objetivo desta pesquisa é o estudo do

efeito da adição de fibras vegetais no comportamento de tijolos prensados de terra crua.

A dissertação consiste de sete capítulos:

Um primeiro capítulo de introdução.

Um segundo onde se apresenta uma revisão bibliográfica sobre a terra como material de construção, especialmente com vistas à fabricação de tijolos de terra crua.

No terceiro capítulo apresentam-se as características dos materiais empregados e os equipamentos utilizados na pesquisa.

No quarto capítulo indica-se a metodologia empregada na definição dos vários parâmetros que influem na qualidade dos tijolos.

No quinto capítulo mostram-se e discutem-se os resultados obtidos, as características dos tijolos, envolvendo comportamento sob tensão e durabilidade.

No sexto capítulo apresentam-se e comentam-se os resultados preliminares da experimentação feita em um painel construído com tijolos solo-fibra.

Finalmente no sétimo capítulo apresentam-se as considerações finais com sugestões para a continuação dos trabalhos no assunto.

CAPITULO II

REVISAO BIBLIOGRAFICA

Neste capítulo apresentam-se algumas considerações sobre a terra como material de construção. Indicam-se alguns trabalhos desenvolvidos no mundo todo sobre o assunto. Fazem-se alguns comentários à respeito do solo, das fibras vegetais e dos materiais estabilizantes: cal e emulsão asfáltica, os quais foram empregados neste trabalho, e trata-se dos diversos fatores que influem no desempenho de tijolos prensados de terra crua.

2.1 - Generalidades

Embora, desde há cerca de dez milênios tenha o homem construído com a terra, somente há poucos anos teve impulso a pesquisa científica moderna sobre este notável material de construção.

De fato, o despertar da humanidade com respeito a problemas como poluição, ecologia, conservação de energia, aconteceu recentemente. O professor Minke, da Universidade de Kassel, Alemanha, [6] já se refere a uma "Arquitetura Ecológica" como sendo a arquitetura do futuro, a qual deve ter em conta a preservação dos recursos naturais, a minimização do consumo de energia, a redução da poluição ao mínimo, a criação de ambientes saudáveis e higiênicos, tudo

isto sem aumento do custo das construções.

Baier [7] indica que um metro cúbico de concreto utiliza 400 a 800 KWh de energia. Tijolos cerâmicos furados envolvem cerca de 600 KWh. Já a utilização da terra crua nas construções consome somente cerca de 5 KWh/m³, energia essa apenas de manuseio do próprio material.

Com respeito aos prejuízos ao meio ambiente, o trabalho de Baier [7] indica que a produção de uma tonelada de aço requer 50 m³, de oxigênio lançando na atmosfera grandes quantidades de CO₂, gás de conhecidas propriedades poluentes. Uma tonelada de alumínio consome duzentas vezes mais oxigênio da atmosfera terrestre.

Estes aspectos seguramente influenciaram no pensamento dos estudiosos que criaram o hoje consolidado "Centro Internacional da Construção com Terra", CRATerre, em Grenoble, e o "Laboratório de Geomateriais" em Vaulx en Velin, região metropolitana de Lyon. Neste último, há um grupo que trata da terra como material de construção. Têm sido pesquisadas as propriedades da terra [8], com vistas à fabricação de blocos comprimidos de terra crua [4, 9-11]. Já foi desenvolvida uma prensa manual de alta performance [12] e têm sido feitos ensaios experimentais em estruturas construídas com tijolos crus [13].

No CRATerre, cujas origens remontam aos anos setenta [14], numerosos trabalhos de pesquisa, aplicação prática, consultoria, formação e difusão da tecnologia da construção com terra estão em marcha. Anualmente são oferecidos cursos e estágios de curta duração. Conjuntamente com a Escola de

Arquitetura de Grenoble tem-se um curso equivalente ao mestrado que tem por título "Arquitetura de Terra". As pesquisas desenvolvidas nesse Centro já produziram um Tratado da Construção com Terra [15]. Nele pode-se encontrar informações sobre esse material, os tipos de uso possíveis, como utilizar o solo para obter um bom produto e tantíssimos outros esclarecimentos.

2.2 - Modos de Utilização da Terra Crua

Bem diversos são os modos de utilização da terra como material de construção. A referência [15] os indica através do desenho indicado na Figura 2.1.

Nela vêm-se três grupos distintos:

Estrutura - a terra não tem função estrutural havendo uma estrutura de suporte para tal.

Monolítica - a terra tem função estrutural na forma de peças monolíticas.

Alvenaria - a terra tem função estrutural na forma de paredes de blocos individuais.

A definição sumária de cada item é dada a seguir:

1 - Terra perfurada - a habitação é escavada na própria crosta terrestre.

2 - Terra recobrindo - a terra cobre uma estrutura construída com outro material.

3 - Terra preenchendo - a terra preenche materiais vazados.

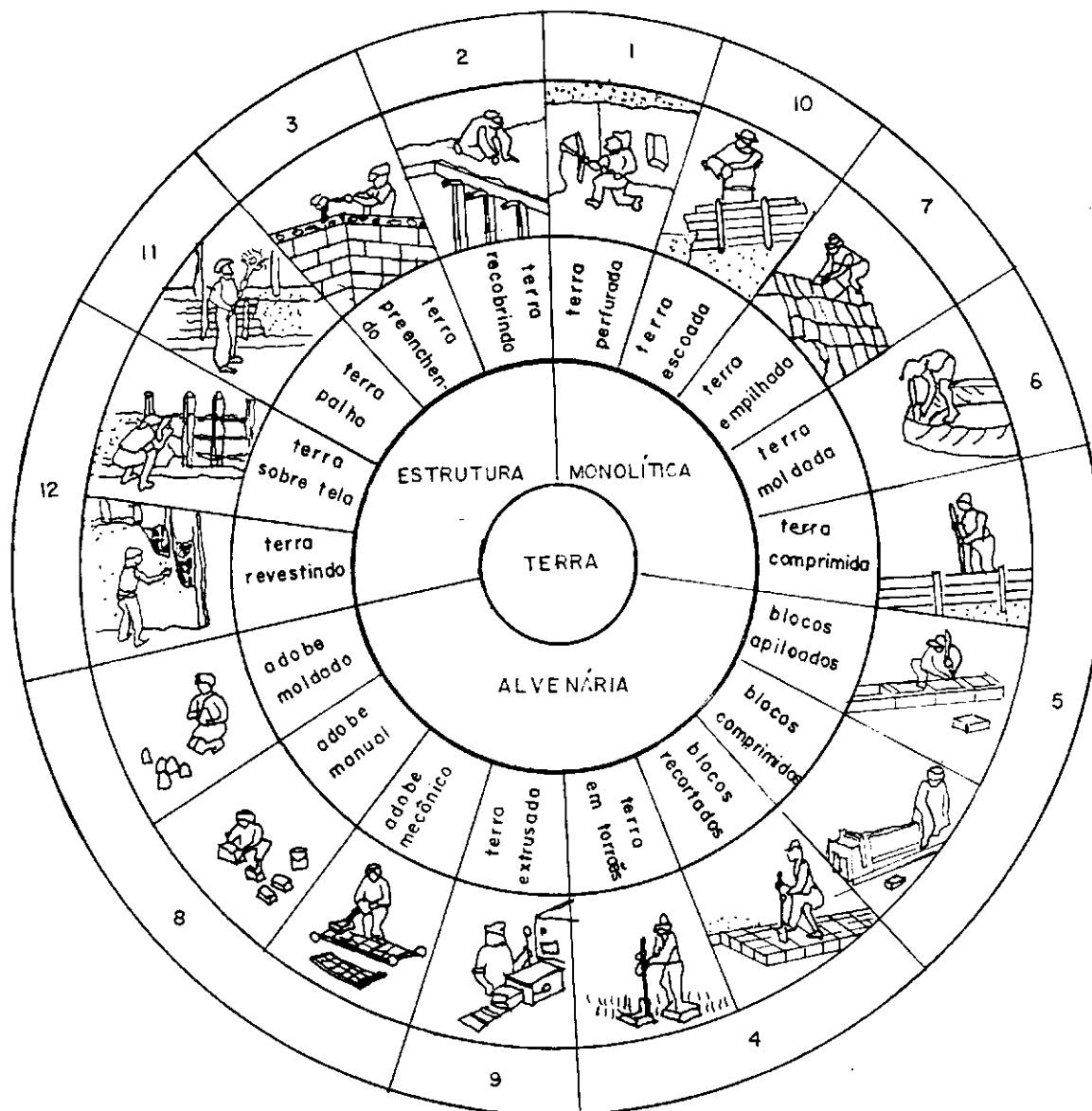


Figura 2.1 - Modos de utilização da terra nas construções [15].

4 - Terra recortada - blocos de terra são diretamente recortados do solo.

5 - Terra comprimida - a terra é empregada apiloadada entre fôrmas ou na forma de blocos comprimidos por uma prensa.

6 - Terra moldada - paredes finas são moldadas a mão com a terra em estado plástico.

7 - Terra empilhada - bolas de terra são empilhadas

para a construção de muros espessos.

8 - Terra moldada (adobe) - a terra é moldada a mão ou com ajuda de fôrmas.

9 - Terra extrusada - a terra é extrusada através de possante equipamento.

10 - Terra escoada - a terra é lançada em fôrmas ou moldes como um concreto.

11 - Terra-palha - a terra misturada com percentagens adequadas de palha ou fibras constituindo um material leve.

12 - Terra revestindo - a terra é aplicada em camadas finas para revestir um suporte.

Detalhes completos sobre os doze itens acima podem ser encontrados em [15].

2.3 - Indicações de Alguns Estudos Feitos Sobre a Terra Crua

Em virtude das suas já citadas qualidades, como não poluentes, de baixo consumo energético, de boas propriedades térmicas, disponibilidade e baixo preço, a terra crua tem sido estudada, nos últimos anos, em diversas partes do Planeta [16-24].

Uma das formas mais difundidas de seu uso é na fabricação de tijolos de adobe e de blocos prensados. Enquanto o adobe já era usado pela civilização egípcia, só em 1952 apareceu no mercado a primeira prensa especialmente concebida para a produção de blocos comprimidos: a prensa Cinva-Ram, idealizada pelo engenheiro Raul Ramirez, no

Centro Interamericano de Habitação e Planejamento, em Bogotá, Colombia [15]. Desde então difundiu-se seu uso e numerosos concorrentes apareceram em todo o mundo [25-30]. Nos anos 60 começaram a surgir prensas mecanizadas, hidráulicas, automáticas, e, hoje, nos países ricos, há uma grande diversidade de prensas capazes de fabricar blocos de terra crua em escala industrial.

No Brasil, já na década de 40, a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) publicava boletins referindo-se a tecnologia do solo-cimento para as construções. Em 1949, o prof. Hernani Sobral [31], publicou, em Salvador, Bahia, uma tese sobre o solo-cimento nas habitações, visando a construção de paredes monolíticas. Foram estudados três tipos de solo, dois argilosos e um arenoso, estabilizados com 4, 6, 8 e 10% de cimento. Além dos ensaios de caracterização, foram pesquisados a resistência à compressão, a absorção, a retração e a trabalhabilidade. Nos ensaios de durabilidade foram utilizados dois métodos: o de secagem e molhagem e o de congelamento e degelo, conforme indicavam as normas da ABCP da época.

Recentemente, ainda no Brasil, algumas instituições destacaram-se no que se diz respeito ao uso da terra como material de construção: a já citada ABCP, dando apoio ao Centro de Pesquisas e Desenvolvimento da Bahia (CEPED) e ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT). As pesquisas desenvolvidas voltaram-se principalmente para o aproveitamento do solo-cimento na forma de paredes

monolíticas de tijolos prensados. Os estudos deram origem a publicações [32-33], recomendações técnicas [34-37], e a uma cartilha [38] em linguagem simples, ilustrada, indicando o procedimento para a construção de casas com paredes compactadas de solo-cimento.

Alguns trabalhos sobre tijolos de solo-cal também foram feitos no IPT [39].

Na Universidade Federal da Paraíba, tiveram início pesquisas envolvendo a terra misturada a fibras vegetais [5,40-44].

O efeito benéfico das fibras e palhas nos tijolos de adobe é conhecido desde a antiguidade. Estas provocam um reforço na estrutura do solo, melhorando suas propriedades:

- reduzindo ou impedindo a fissuração durante a secagem, redistribuindo as tensões devidas à retração de argila em toda a massa do compósito;

- aumentando a resistência à tração do tijolo;

- transformando um material frágil em um outro de extrema ductibilidade.

Os tijolos reforçados com fibras possuem um elevado grau de resistência à fissuração e à propagação de fissuras. As fibras formam uma malha no interior da matriz de terra, recebem as tensões de tração e, após o aparecimento de uma fissura tornam difícil o seu caminhamento.

Com o fim de aproveitamento em diversos tipos de matrizes, que não a terra, as fibras vegetais e seus compósitos têm sido estudados em todo o mundo.

Porém, poucos organismos estudaram cientificamente o comportamento do solo estabilizado com fibras [15].

As pesquisas desenvolvidas na Universidade Federal da Paraíba sobre fibras de sisal, as quais foram empregadas neste trabalhos, são apresentadas no capítulo III.

Em 1992, ainda na Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, o prof. José Gonçalves de Departamento de Tecnologia Mecânica desenvolveu uma prensa para moldagem de tijolos de terra crua. Está sendo feito então estudo sobre o emprego de um solo argiloso local para confecção de tijolos [45]. Os resultados iniciais mostraram-se bastante animadores. Os tijolos apresentam resistência sempre superior aos 2 MPa com o solo natural. Com a adição de 4% de cimento, a ruptura total só ocorre sob tensões superiores a 5 MPa. Também os tijolos de solo-cal estão sendo pesquisados.

2.4 - Componentes Granulométricos do solo

A composição granulométrica de um solo é de fundamental importância para sua utilização nas construções de terra.

Segundo suas dimensões, as partículas principais do solo são classificadas em:

- Pedregulho;
- Areia;
- Silte;
- Argila.

Pedregulho, pela classificação da ABNT, é a parte do solo cujas partículas têm diâmetro superior a 4,8 mm, resultantes da desagregação da rocha mater [49]. O pedregulho constitui o esqueleto da terra e limita sua capilaridade e retração [15].

Areia é a parte da terra composta por partículas cujas dimensões estão entre 0,05 e 4,8 mm. Em geral é composta de partículas de silício ou de quartzo. A fração arenosa de um solo é caracterizada por seu grande atrito interno. As partículas arenosas não apresentam coesão pelo fato de ser muito pequena a influência das finas camadas de água na sua superfície. A presença de areia em um solo diminui sua expansão e sua retração. As areias são caracterizadas por uma estrutura aberta e por uma grande permeabilidade.

O silte corresponde à parcela do solo cujas dimensões estão entre 5 microns e 0,05 mm. Do ponto de vista físico e químico a fração siltosa do solo é quase idêntica à parte arenosa, tendo por diferença apenas a dimensão [15]. A contribuição do silte à estabilidade de um solo é devido ao seu atrito interno. As finas películas de água entre as partículas conferem um certo grau de coesão às terras siltosas. Estas já apresentam pequenos inchamento e retração.

A argila corresponde à fração do solo cujas dimensões são inferiores a 5 microns. As partículas de argila diferem das outras parcelas de solo por sua composição química e suas propriedades físicas. Quimicamente, são alumino-

silicatos hidratados formados durante o processo de lixiviação das partículas mais grossas dos minerais rochosos originais. Fisicamente, as partículas de argila são comumente de forma lamelar. Sua superfície específica é infinitamente maior que aquela de partículas de dimensões superiores e de forma esférica ou angular. As argilas são sujeitas à expansão e à retração.

Dentre os argilominerais existentes, há três tipos de argila mais frequentemente encontradas nos solos: a caulinita, a illita e a montmorilonita.

Caulinita - as lamelas de argila têm uma estrutura composta de uma camada de tetraedros de sílica (SiO_2) unida a outra camada de octaedros de alumina (Al_2O_3) (Figura 2.2). A caulinita apresenta cargas negativas só nas bordas das camadas e sua capacidade de fixação de íons é fraca. A distância interplanar basal é fixa, sendo da ordem de 7 Angstroms. A caulinita é quase estável em contato com a água [15].

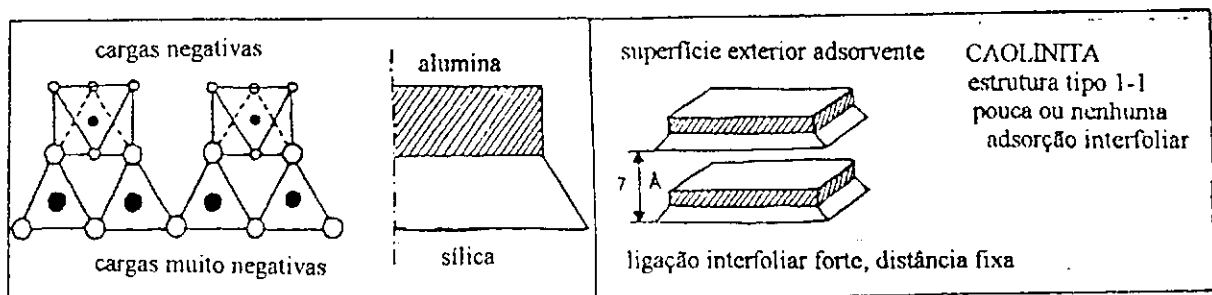


Figura 2.2 - Estrutura da argila caulinitica [15].

Ilita - apresenta uma estrutura em três camadas: uma octaédrica, formada principalmente de alumina, entre duas camadas tetraédricas cujo principal componente é a sílica. Ions de magnésio ou ferro podem substituir, em parte o alumínio na camada central e ions de alumínio podem substituir o silício na camada silicosa. Assim, as lamelas são não saturadas e as cargas negativas são equilibradas por ions potássio que unem as lamelas. A distância interplanar basal é de 10 Angstroms. A ilita não é estável ao contato com água, mostrando-se expansiva.

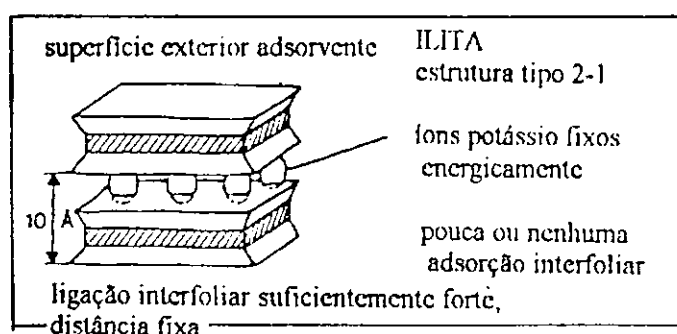


Figura 2.3 - Estrutura da argila ilita [15].

Montmorilonita - apresenta estrutura similar àquela da ilita, mas dentro da camada octaédrica de alumínio os ions de alumínio podem ser permutados por: magnésio, ferro, manganês, níquel. As lamelas não são eletricamente neutras mas fracamente ligadas e os ions "interplanares", que não são mais ions potássio: são cátions de sódio e cálcio e moléculas de água. A distância interplanar basal pode ser da ordem de 14 à 20 Angstroms. Este tipo de argila não é estável ao contato da água sendo a que apresenta maior expansão.

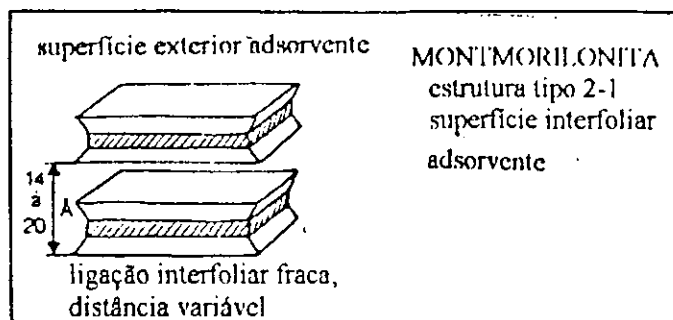


Figura 2.4 - Estrutura da argila montmorilonítica [15].

2.5 - Estabilizantes

A fim de se dar estabilidade ao material terra quando em contacto com a água, é necessário o emprego de estabilizantes. De fato, malgrado as fibras melhorem e muito a qualidade dos tijolos de terra crua, nenhuma garantia fornecem quanto à durabilidade dos mesmos quando submetidos à ação da água. Então nos tijolos em que poderá haver contacto com líquido durante a vida útil da construção, deve ser utilizado um estabilizante que pode ser o cimento, a cal, a emulsão asfáltica, ou mesmo diversos tipos de resinas.

Dependendo de sua granulometria, alguns tipos de solo não se prestam à formação de blocos prensados no seu estado natural. As vezes, no entanto, com a simples adição de um estabilizante à terra, em proporções convenientes, consegue-se obter tijolos de qualidade. É pois necessário conhecer como atuam estes aditivos.

Dois estabilizantes foram empregados neste trabalho: cal e emulsão asfáltica. Sobre eles se discorre a seguir.

2.5.1 - Cal

A cal é um aglomerante simples, leve, poroso, produzido pela calcinação de rochas calcárias.

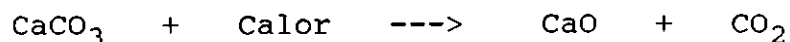
Sua origem remonta há mais de dois milênios, acreditando-se que tenha sido desenvolvida, pelos romanos, por volta de 300 a.C.

Há dois tipos principais de cal, dependendo da composição química da rocha calcária:

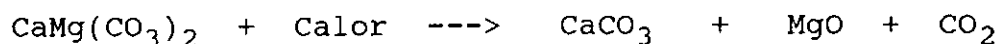
- Cal calcítica - Quando a rocha de origem é composta sobretudo por carbonato de cálcio CaCO_3 (Calcita);

- Cal dolomítica - Quando na rocha de origem predomina o carbonato de cálcio e magnésio $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ (Dolomita).

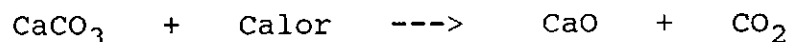
A reação da calcinação no caso da cal calcítica se dá a aproximadamente 900°C e está representada na equação seguinte:



No caso da cal dolomítica a cerca de 750°C tem-se:



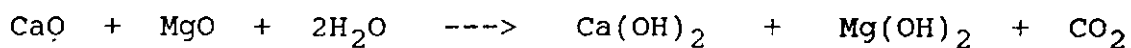
E em seguida, por volta de 1100°C :



Resulta pois que a cal dolomítica compõe-se de óxido de cálcio e óxido de magnésio.

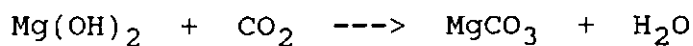
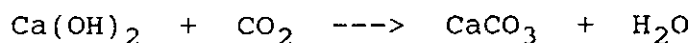
O produto da calcinação, CaO ou CaO + MgO, é chamado de cal virgem ou cal viva.

Reagindo com a água, obtém-se a cal hidratada ou cal extinta, segundo as reações para as cales calcíticas e dolomíticas, respectivamente:



As equações químicas acima podem ser consideradas como reversíveis.

A propriedade aglomerante da cal hidratada é resultante da carbonatação dos hidróxidos de cálcio e magnésio, regenerando os carbonatos de cálcio e de magnésio:



2.5.1.1 - Estabilização com cal

O solo-cal é um produto de estabilização físico-química visando a melhoria permanente das características do solo e aumentando-se sua resistência à ação da água e seu poder de suporte. A estabilização de solos com cal é aplicável a solos argilosos e é muito usada como recurso de construção civil e fabricação de tijolos.

2.5.1.2 - Efeito da cal no solo

A adição de cal tem como efeito modificações no solo, imediatas e a longo prazo, numa intensidade que é função do tipo de solo e do tipo e teor de cal [39].

Logo após a mistura, dão-se reações entre os íons Ca^{2+} e OH^- da cal com o solo; os cátions trocáveis Na^+ e K^+ da argila são substituídos por Ca^{2+} com alteração das forças elétricas das partículas argilosas, resultando em floculação de suas partículas.

Estas reações produzem modificações nas propriedades geotécnicas do solo, que são as seguintes:

- Diminuição do índice de plasticidade em decorrência do aumento da plasticidade e diminuição do limite de liquidez;

- Aumento do índice do CBR;

- Achatamento das curvas de compactação, com aumento do teor ótimo de umidade e diminuição da massa específica aparente seca máxima;

- Aceleração da desintegração dos torrões de argila durante a pulverização, tornando o solo mais friável, melhorando a sua trabalhabilidade;

- Aumento da resistência à compressão não confinada com o tempo de cura, sendo possível o crescimento da resistência da mistura até um período de dez anos, quando os solos são ativos e reagem com a cal, com formação de silicatos e aluminatos de cálcio cimentantes, através de reações pozolânicas lentas;

- Aumento da durabilidade; com maior resistência à ação da umidade;

- Aumento da estabilidade do volume, com eliminação quase completa das variações dimensionais do solo.

A estabilização com cal é ocasionada pelo ataque químico da cal ao argilo-mineral o qual libera sílica e alumina para a reação. Também pode ocorrer que a cal reaja com os elementos livres, silício e alumínio e ferro.

As reações verificadas que resultam do mecanismo de estabilização do sistema solo-cal são: troca de cátions, floculação, carbonatação e reação pozolânica.

Detalhes destas reações, segundo Queiroz de Carvalho [46], são descritos a seguir:

- Troca de Cátions

Esta reação ocorre quando o cátion (Ca^{2+}) da cal substitui o íon metálico na superfície do argilo-mineral, este íon metálico pode ser, por exemplo o potássio ou hidrogênio. É esta reação que, juntamente com a floculação, proporcionam uma redução da plasticidade, uma melhoria na trabalhabilidade e uma redução nos mecanismos de contração e expansão do solo.

- Floculação

A tendência dos cátions (Ca^{2+}) da cal se aglomerarem na superfície do argilo-mineral é que produz a floculação. Isto porque a aglomeração dos cátions (Ca^{2+}) muda a

concentração eletrolítica do sistema solo-cal.

- Carbonatação

A reação de carbonatação ocorre quando o dióxido de carbono da atmosfera reage com a cal, com a subsequente formação do carbonato de cálcio ou magnésio, dependendo do tipo de cal. O processo de carbonatação é considerado um fraco agente cimentício, o qual é prejudicial ao ganho final da resistência.

- Reação Pozolânica

A elevação na resistência do solo devido ao tratamento com cal é atribuída à reação pozolânica, que é a que ocorre entre a cal, a água e a sílica ou alumina formando compostos cimentícios.

Na reação pozolânica ocorre o ataque químico da cal e remoção da sílica presente no argilo-mineral, formando um gel, que segundo Diamond e Kinter [47] são compostos cimentícios e podem aparecer na forma de cálcio silicato hidratado, cálcio aluminato hidratado ou ainda cálcio silicato aluminato hidratado. Esta reação ocorre na presença de água, sendo a mesma capaz de carrear cálcio e íons hidroxila para a superfície da argila. Este gel é o responsável pela cimentação das partículas do solo, ligando as partículas da argila e bloqueando os poros do solo.

O ataque químico, que resulta na formação do gel, pode ser explicitado através de dois princípios: o

primeiro, conforme Eades et alli [48], considera que a adição da cal a um solo produz um meio altamente alcalino onde há a destruição da estrutura do argilo-mineral e assim a liberação de silício, alumínio ou ambos, para reagirem com a cal. O segundo, postulado por [47], na consideração de que a alta alcalinidade do meio, devido à adição da cal, dissolve as bordas das partículas do argilo-mineral, com a consequente reação entre a cal, o silício e o alumínio e a precipitação dos produtos formados.

A reação na estabilização de solos argilosos depende em geral da quantidade de argila e do tipo de mineral argiloso contido no solo.

2.5.2 - Estabilização com Emulsão Asfáltica

É o produto obtido do cimento asfáltico de destilação emulsionado na água com auxílio de uma substância emulsionante, geralmente um sabão [50].

O produto final tem cerca de 45 a 80% de asfalto, 1% de emulsionante e o restante de água.

A separação da fase água do asfalto é denominada de quebra ou ruptura. Conforme o tempo de separação da água, tem-se três classes de emulsões: de ruptura rápida RR (\pm 40 minutos), de ruptura média RM (\pm 2 horas) e de ruptura lenta RL (\pm 4 horas).

As emulsões se apresentam sob a forma de líquidos cuja cor varia do marrom-claro ao marrom-escuro.

O diâmetro das partículas de asfalto varia de 1 a 15

microns, com valores médios de 3 microns.

Dois são os tipos de emulsão, de acordo com a natureza do emulsionante.

As emulsões aniônicas têm o emulsionante constituído por oleato de sódio, resinato de potássio, com carga elétrica negativa nos glóbulos, sendo básica a fase aquosa. Nas emulsões cationicas, o emulsionante é constituído por um sal de amina ou poliamina graxa. A carga elétrica dos glóbulos é positiva sendo ácida a fase aquosa.

As emulsões cationicas são as mais utilizadas, embora as emulsões aniônicas sejam as mais antigas (1927).

Na quebra da emulsão, a coloração passa de marrom a preta. Após a ruptura, dá-se a evaporação da água, o que se pode chamar de cura.

O tempo de cura é variável, podendo ser estimado em 10 a 12 horas. Durante a cura devem ser proporcionados todos os meios para facilitar a evaporação.

As emulsões cationicas apresentam excelente adesividade para qualquer tipo de agregado, ácido ou alcalino, seco ou úmido, enquanto que as aniônicas só dão boa adesividade com materiais alcalinos ou levemente ácidos.

O material betuminoso, misturado com o solo, tem uma ação ligante, e/ou uma ação de impermeabilizante.

A ação ligante, unindo as partículas, aumenta a resistência do solo seco à compressão, até um limite percentual à partir do qual pode passar a fazer o papel de lubrificante. O excesso de emulsão faz cair drasticamente a

resistência.

A ação impermeabilizante aumenta a durabilidade do solo aditivado com emulsão asfáltica.

2.5.3 - Estabilização Granulométrica

A finalidade da estabilização granulométrica de um solo é o de se obter determinadas condições de granulometria e limites físicos desejados. Se um solo isoladamente não satisfaz a estas condições, recorre-se à mistura de dois ou mais solos.

Para obtenção da granulometria final da mistura, recorre-se a diversos métodos [69]:

- 1 - Analítico;
- 2 - Gráfico
 - a - triângulo equilátero;
 - b - das aproximações sucessivas;
 - c - do índice de plasticidade e limite de liquidez;
 - d - Rothfuchs.

Método analítico - consiste na escolha de uma determinada granulometria para a mistura final, que deve conter uma certa quantidade de agregado grosso, de agregado fino e de material abaixo de 0,074 mm. E através da resolução de equações que se obtém a percentagem correspondente a cada material, que deve conter a mistura final.

No caso de dois materiais - chama-se ao primeiro

material de 1 e ao segundo de 2. Assim o material 1 (solo arenoso) entra na mistura com X%; e material 2 (solo argiloso) entra com Y%. Cada um destes materiais conterà certa quantidade de agregado grosso, fino e abaixo de 0,074 mm. Deve-se escolher uma determinada granulometria para mistura final, que conterà uma certa quantidade A de agregado grosso, uma B agregado fino e uma quantidade C de agregado abaixo de 0,074 mm. Conforme o quadro abaixo:

Componentes	Material 1	Material 2	Material Estab.
Agregado grosso	a	d	A
Agregado fino	b	e	B
Abaixo de 0,074 mm	c	f	C
Total	1	1	1
% de mistura	X	Y	

Estabelecem-se as seguintes equações:

- 1) $Xa + Yd = A$
- 2) $Xb + Ye = B$
- 3) $X + Y = 1$

Resolvendo, vem:

$$Y = (Ab - Ba)/(bd - ea)$$

$$X = 1 - Y$$

Métodos Gráficos

O Método do triângulo equilátero

No método do triângulo equilátero, obtém-se a granulometria do material estabilizado através da figura de um triângulo equilátero. É um método pouco utilizado devido a sua complexidade e detalhes sobre esse assunto pode ser encontrado em [69].

O método das aproximações sucessivas - consiste em traçar-se no gráfico de distribuição granulométrica, as curvas limites do material da especificação e as curvas dos solos a serem misturados. Numa primeira tentativa escolhem-se as percentagens X, Y e Z a misturar dos materiais. Tais percentagens são multiplicadas pelas percentagens respectivas de cada material que passa numa peneira considerada. Somadas estas percentagens obtidas, tem-se as percentagens, em cada peneira, do material resultante da mistura. Traça-se a curva do material resultante e verifica-se se ela está compreendida entre os dois limites da especificação. Caso esteja, é um material estabilizado. Se não estiver, repetir-se-ão as operações com novos valores de X, Y e Z.

O método gráfico do índice de plasticidade e do limite de liquidez - envolve um gráfico em que, na abscissa, estão os índices de plasticidade e o limite de liquidez e, na ordenada, as porcentagens de material coesivo; sendo que o índice de plasticidade do menos coesivo é tomado como 0% de solo coesivo e o de maior plasticidade como 100% de solo coesivo.

A linha que liga os dois pontos, representa a variação do índice de plasticidade das combinações do solo coesivo como se vê na Figura 2.5.

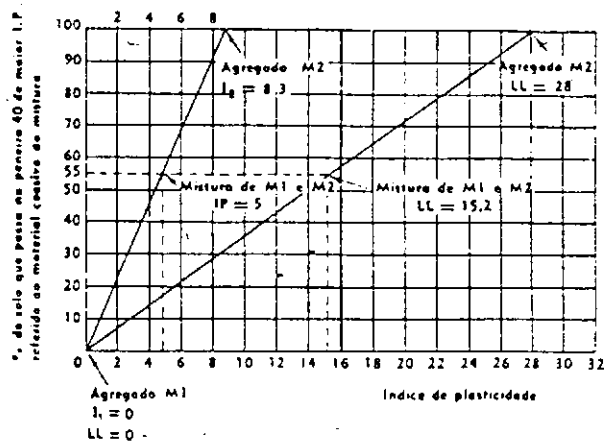


Figura 2.5 - Gráfico do índice de plasticidade e limite de liquidez.

Desejando-se uma mistura cujo o IP seja igual a 5 e tendo as proporções de solo coesivo abaixo:

45% de solo cujo IP seja igual a 0 (M_1).

55% de solo cujo IP seja igual a 8,3 (M_2).

Admitindo que 15,2% de M_1 e 48,3% de M_2 passam na peneira 40, considerando 100 Kg de solo coesivo, de IP = 5, ele conterá 45 Kg de solo M_1 e 55 Kg de solo M_2 . Portanto, passando 15,2% de M_1 na peneira 40, a quantidade necessária para produzir 45 Kg de solo coesivo M_1 e 55 Kg de M_2 , e respectivamente:

$$\begin{aligned}
 (45/15,2) * 100 &= 296 \text{ Kg} \\
 (55/48,3) * 100 &= 114 \text{ Kg} \\
 \hline
 &410 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

A combinação de M_1 com M_2 deve ter a granulometria e o índice de plasticidade correspondente a uma faixa de solo especificada, assim as proporções de M_1 e M_2 totais serão:

$$M_1 = (296/410) * 100 = 70\%;$$

$$M_2 = (114/410) * 100 = 30\%.$$

O método de Rothfuchs

O método de Rothfuchs, é o método mais usado e de aplicação geral para o caso de dois ou três solos, e consiste no seguinte:

a) calcula-se a curva granulométrica média do material estabilizado que se deseja obter pela mistura de dois ou três materiais;

b) desenha-se em um papel milimetrado, um sistema de eixos coordenados, marcando-se, na ordenada, as porcentagens que passam de 0% a 100%, em escala aritmética;

c) na linha horizontal que corresponde a 100% da porcentagem que passa, escolhe-se um ponto arbitrário qualquer K;

d) liga-se O a K, obtendo-se a reta OK, que representará a granulometria que se deseja para a mistura;

e) no eixo horizontal das abscissas, marca-se a abertura das peneiras, cuja escala é determinada, marcando-se sobre OK as porcentagens que passam do material estabilizado médio e baixando-se ordenadas até o encontro do eixo horizontal, que corresponde à abscissa, obtendo-se as aberturas das peneiras tais como n^o 200, 40, etc., como se pode ver na Figura 2.6.

f) no gráfico obtido, desenham-se as curvas granulométricas dos materiais a misturar;

g) para cada curva, tracam-se retas de tal modo que as áreas S_1 e S_2 , situadas para cima e para baixo da reta

construída, sejam aproximadamente iguais.

h) ligam-se os pontos extremos D e A de cada reta por uma outra reta, obtendo-se DA, que corta a diagonal OK no ponto E;

i) as porcentagens dos materiais a misturar são fornecidas por esse ponto E. Como se pode observar na Figura 2.6.

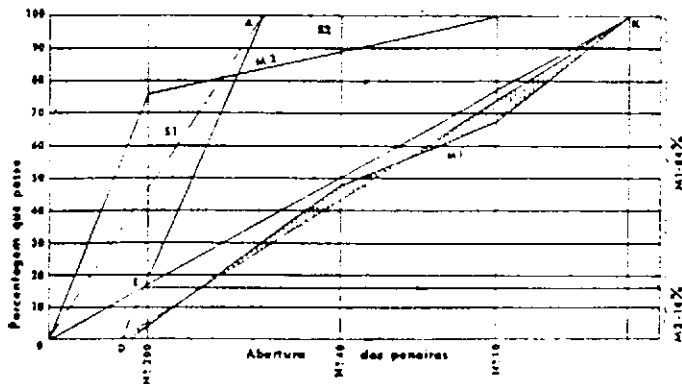


Figura 2.6 - Gráfico de Rothfuchs.

2.6 - Tijolos de Terra Crua

Os tijolos prensados de terra crua, moldados em prensa de alta performance, tem sido extensivamente estudados no "Laboratório Geomateriaux", na França [4,9-12].

Diversos fatores influem no desempenho de tijolos prensados.

Olivier e Mesbah [4] estudaram a influência de alguns deles sobre a resistência da terra usada na forma de blocos prensados.

Procuraram realizar testes que relacionassem as características mecânicas dos tijolos, com a densidade seca, percentagem de água, pressão de prensagem e resistência de compressão, levando em conta os fatores:

- tipo de solo (Tipo e quantidade de argila, percentagem de areia);

- tipo e percentagem de aditivo (cal, cimento);

O ensaio realizado foi o de compressão estática, sob diferentes pressões e teores de água. As amostras foram mantidas durante 15 dias em condições de temperatura e higrometria conhecidas, em seguida executou-se o ensaio de resistência a compressão.

Os testes mostraram que, independentemente do tipo do solo, a forma de estabilizá-los ou as tensões de compressão aplicadas, a umidade ótima na compressão estática corresponde ao mesmo tempo a densidade seca máxima e a resistência de compressão máxima. Entretanto, a percentagem de água é o parâmetro no qual o processo de fabricação de tijolos prensados deve se basear e não na densidade seca. Ao variar-se a percentagem de água em 2 a 3% ocorre uma diminuição de 30 a 50% da máxima resistência a compressão, enquanto a densidade seca varia em apenas 5%.

Com relação a influência da percentagem de água, os melhores resultados são obtidos para a umidade ótima na compressão estática ou umidade ótima de compactação mais um por cento.

O tipo de argila é um parâmetro muito importante, visto que em solos contendo uma considerável percentagem de

caolim é muito sensível a estabilização com cimento. Já a argila montmorilonita, conforme testes apresentados em [4], mostrou melhor desempenho quando se usa como aditivo 4% de cal e 2% de cimento. A cal sozinha teve pouco efeito. Solos contendo em sua maioria ilita, reagem muito bem com o cimento.

Com referência à energia de prensagem o solo caulinitico não é muito sensível à variação da tensão de compressão da prensa, ao contrário dos solos contendo em sua maioria montmorilonitas. Nestes últimos o acréscimo da pressão conduz a significativos ganhos de resistência.

A percentagem relativa de pedregulho, areia, silte e argila também é um parâmetro importante. Quando a prensa desenvolve uma tensão considerável (15 a 25 MPa), torna-se quase impossível o uso de solos com mais de 30% de argila, porque, durante a compressão, o ar e a água não têm tempo suficiente para sair. Então as fissuras horizontais aparecem quando os tijolos são retirados dos moldes. É necessário, então, adicionar areia e/ou pedregulho ao solo para ele ficar mais poroso. Por outro lado, com pequena pressão manual pode-se usar apenas solos argilosos, porque a coesão da argila segura o material do tijolo.

Assim, é aconselhável usar uma prensa com tensão de prensagem média da ordem de 2 a 10 MPa que permite a utilização de uma ampla faixa de solos, e podem garantir uma boa resistência dos tijolos comprimidos.

Os trabalhos de Olivier e Mesbah [4-12] mostram que os solos mais adequados para a produção de tijolos

comprimidos devem conter 50 a 70% de areia e 15 a 30% de argila.

A densidade seca pode não ser o melhor parâmetro de referência que garanta a qualidade dos tijolos comprimidos. Um solo caulinitico não estabilizado pode obter uma densidade razoavelmente alta (2 a 2,1), porém uma resistência menor. Ao contrário dos solos montmoriloníticos não-estabilizados que têm uma baixa densidade (1,7 a 2) mas uma boa resistência seca (3 a 5 MPa), por causa da coesão das argilas. Por outro lado, o solo estabilizado apresenta uma densidade seca menor que aqueles não estabilizados (-2 a -5%), mas uma melhor resistência.

A granulometria também influencia na densidade seca, que é função decrescente da percentagem de argila. Portanto, a densidade alta obtida com prensa de alta-compressão, que usa solos arenosos, não é uma garantia de boa qualidade.

A influência da forma de mistura da terra com a água e os aditivos foi estudada em [11].

Com referência à mistura, foram testados três tipos:

- "mistura industrial" - feita com misturadora elétrica;

- mistura manual cuidadosa - feita com cuidado e a água aplicada através de pulverizador;

- mistura manual "in situ" - a água aplicada com regador.

Em cada caso séries de tijolos foram moldados e estudados.

Os resultados mostraram uma queda de 24% e 33% na resistência máxima das misturas manuais cuidadosa e "in situ" com referência à mistura mecânica, no caso do material sem nenhum aditivo.

Empregando-se cimento estas diferenças caíram para 15 e 20% respectivamente.

Isto mostra a necessidade de, no processo de mistura manual, procurar-se ter os maiores cuidados de forma a promover a melhor uniformidade possível para a mistura solo-água-aditivos. O uso de pulverizador é aconselhável, pois evita a formação dos pequenos torrões de argila.

CAPÍTULO III

MATERIAIS DE BASE E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Apresentam-se a seguir as características dos materiais utilizados neste trabalho e também os equipamentos empregados na fabricação e testes dos tijolos.

3.1 - Materiais de base

Os materiais utilizados neste trabalho de pesquisa foram quatro solos de origem variada, fibras de sisal, os aditivos cal e emulsão asfáltica, além de água.

3.1.1 - Solos

Com o fim de se ter uma idéia aproximada dos solos disponíveis no Estado da Paraíba, com referência ao, percentual de areia existente em sua granulometria, foi elaborado o mapa do anexo A. Este foi obtido com base em informações fornecidas pelo boletim técnico da SUDENE (DRN)[57]. Por falta de um levantamento dos solos in locu, que consistisse no estudo, identificação, mapeamento, compilação, análise e interpretação dos dados referentes as suas propriedades e suas interrelações. Fez-se uma adaptação do mapa de levantamento exploratório dos solos do

Estado da Paraíba que é usado para fins agrícolas. E desta forma se ter uma estimativa da distribuição dos solos, apesar de não se ter uma informação precisa destas ocorrências.

No mapa citado os solos foram classificados da seguinte forma:

- A - Percentagem de areia inferior a 30%
- B - Percentagem de areia entre 30 e 50%
- C - Percentagem de areia entre 50 e 75%
- D - Percentagem de areia superior a 75%
- R - Afloramento de rochas (100% de rochas).

Para este trabalho foram selecionados quatro tipos de solos em localidades diferentes no Estado da Paraíba. Obteve-se material de jazidas situadas em João Pessoa, Campina Grande, Taperoá e Areia, como mostra a Figura 3.1.

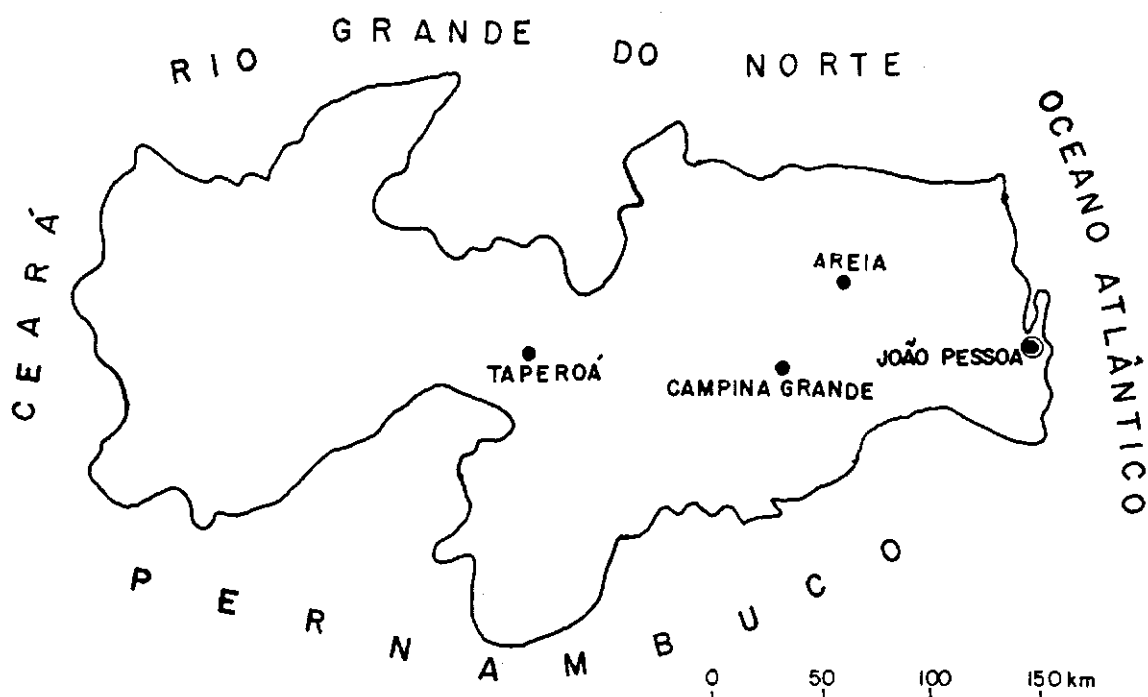


Figura 3.1 - Mapa do Estado da Paraíba indicando as cidades de origem dos solos selecionados.

Os solos escolhidos foram adquiridos em depósitos de materiais de construção. Estes são comumente empregados nas construções locais, sendo facilmente disponíveis.

3.1.1.1 - Características físicas

Para a caracterização dos solos foram feitos os ensaios indicados na Tabela 3.1, de acordo com a norma especificada:

Tabela 3.1 - Ensaio de caracterização dos solos.

ENSAIO	NORMA
Granulometria por peneiramento e sedimentação.	ABNT (NBR-7181) [52]
Compactação (Proctor normal) (umidade ótima- W_{ot} e massa específica aparente seca máxima- f_{smax}).	ABNT (NBR-7182) [53]
Limites de Atterberg:	
-Limite de liquidez.	ABNT (NBR-6459) [54]
-Limite de Plasticidade.	ABNT (NBR-7180) [55]
Massa específica Real.	ABNT (NBR-6508) [56]

Os resultados obtidos estão indicados na Tabela 3.2, onde se indica também a coloração e as classificações Unificada e HRB.

Tabela 3.2 - Características dos solos.

GRANULOMETRIA - ABNT (%)	TAPEROA	JOAO PESSOA	C. GRANDE	AREIA
Pedregulho (acima de 4,8 mm)	,17	,06	,40	,10
Areia grossa (4,8 a 0,84 mm)	3,38	6,94	13,60	23,90
Areia média (0,84 a 0,25 mm)	30,40	26,00	30,00	40,00
Areia fina (0,25 a 0,05 mm)	34,00	22,00	40,50	28,50
TOTAL DE AREIA	67,78	54,94	84,10	91,90
Silte	18,10	10,50	9,70	4,00
Argila	13,50	34,50	5,80	4,00
Silte + argila	31,60	45,00	15,50	8,00
NASSA ESPECIFICA DOS GRAOS (g/cm³)	2,790	2,677	2,637	2,635
LIMITES DE ATTERBERG:				
Limite de Liquidez - LL (%)	23,50	30,40	NL	NL
Limite de Plasticidade - LP (%)	17,10	18,00	NP	NP
Índice de Plasticidade - IP (%)	6,40	12,40	-	-
COLORAÇÃO	Castanho amarelado	Amarelo castanho	Beje escuro	cinza
CLASSIFICAÇÃO UNIFICADA	SM - SC Areia silto-argilosa.	SC Areia argilosa.	SM Areia siltosa	SM Areia siltosa
CLASSIFICAÇÃO HRB	A-4	A-6	A2 - 4	A2 - 4
COMPACTAÇÃO - p_{smax} (g/cm³)	18,62	18,85	19,80	20,20
- w_{ot} (g/cm³)	14,00	14,00	6,80	7,00

Pode-se notar que os solos de Campina Grande e Areia são muito arenosos, requerendo uma correção granulométrica para serem empregadas na fabricação de tijolos comprimidos. Já os solos de Joao Pessoa e Taperoá apresentam maior percentagem de argila.

A Figura 3.2 mostra as curvas granulométricas dos quatro solos estudados e sua posição em relação à faixa considerada apropriada à confecção de blocos prensados de terra crua, indicada em [51].

A área hachurada horizontalmente indica o tipo de

GRÁFICO PARA ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

DO SOLO USADO EM CEBs

- Taperoá
- João Pessoa
- Campina Grande
- Areia

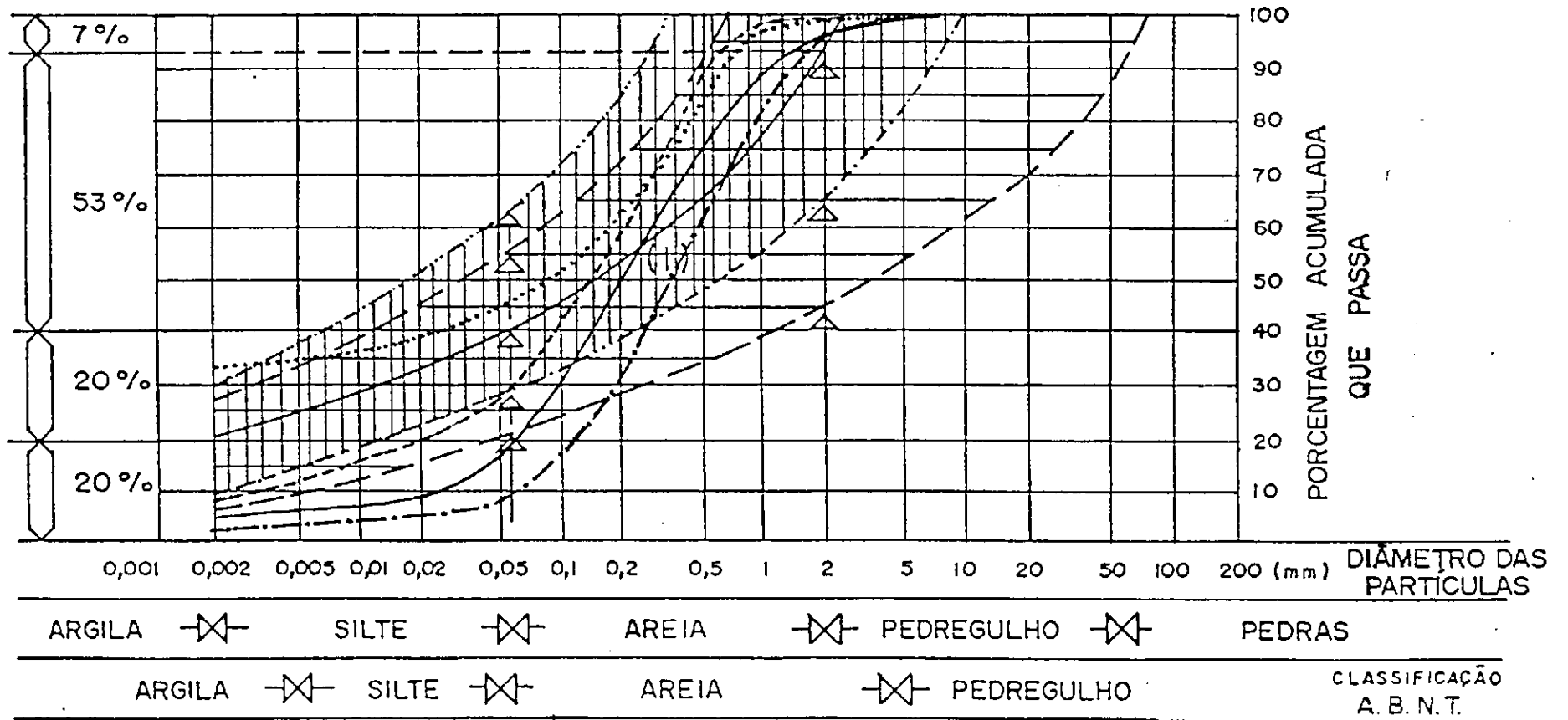


Figura 3.2 - Curvas granulométricas dos solos de Taperoá, João Pessoa, Campina Grande e Areia.

solo que pode ser utilizado para construção de terra comprimida; enquanto que a área hachurada verticalmente mostra os solos apropriados para a produção de blocos comprimidos. A área de intersecção indica as melhores curvas granulométricas de solos mais apropriados para o uso na construção civil, e a curva (I) que passa na parte média simboliza um tipo de solo de granulometria ideal.

Pode-se observar que as curvas granulométricas dos solos de Joao Pessoa e Taperoá encontram-se, quase que totalmente, dentro da área de intersecção. O solo de Joao Pessoa apresenta uma percentagem que passa de 35% de material de diâmetro inferior à 0,005 (mm), que não se encontra dentro da faixa especificada, enquanto que o solo de Taperoá apresenta menos que 30% passando de silte + argila correspondente ao diâmetro inferior à 0,05 (mm) fora da faixa de intersecção mais que ainda se encontra dentro da faixa dos solos utilizados na construção com terra comprimida.

Nota-se também que os solos de Campina Grande e Areia são muito arenosos, necessitando de uma percentagem maior de finos (silte + argila) que promova a coesão necessário para a moldagem do solo quando empregados na confecção de tijolos comprimidos. Assim, tais solos requerem uma correção granulométrica para serem empregadas com esta finalidade. Já os solos de Joao Pessoa e Taperoá apresentam maior percentagem de argila.

A Tabela 3.3 faz comparação entre alguns parâmetros dos solos em questão e aqueles considerados ideais em [12].

Nota-se que o solo de Joao Pessoa apresenta um índice de plasticidade quase duas vezes maior que o de Taperoá, significando que tem maior coesao e apresenta menor estabilidade volumétrica.

Tabela 3.3 - Comparação entre os valores considerados ideais em [12] e os parâmetros dos solos estudados

L O C A L	SILTE (%)	ARGILA (%)	ARGILA + SILTE (%)	AREIA (%)	L.L.	I.P.
João Pessoa	10,50	34,50	45,00	54,94	30,40	12,40
Taperoá	18,10	13,50	31,60	68,00	23,50	6,40
Campina Grande	9,70	5,80	15,50	84,10	NL	-
Areia	4,00	4,00	8,00	91,90	NL	-
Valores ideais indicados em [12]	25,00	15-30 25,00	50,00	50-70 50,00	25-30	7-15

3.1.1.2 - Características químicas

A composição química dos solos também foi determinada. De cada um deles foi preparada uma amostra da seguinte maneira: tomou-se uma quantidade de 50 g de solo, peneirou-se na malha 200 (0,074mm.) e em seguida ela foi colocada na estufa a 110°C por 24h. Após secagem, o material foi encaminhado ao Laboratório de Análises Minerais da UFPb, em Campina Grande, que forneceu os valores indicados na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Composição Química dos Solos.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA	TAPEROÁ	JOÃO PESSOA	C. GRANDE	AREIA
PR (Perda ao Rubro)	7,70%	8,14%	1,06%	2,88%
RI (Resíduo Insolúvel)	2,48%	0,80%	0,20%	0,78%
SiO ₂ (Óxido de Silício)	67,06%	70,14%	87,10%	87,76%
Fe ₂ O ₃ (Óxido de Ferro)	5,23%	2,48%	0,61%	0,69%
Al ₂ O ₃ (Óxido de Alumínio)	14,72%	18,57%	7,49%	6,51%
CaO (Óxido de Cálcio)	NIHILLX	TRACOSX	TRACOSX	TRACOSX
MgO (Óxido de Magnésio)	1,19%	NIHILLX	0,49%	NIHILLX
Na ₂ O (Óxido de Sódio)	0,54%	NIHILLX	1,20%	0,40%
K ₂ O (Óxido de Potássio)	0,54%	0,06%	2,02%	0,78%

Os solos de João Pessoa e Taperoá apresentam composições químicas similares às argilas usadas na cerâmica vermelha [58].

De acordo com os resultados da análise química destes solos observa-se que: embora a percentagem de SiO₂ seja alta não significa propriamente que estes solos não tenham nenhuma plasticidade. Possivelmente o SiO₂ é devido a silicatos sob a forma de argilominerais, feldspatos ou micas.

A perda ao rubro em torno de 7 e 8% dos solos de João Pessoa e Taperoá pode ser um indicativo de que o material seja argiloso, o que é coerente com os limites de Atterberg indicados na Tabela 3.3.

No solo de Taperoá o limite de liquidez em torno de 23,50% e índice de plasticidade de 6,40% podem ser explicados por uma percentagem alta de agentes fundentes (Fe₂O₃+MgO+Na₂O+K₂O) igual a 7,5%, associado a uma boa percentagem de sílica livre.

Nos solos de Campina Grande e Areia a percentagem de SiO₂ é bastante alta provavelmente sob a forma de sílica

livre. Estes não apresentam plasticidade e são solos predominantemente arenosos.

3.1.1.3 - Características mineralógicas

Para a identificação mineralógica das argilas, foi efetuado o ensaio de análise térmica diferencial (ATD), no Laboratório de Solos I da UFPb, Campina Grande.

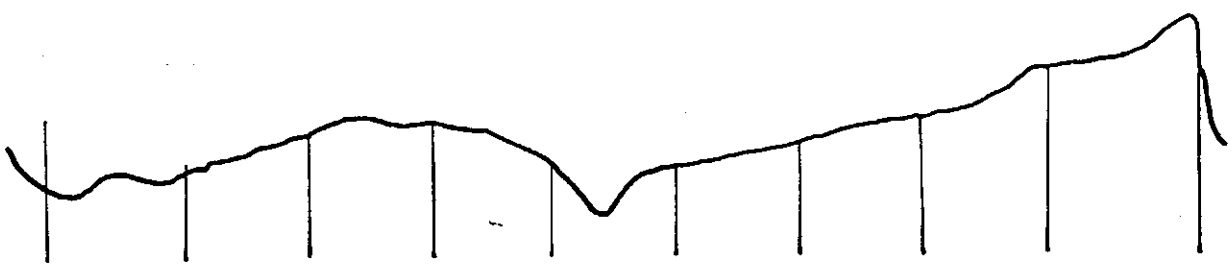
As amostras consistiam de cerca de 20 g de material passado na peneira nº 200 ABNT e acondicionadas em vidros hermeticamente fechados a fim de evitar a umidificação e carbonatação.

Foi utilizado um Deltatherm III, com velocidade de aquecimento de 10°C/min desde a temperatura ambiente até o limite de 1000°. O registrador gráfico operou com a sensibilidade de 10 x 2v e velocidade de registro de 120 mm/h.

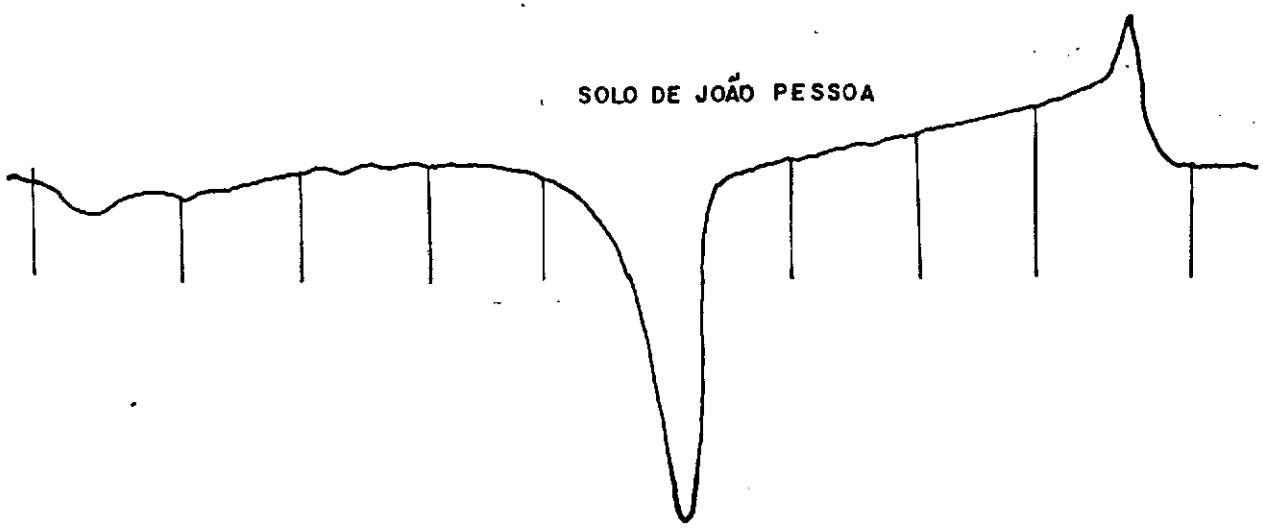
Foram realizados os ensaios segundo método de Sousa Santos [58]. As amostras analisadas foram as quatro de solos e uma amostra de cal.

As curvas das análises térmicas diferenciais estão representadas na Figura 3.3. Para cada uma delas indica-se o seu comportamento térmico-qualitativo.

SOLO DE TAPERÓÁ



SOLO DE JOÃO PESSOA



SOLO DE CAMPINA GRANDE



SOLO DE AREIA



CARBOMIL

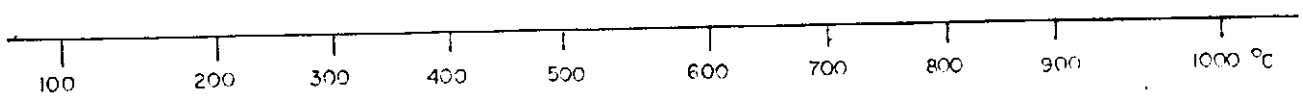


FIGURA 3.3 - Curvas de Análise Térmica Diferencial das Amostras de Solos.

Solo de Taperoá

Curva ATD do solo de Taperoá - Observa-se a presença de um pequeno pico endotérmico a 120°C característico de água livre; um pequeno pico endotérmico, característico de água adsorvida, grande banda entre 270 a 460°C, característico da combustão de matéria orgânica, pequeno pico endotérmico a 540°C, característico da perda de hidroxilas, grande pico exotérmico a 1000°C, característico da nucleação de mulita. Provavelmente trata-se de uma caulinita mal cristalizada com matéria orgânica.

Solo de Joao Pessoa

Curva ATD do solo de Joao Pessoa - Observa-se a presença de um pico endotérmico a 100°C, característico da perda de água livre; grande pico endotérmico a 580°C, característico da perda de hidroxilas; pequeno pico exotérmico a 940°C, característico da nucleação de mulita. Provavelmente trata-se de uma caulinita bem cristalizada.

Solo de Campina Grande

Curva ATD do solo de Campina Grande - Observa-se a presença de uma grande banda exotérmica entre 250 a 500°C, característico da combustão de matéria orgânica; pequeno pico exotérmico a 550°C, característico da perda de hidroxilas; pequeno pico endotérmico a 560°C, característico da transformação do quartzo gama em quartzo beta. Termograma com pequena quantidade de argilomineral

indeterminado, quartzo e matéria orgânica.

Solo de Areia

Curva de ATD do solo de Areia - Observa-se a presença de uma grande banda entre 96°C a 260°C , característica de perda de água livre; uma grande banda exotérmica entre 260°C a 490°C , característica da combustão de matéria orgânica; pequeno pico endotérmico a 550°C ; característico da perda de hidroxilas; um pequeno pico exotérmico a 910°C , característico da nucleação de mulita. Provavelmente trata-se de uma caulinita com matéria orgânica.

Cal Carbomil

Curva ATD n^o1 - Observa-se a presença de um grande pico endotérmico a 530°C , característico da perda de hidroxilas do $\text{Ca}(\text{OH})_2$; pequeno pico endotérmico a 780°C , característico da decomposição de CaCO_3 .

3.1.2 - Fibras de Sisal

A cultura do sisal é originária do México. O seu nome vem da cidade portuária de Yucatan e significa água fria. Os índios Maias cultivavam o agave, antes da dominação do europeu, e utilizavam-no na produção de cordas, tapetes e vestuário.

Em 1833 o cônsul americano em Yucatan, Dr. Henry Perrine enviou mudas de AGAVE FOURCROYDES (Henequén), para que fossem plantadas na Europa, onde se adaptaram ao novo ambiente. O Agave fourcroydes sofreu mutações naturais originando a agave sisalana. Em 1838, Perrine obteve, em congresso, a aprovação do nome sisal para esta planta.

Iniciou-se em 1888, nas Bahamas, a produção comercial do sisal.

Em 1893 várias mudas foram enviadas para a África. Inicialmente foram plantadas na Tanzânia, em seguida o cultivo do sisal espalhou-se rapidamente para outras partes da Europa, Sul da Ásia Oriental e Indonésia.

Hoje conhecem-se cerca de 57 espécies do gênero e cerca de 300 variedades.

A agave sisalana é uma agavácea, de folhas ponteagudas, muito grandes e dispostas como no abacaxi, em forma de roseta. A agave apresenta folhas cinza-verde, linear lanceolada com 8 a 10 cm de largura e 150 a 250 cm de comprimento, conforme mostra a Figura 3.4 [59]. O Tempo de vida da agave sisalana é de 7 a 15 anos CEPED [60].



Figura 3.4 - Agave sisalana

Os componentes da folha do sisal e seu aproveitamento são mostrados na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Composição da folha de sisal e da sua utilização

F O L H A		
Mucilagem: 15%	Fibra 3% e Bucha 1%	Suco: 81%
Ração	Chapéus	Açúcar
Adubo	Sacarias	Alcool
Combustão	Tapetes	Herbicida
	Barbantes e cordas	Biogás
	Bolsas	Sabão
	Cestos	Shampoo
	Vassouras	Beta-caroteno
		Espuma p/ extintor

Os principais produtores mundiais são: o Brasil, a Indonésia, e os países da África Oriental. A espécie mais cultivada no Brasil é a Agave sisalana perrine, com uma produção de aproximadamente de 290.000 toneladas. O

Nordeste é a principal região produtora e os Estados da Bahia e Paraíba foram em 1990 responsáveis por 95.5%.

A fibra de sisal utilizada na pesquisa foi a Agave Sisalana Perrine, município de Monteiro-Pb.

3.1.2.1 - Propriedades físicas das fibras de sisal

As propriedades físicas das fibras de sisal foram estudadas na Universidade Federal da Paraíba por Barreto e Toledo Filho [61-62] e aqui apresenta-se um resumo do que foi tratado.

3.1.2.1.1 - Comprimento das fibras.

Adotou-se a classificação usada pelos produtores de sisal para a definição do comprimento das fibras:

- a) Fibra curta - menor que 600mm.
- b) Fibra média - 600 a 700mm.
- c) Fibra longa - maiores que 700mm.

A Tabela 3.6 mostra a faixa de variação, o valor médio e o coeficiente de variação do comprimento da fibra de sisal.

Tabela 3.6 - Comprimento das fibras de sisal

Fibra	Comprimento (mm)			Média (mm)	Cv (%)
	Min	-	Max		
Sisal longa	709	-	940	862	6,6
Sisal média	610	-	700	661	3,8
Sisal curta	382	-	600	543	12,7

3.1.2.1.2 - Diâmetro

A Tabela 3.7 mostra a faixa de variação, o valor médio e o coeficiente de variação do diâmetro das fibras de sisal pelo método do paquímetro e do retroprojektor.

Tabela 3.7 - Diâmetro das fibras de sisal pelos processos: Paquímetro e retroprojektor.

Instrumento	Diâmetro (mm)		Média (mm)	CV (%)
	Min	max		
Paquímetro	0,05	0,33	0,16	23,8
Retroprojektor	0,08	0,42	0,15	26,3

A Figura 3.5 mostram as fotografias das fibras de sisal ampliadas 19 e 54 vezes. As fotos foram feitas no Instituto Nacional de Tecnologia (I N T), Rio de Janeiro.

3.1.2.1.3 - Teor de umidade natural

A Tabela 3.8 mostra a faixa de variação, o valor médio e o coeficiente de variação do teor de umidade natural das fibras de sisal.

Tabela 3.8 - Teor de Umidade Natural da fibra de sisal

Umidade Natural (%)		Média (%)	CV (%)
Min	Max		
10,97	14,84	13,28	8,9

Agopyan [63] apresenta valores de teor de umidade natural das fibras de sisal variando entre 8,7-9,5%.

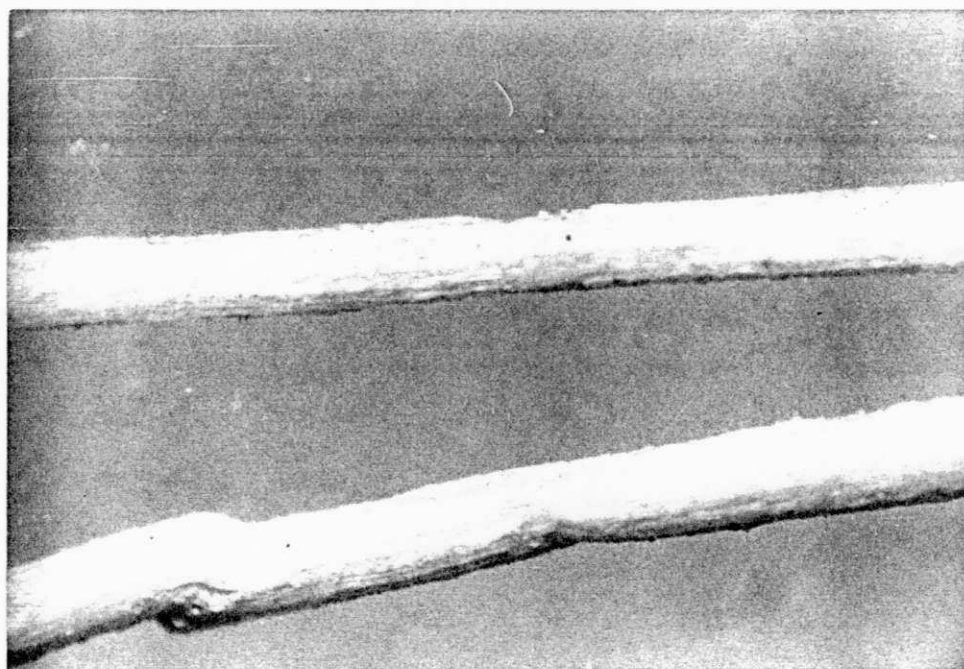
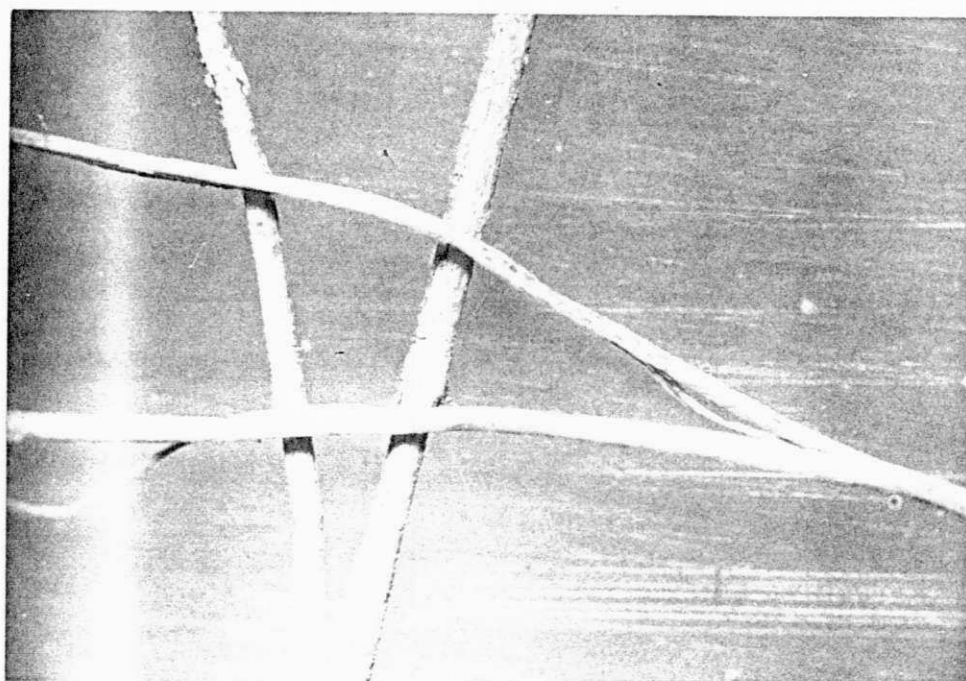


Figura 3.5 - Fibra de sisal ampliada 19 vezes (acima) e fibra de sisal ampliada 54 vezes (abaixo).

Mukherjee e Satyanarayana [64] apresentam valor de teor de umidade para a fibra de sisal de 11%, dentro da faixa de variação obtida para o sisal da Paraíba. Cumpre lembrar que o teor de umidade natural das fibras varia com temperatura e umidades do meio ambiente.

3.1.2.1.4 - Peso específico das fibras de sisal

A Tabela 3.9 mostra a faixa de variação, o valor médio e o coeficiente de variação do peso específico das fibras de sisal.

Tabela 3.9 - Peso específico das fibras de sisal

Peso Específico (g/cm ³)			Média (g/cm ³)	CV (%)
Min	-	Max		
0,80	-	1,07	0,93	8,9

Em [63] têm-se valores de peso específico das fibras de sisal variando entre 1,21-1,31 (g/cm³), e em [64] apresentam um valor de 1,45 g/cm³. O CEPED [60] mostra um valor de 1,27 g/cm³.

A metodologia do ensaio para a determinação do peso específico das fibras de sisal pode ser vista com mais detalhes nas referências [61,62].

3.1.2.1.5 - Absorção de água pelas fibras de sisal

A absorção de água pelas fibras de sisal foi calculada através da equação:

$$ABS = [(Ph - Pa) / Pa] \times 100 (\%) \quad (3.1)$$

Onde: Ph é o peso das fibras após imersão em água.

Pa é o peso das fibras secas ao ar.

A Figura 3.6 mostra a variação da absorção de água pelas fibras de sisal com o tempo de imersão.

A fibra de sisal tem grande capacidade de absorver água atingindo a saturação após 12 dias de imersão.

O CEPED [60] apresentou um valor de absorção de água para a fibra de sisal de 240%, após saturação.

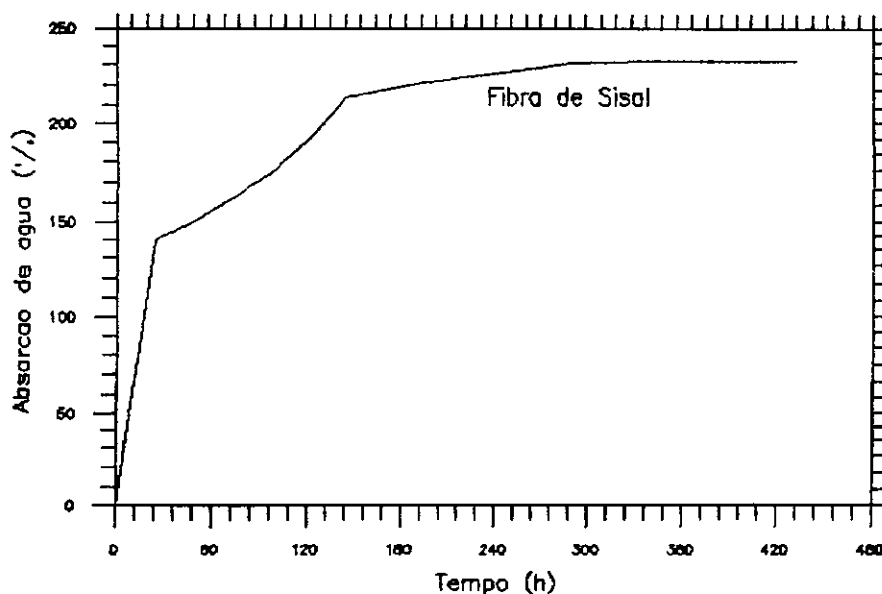


Figura 3.6 - Absorção de água pelas fibras de sisal [62].

3.1.2.1.6 - Variações Dimensionais

As variações dimensionais longitudinal e transversal ocorridas em virtude da absorção de água pelas fibras de sisal foram determinadas com auxílio de um paquímetro. A Tabela 3.10 mostra os valores obtidos por Barreto e Tolêdo

Filho [61].

Tabela 3.10 - Variação Dimensional das fibras de sisal nas direções: longitudinal e transversal.

Direção	Variação Dimensional (%)					
	24h	48h	72h	96h	168h	192h
Longitudinal	0,54	0,71	0,80	0,84	0,86	0,86
Transversal	5,00	7,80	11,10	12,90	14,10	14,60

Nota-se que as variações dimensionais longitudinais das fibras são insignificantes. As maiores ocorrem no sentido diametral e são inferiores a 15%.

3.1.2.2 - Propriedades Mecânicas das Fibras de Sisal

3.1.2.2.1 - Resistência à tração das fibras de sisal

Tabela 3.11 mostra o intervalo de variação, o valor médio e o coeficiente de variação dos resultados de resistência à tração das fibras de sisal.

Tabela 3.11 - Tensão deformação na ruptura das fibras de sisal.

Fibra	lo (cm)	Diâmetro médio (cm)	Tensão (MPa)		Tensão Média - CV (MPa) - (%)		Deformação - CV (%) - (%)	
			Min	Max				
Sisal longa	6,5	0,015	401	1013	671	27,4	6,6	36,4
Sisal curta	6,5	0,013	326	974	662	27,9	5,6	26,5

O CEPED [60] apresentou, para fibra de sisal com 45cm de comprimento, um valor de resistência à tração de 460 MPa e deformação média na ruptura de 4%.

Mukherjee e Satyanarayana [64] apresentaram, para

fibra de sisal com 6,5 cm de comprimento, valor de resistência à tração de aproximadamente 654 MPa com deformação na ruptura de 4,2%.

Nilsson [65] apresentou valor de resistência à tração de 620 MPa.

E de se notar o grande coeficiente de variação, por conta tanto da estrutura do próprio material vegetal, quanto pela dificuldade de determinação exata das dimensões das fibras e execução do ensaio.

3.1.2.2.2 - Durabilidade das fibras de sisal

Objetivando-se o uso de fibras em compósitos com cimento ou cal, que possuem componentes como Na_2O e K_2O , e que a durabilidade das mesmas podem variar dependendo da alcalinidade da água, foram realizados ensaios de resistência à tração em 30 corpos de prova das fibras de sisal, após diversos intervalos de tempo de imersão em três tratamentos:

- a) Solução de Hidróxido de Sódio (NaOH).
- b) Solução de Hidróxido de Cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$).
- c) Água de Torneira (H_2O).

Após a imersão as amostras foram secas ao ar durante 48 horas. Após a secagem, as fibras foram rompidas à tração em um dinamômetro.

A Tabela 3.12 mostra a variação, o valor médio e o coeficiente de variação dos resultados de resistência à

tração das fibras de sisal após 30, 60, 90, 120 e 210 dias de imersão em solução de Ca(OH)_2 .

Tabela 3.12 - Tensão e deformação na ruptura das fibras de sisal após imersão em solução de Ca(OH)_2 , durante 30, 60, 90, 120 e 210 dias.

Tempo (dias)	Fibra	l ₀ (cm)	Diâmetro médio (cm)	Tensão (MPa)		Tensão média - CV (MPa) - (%)		Deformação - CV (%) - (%)	
				Min	Max				
30	Sisal longa	6,5	0,012	301	981	557	32,2	5,9	17,5
	Sisal curta	6,5	0,014	306	973	665	36,5	6,4	14,7
60	Sisal longa	6,5	0,013	226	813	555	31,3	5,5	20,7
	Sisal curta	6,5	0,014	204	832	568	30,2	6,1	27,0
90	Sisal longa	6,5	0,013	177	863	506	36,5	4,8	2,2
	Sisal curta	6,5	0,014	204	832	568	30,2	6,1	27,0
120	Sisal longa	6,5	0,012	221	622	352	30,4	5,9	11,6
	Sisal curta	6,5	0,013	249	739	461	29,9	5,9	8,5
210	Sisal longa	6,5	0,011	119	420	217	42,1	4,4	24,2
	Sisal curta	6,5	0,013	102	592	270	35,3	4,8	11,4

Barreto [62] notou que as fibras de sisal longas e curtas imersas em solução de Ca(OH)_2 apresentaram uma perda progressiva da sua resistência com o tempo de imersão, chegando esta a ser da ordem de 60% aos 210 dias.

A Tabela 3.13 mostra a variação, o valor médio e o coeficiente de variação dos resultados de resistência à tração das fibras de sisal após 30, 60, 90, 120 e 210 dias de imersão em solução de Na(OH) . Ao contrário do caso anterior não se percebeu variação notável de resistência das fibras.

Barreto [62]

Tabela 3.13 - Tensão e deformação na ruptura das fibras de sisal após imersão em solução de Na(OH), durante 30, 60, 90, 120 e 210 dias.

Tempo (dias)	Fibra	lo (cm)	Diâmetro médio (cm)	Tensão (MPa)		Tensão média - CV (MPa) - (%)		Deformação - CV (%) - (%)	
				Min	Max				
30	Sisal longa	6,5	0,013	194	942	566	42,4	7,2	22,1
	Sisal curta	6,5	0,012	304	724	496	27,7	5,9	30,4
60	Sisal longa	6,5	0,014	221	792	556	29,2	6,7	25,8
	Sisal curta	6,5	0,012	280	789	584	30,2	5,5	13,6
90	Sisal longa	6,5	0,014	261	836	568	30,8	6,1	34,2
	Sisal curta	6,5	0,014	272	824	554	32,8	6,1	32,2
120	Sisal longa	6,5	0,013	276	723	530	27,0	7,7	23,1
	Sisal curta	6,5	0,012	217	802	497	34,4	5,9	8,4
210	Sisal longa	6,5	0,011	368	779	636	17,2	5,2	21,8
	Sisal curta	6,5	0,012	453	779	589	17,3	4,8	15,4

A tabela 3.14 mostra a variação, o valor médio e o coeficiente de variação dos resultados de resistência à tração das fibras de sisal após 30, 60, 90, 120 e 210 dias de imersão em água de torneira.

Tabela 3.14 - Tensão e deformação na ruptura das fibras de sisal após imersão em água de torneira, durante 30, 60, 90, 120 e 210 dias.

Tempo (dias)	Fibra	lo (cm)	Diâmetro médio (cm)	Tensão (MPa)		Tensão média - CV (MPa) - (%)		Deformação - CV (%) - (%)	
				Min	Max				
30	Sisal longa	6,5	0,013	289	917	539	36,7	6,6	15,6
	Sisal curta	6,5	0,013	337	973	586	30,4	6,7	17,3
60	Sisal longa	6,5	0,013	294	780	604	20,7	6,6	24,4
	Sisal curta	6,5	0,014	318	789	601	23,3	6,4	18,3
90	Sisal longa	6,5	0,016	283	989	620	31,7	5,9	21,1
	Sisal curta	6,5	0,014	215	935	591	34,8	6,6	16,8
120	Sisal longa	6,5	0,013	170	822	566	34,5	5,2	20,7
	Sisal curta	6,5	0,013	154	800	590	29,5	5,5	16,5
210	Sisal longa	6,5	0,013	407	789	671	16,3	4,7	22,8
	Sisal curta	6,5	0,012	307	817	557	32,3	4,9	13,0

Nota-se que as fibras de sisal não perderam resistência quando imersas em água de torneira até 210 dias.

Vê-se pois, que apenas o hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 comprometeu a durabilidade das fibras.

3.1.3 - Aditivos: Cal e Emulsão Asfáltica

Tijolos submetidos à presença de altas umidades têm necessidade da adição de algum material estabilizante na mistura solo-fibra. Neste trabalho, foram usados a cal e emulsão asfáltica.

3.1.3.1 - Cal

Foi utilizada a cal calcítica com baixo teor de MgO e alto grau de pureza CARBOMIL, cuja a análise química feita no Laboratório de Análise Mineralis é mostrada na Tabela 3.15.

Tabela 3.15 - Composição química da cal

C A R B O M I L	%
Perda ao fogo	23,91
SiO_2	0,70
CaO	68,19
MgO	2,19
Fe_2O_3	0,11
Al_2O_3	4,69
Na_2O	NIHILL
K_2O	NIHILL
Resíduo insolúvel	0,06

A cal foi fornecida pela empresa distribuidora TRANSAGRO, na cidade de Campina Grande.

A cal Carbomil é proveniente de Fortaleza, fabricada no município de Limoeiro do Norte - CE.

Usou-se uma cal comprovadamente nova, a fim de que suas propriedades originais não fossem alteradas. Por este motivo, a cal foi comprada parceladamente, ou seja, um saco de cada vez, em local onde o estoque era constantemente renovado. Acondicionou-se a cal em sacos plástico contendo em cada um 400g. Depois de retirado o ar estes foram lacrados, sendo em seguida armazenados em caixa de isopor hermeticamente fechada com a finalidade de evitar a carbonatação devido ao contacto com o CO₂ do ar. Os sacos eram abertos apenas no momento em que se utilizava o seu conteúdo nos ensaios.

3.1.3.2 - Emulsão asfáltica

A emulsão asfáltica utilizada na pesquisa compunha-se de cerca e 50 a 65% de asfalto, 1% de emulsionante e o restante de água, e classifica-se como sendo de ruptura média RM (\pm 2 horas)

A emulsão foi fornecida pela Prefeitura Municipal de Campina Grande.

3.1.4 - Agua

Utilizou-se água potável fornecida pela CAGEPA para o sistema de abastecimento local da cidade de Campina Grande-PB.

3.2 - Equipamentos

Foram utilizados equipamentos para misturar o solo, prensar os tijolos e ensaiar corpos de prova e tijolos.

3.2.1 - Misturador

O misturador elétrico usado na homogeneização do solo é da marca THE CRETEANGLE MULTI-FLOW MIXER, type SE-SPR, fabricado pela EDWARD BETON & COMPANY LIMITED.

O misturador de solo empregado é visto na Figura 3.7.

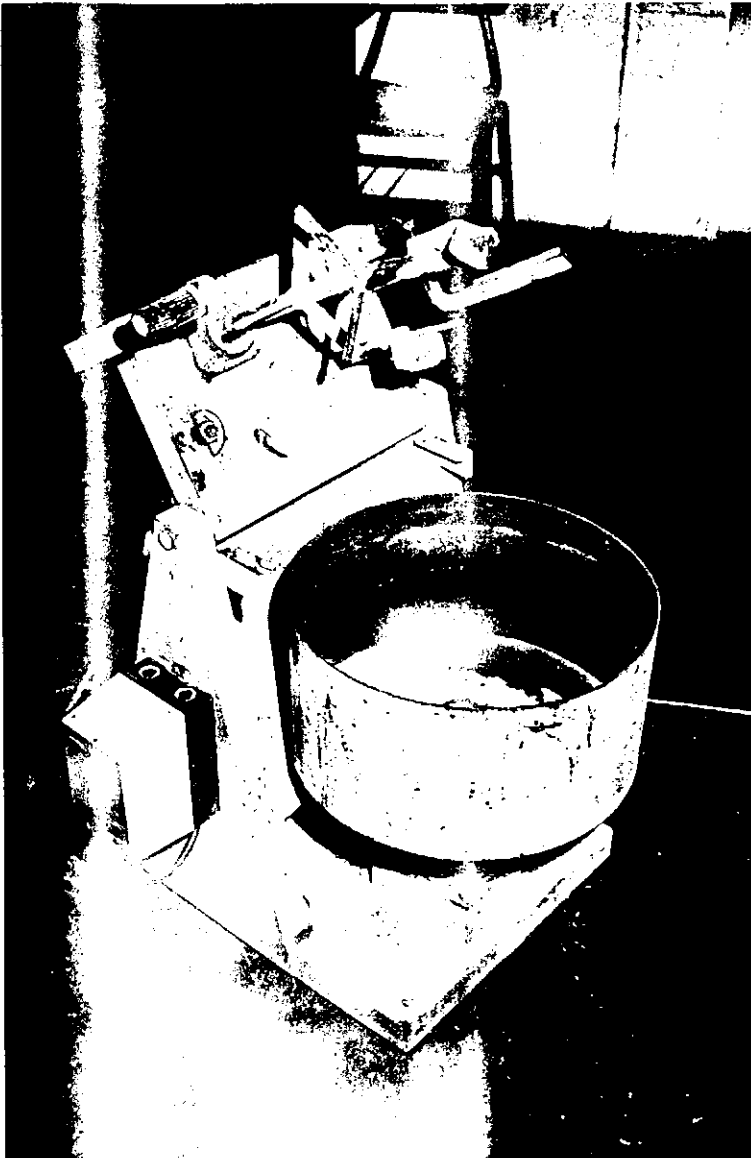


Figura 3.7 - Misturador do solo.

3.2.2 - Prensa

Utilizou-se na moldagem dos tijolos prensa manual que permite a fabricação simultânea de três tijolos conforme mostra a Figura 3.8. A prensa foi adquirida pela UFPB/CCT do extinto Banco Nacional da Habitação.

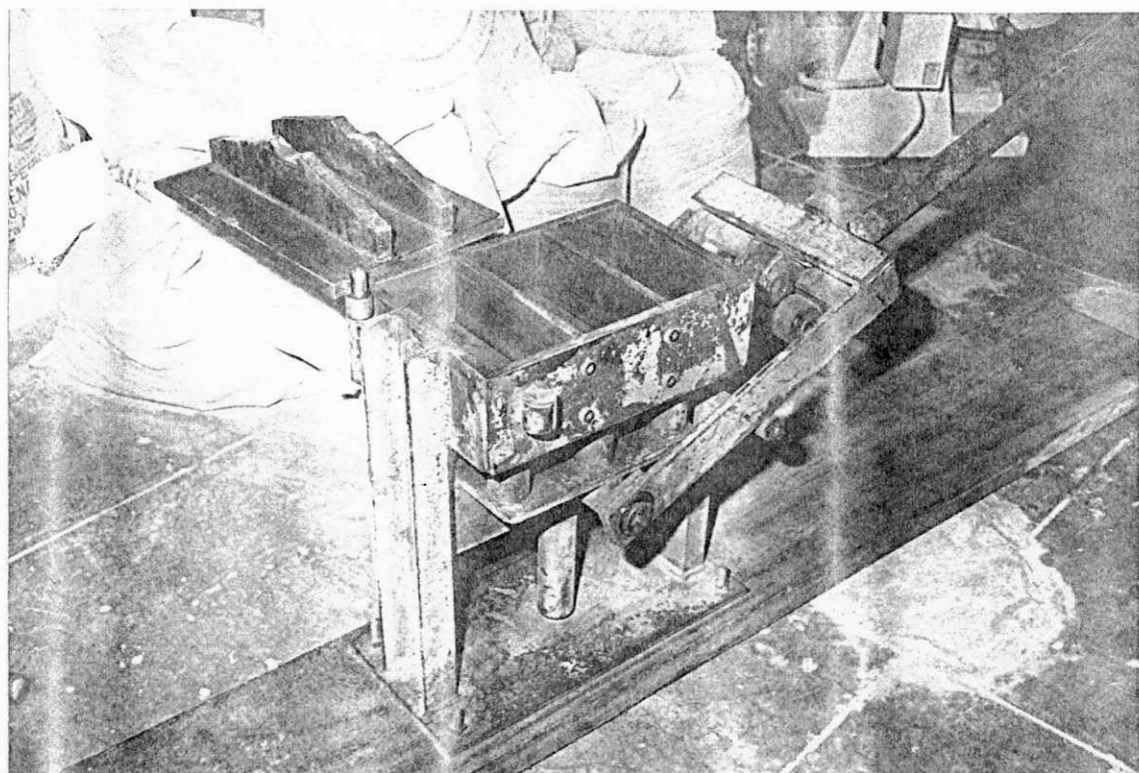


Figura 3.8 - Prensa manual para confecção dos tijolos.

3.2.3 - Equipamento de ensaio dos tijolos

Nos ensaios de resistência a compressão simples usou-se a prensa à motor PAVITEST fabricada pela CONTENCO LTDA, com velocidade de ensaio de 0,021 mm/s. Esta está indicada na Figura 3.9.

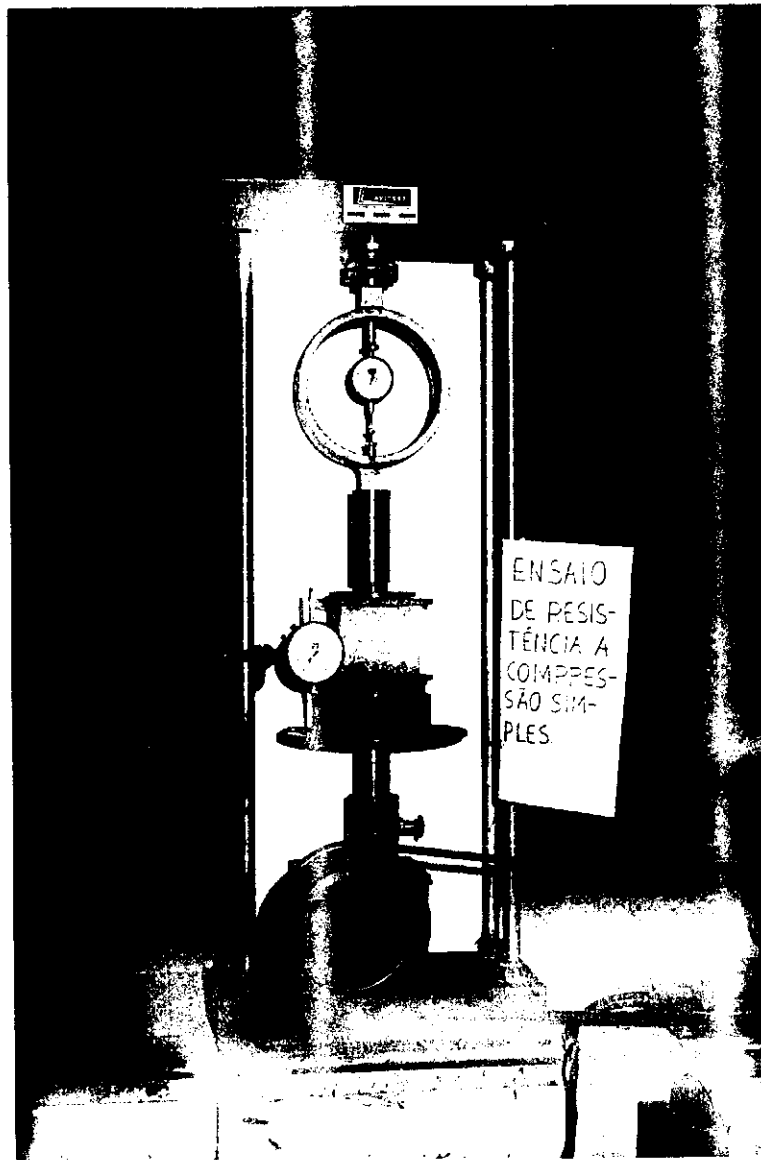


Figura 3.9 - Máquina de ensaio à compressão simples de corpos de prova e tijolos.



Foot of 31.

CAPÍTULO - IV

TIJOLOS DE SOLO-FIBRA: METODOLOGIA

Diversos fatores influem na resistência e comportamento de tijolos prensados de solo-fibra.

Entre eles pode-se citar:

- granulometria do solo;
- relação água-solo;
- tempo de cura;
- percentagem de fibras;
- comprimento de fibras;
- adição ou não de aditivos.

Também tem influência a energia de prensagem, porém, a prensa utilizada não permite tal controle. Indiretamente, poder-se-ia pensar em variar o volume de material na prensa, mas seria um método difícil de controlar, tendo-se em vista as umidades relativamente altas requeridas para a mistura solo-fibra. O material fica aglomerado, com certa rigidez, não atingindo nível horizontal no compartimento de moldagem. Eliminou-se então esta variável, fixando-se após numerosas tentativas, em 5,0 Kgf o peso do material a ser colocado na prensa para a moldagem de dois tijolos. Com esta quantidade de material pode-se obter tijolos com 4,5 cm de espessura por 10 cm de largura e 23 cm de comprimento após prensagem. Embora a prensa permitisse a execução de três blocos (Figura 3.8); o misturador não tinha capacidade

para tal.

Como mostraram os trabalhos de Olivier [4], também o tipo de argila presente no solo influencia no desempenho dos tijolos prensados. Aqui, todos os solos apresentaram em sua fração argilosa uma maioria de argila caulinitica. Desta forma este fator não foi levado em consideração.

O objetivo deste trabalho é indicar alguns fatores dos acima citados, a se adotar para obtenção de tijolos de solo-fibra de qualidade, com os quatro tipos de solos escolhidos e a prensa adotada. Procurou-se detectar a influência de alguns, destes parâmetros, a fim de se obterem os valores mais apropriados para eles.

O trabalho começou com algumas observações preliminares, seguida por estudos inicialmente em corpos de prova e finalmente em tijolos.

4.1 - Observações Preliminares

Antes de se iniciarem os estudos, foram moldados blocos de solo de $19 \times 9,5 \times 4,5 \text{ cm}^3$ no seu estado natural e misturados com fibras, com vistas a se observar seu comportamento quanto ao aspecto visual, retração, fissuração e consistência.

As misturas preliminares de solo com fibras foram feitas utilizando-se a percentagem de 2% de fibras em volume. Na moldagem dos tijolos, mediam-se os materiais em peso. Para tanto, o peso da fibra a ser utilizado é dado pela Equação 4.1.

$$p_f = p_T \cdot f_f / [(f_S / \alpha_f) + f_S + f_f] \quad (4.1)$$

Onde: p_f é o peso da fibra

p_T é o peso total

f_S é o peso específico do solo *

f_f é o peso específico da fibra ($f_f = 0,93$)

α_f é a percentagem de fibras

4.2 - Estudos em Corpos de Prova

Como metodologia de trabalho adotou-se o procedimento de antes de se moldarem os tijolos prensados, procederem-se estudos em corpos de prova cilíndricos de 8 cm de diâmetro por 16 cm de altura de forma a se tentar estabelecer a influência de alguns dos fatores anteriormente citados.

Para confeccionar os corpos de prova, a mistura solo-fibra-água foi feita manualmente.

Fixado um dos parâmetros, fazia-se variar os demais.

Através do ensaio à compressão simples, obtinha-se curvas tensão-deformação por meio das quais se analisava o comportamento das misturas.

Foi executada uma bateria de ensaios de resistência à compressão simples, com o objetivo de se determinar a resistência mecânica do solo no estado natural e das misturas solo-fibra-aditivo. Nesta fase foram empregados os solos de Taperoá e de Joao Pessoa, que se mostraram mais

* Solo de Taperoá: $f_S = 2,779 \text{ g/cm}^3$;
Solo de Joao Pessoa: $f_S = 2,677 \text{ g/cm}^3$;
Solo de Campina Grande: $f_S = 2,637 \text{ g/cm}^3$;
Solo de Areia: $f_S = 2,635 \text{ g/cm}^3$.

adequados à fabricação de blocos de terra crua, por apresentarem uma quantidade de finos que lhes fornece a coesão necessária permitindo a moldagem dos tijolos, além de possuírem uma composição química similar às argilas comumente empregadas na indústria da cerâmica vermelha e uma boa resistência à compressão simples.

A homogeneização da mistura solo-fibra-água foi feita por um misturador elétrico com o solo de Taperoá e manualmente quando se usou o solo de João Pessoa, pois com este último apresentando maior teor de argila, o misturador não tinha capacidade suficiente para homogeneizá-lo. Os corpos de prova foram adensados manualmente pois os mesmos eram moldados com umidade acima da ótima, por motivos que serão mais adiante explicados.

Em decorrência da umidade de moldagem ser superior à umidade ótima, tornou-se necessário manter cada corpo de prova moldado em seu respectivo molde cilíndrico por um período de 24 horas, evitando-se assim, deformações no espécime no momento da desforma. Para facilitar a saída e evitar a aderência do corpo de prova, passou-se vaselina cremosa nas paredes internas do molde cilíndrico. Depois da desmoldagem, os corpos de prova ficavam curando ao ar, na sombra, durante um período de 7 e 28 dias.

Mediram-se as dimensões dos corpos de prova antes do ensaio para a determinação correta do diâmetro e da altura do corpo de prova, devido à retração ocorrida com a evaporação da água de moldagem. Esta provoca uma variação dimensional tanto na altura quanto no diâmetro do corpo de

prova em relação ao seu molde cilíndrico. O instrumento utilizado nas medições foi o paquímetro com precisão de 0,01 mm. Fizeram-se três determinações para altura e diâmetro de cada corpo de prova. Foram moldados em média seis corpos de prova para cada composição das misturas em estudo, sendo três determinações para cada tempo de cura. Após os respectivos períodos de cura, os corpos de prova foram rompidos na prensa PAVITEST à motor já indicada na Figura 3.9.

4.2.1 - Influência da relação água/solo (A/S)

Os corpos de prova cilíndricos foram submetidos a ensaios de resistência à compressão simples com período de cura de 07 e 28 dias, secos ao ar, na sombra. As dimensões dos corpos de prova eram de 8 cm de diâmetro por 16 cm de altura para o solo de Joao Pessoa e de 10 cm de diâmetro por 12 cm de altura para o solo de Taperoá.

No solo de Taperoá, no estado natural, as relações (A/S) foram a umidade ótima (14,5%), a umidade ótima mais 3% (17,5%), a umidade de moldagem utilizada pelos "taipeiros" para preparação de massas de solo usadas na construções de casa de taipa (28%), um teor de umidade ligeiramente inferior à umidade utilizada pelos "taipeiros" (25%) e outro superior (30%), além da umidade de 33%. No solo de Joao Pessoa, variou-se a umidade de moldagem segundo os teores de 24, 26, 28 e 30% para cada tipo de mistura. Obteve-se, então, a relação água/solo mais

adequada.

Os tipos de composição de mistura estudadas para o solo de Joao Pessoa foram: solo no estado natural e 4% de fibras.

4.2.2 - Influência do tempo de cura

A influência do tempo de cura na resistência das misturas foi estudada moldando-se ao mesmo tempo vários corpos de prova para ensaio após diferentes períodos de secagem, em geral 07 e 28 dias.

A variação de resistência com o tempo depende também da umidade e da temperatura do meio ambiente. Não sendo climatizado o laboratório onde se efetuaram os ensaios, percebia-se claramente que a umidade interferia nos resultados obtidos. Desta forma, quando não se empregavam aditivos, muitas vezes não se percebia sensível diferença de resistência entre os 7 e 28 dias após a moldagem dos corpos de prova. Vale lembrar que na época em que se faziam os ensaios havia semanas muito úmidas intercaladas de dias mais secos.

4.2.3 - Influência da percentagem de fibras

Foi estudada através de ensaios de compressão simples em corpos de prova, deixando-se variar a percentagem de fibras em 1, 2, 3 e 4%. Nos solos de Joao Pessoa e Taperoá

foram fixados: A/S = 28% e comprimento de fibra de 5 cm.

4.2.4 - Influência do comprimento das fibras

Não foi verificado nos corpos de prova em virtude de suas dimensões limitadas, mas diretamente nos tijolos (ver item 4.3.1).

4.2.5 - Influência do uso de aditivos

Foi estabelecida através de ensaios comparativos em corpos de prova com ou sem aditivo. Inicialmente usou-se apenas emulsão asfáltica. Adotou-se a percentagem de 2% em relação ao peso do solo, que em trabalhos anteriores [4,41-42] se mostrou conveniente. Posteriormente empregou-se também a cal diretamente em tijolos.

4.3 - Estudo dos Tijolos

Inicialmente foram executados ensaios nos tijolos confeccionados com solo de João Pessoa e Taperoá.

Posteriormente determinaram-se as propriedades de tijolos confeccionados com os solos de Campina Grande e de Areia, que requerendo correção granulométrica, exigiram mistura com o solo mais argiloso de João Pessoa.

Ainda foi feita experiência à respeito da técnica usada pelos antigos Persas que, antes de confeccionarem

blocos de adobe, deixavam as fibras "envelhecerem" na argila mantida úmida por bom período de tempo.

Para a confecção de tijolos, o material foi inicialmente homogeneizado, dependendo da composição da mistura, por um misturador elétrico ou manualmente. No solo de Taperoá praticamente todas as misturas puderam ser feitas pelo misturador elétrico, com grande economia de tempo e mão-de-obra. O misturador elétrico não tinha capacidade suficiente para homogeneizar o solo de João Pessoa, por ter este bastante coesão, ficando difícil a homogeneização do solo tanto no estado natural, quanto com fibras e com emulsão asfáltica. Só quando se usou o aditivo cal ou quando misturado a um solo mais arenoso, tornando-o menos plástico e mais friável, foi possível trabalhar com este solo no misturador elétrico.

A quantidade de 2,5 Kgf foi a necessária para se confeccionar um tijolo com a dimensão de $(23 \times 10 \times 4,5) \text{cm}^3$ após prensagem. Na realidade um pouco de material era expulso durante a prensagem pelas frestas da parte superior da prensa, resultando em um tijolo com peso da ordem de 1,5 a 1,9 kgf, depois de seco ao ar. A sobra, no entanto, era reaproveitada para a confecção de novos tijolos.

A umidade de moldagem era sempre controlada através de medições antes e depois da moldagem dos tijolos. Com base nos ensaios de corpos de prova e na experiência adquirida com o manuseio de material, escolheu-se para trabalhar nos solos de Taperoá e João Pessoa com a umidade de moldagem de 28% e percentagens de fibra de 4% e 2%

respectivamente. O solo de Joao Pessoa sendo mais argiloso, tornava difícil a mistura com as fibras quando se usava percentagens superiores a 2%.

Os tijolos moldados ficavam curando ao ar, na sombra, no período de 7 e 28 dias. Nos tijolos aditivados com cal a cura foi feita cobrindo-os com panos, que eram molhados constantemente para se evitar a evaporação da água e o período de cura se estendeu até 60 dias.

Foram estudados nos tijolos os seguintes aspectos:

4.3.1 - Comportamento tensao-deformação

O comportamento dos tijolos sob tensao foi estudado através do ensaio de resistência à compressão simples de acordo com a norma NBR (8492/84) [66] para solo-cimento, visto que, não existe norma específica para tijolos de solo-fibra.

Antes do ensaio, os tijolos foram medidos, fazendo-se quatro determinações tanto de sua altura quanto de seus lados, obtendo-se a altura e a área da seção onde a carga seria aplicada. O instrumento utilizado nas medições foi o paquímetro com precisão de 0,01mm.

A quantidade de tijolos utilizada para a realização dos ensaios foi de cinco unidades para cada tipo de composição de mistura.

O tijolo foi cortado ao meio, perpendicularmente à sua maior dimensão e superpôs-se por suas faces maiores as duas metades obtidas (estando as superfícies cortadas

invertidas), ligando-as com uma camada de pasta de cimento com espessura de 2 mm. A pasta era também usada para regularizar a superfície do espécime, de modo que, a carga aplicada fosse uniformemente distribuída, como se pode ver na Figura 4.1.

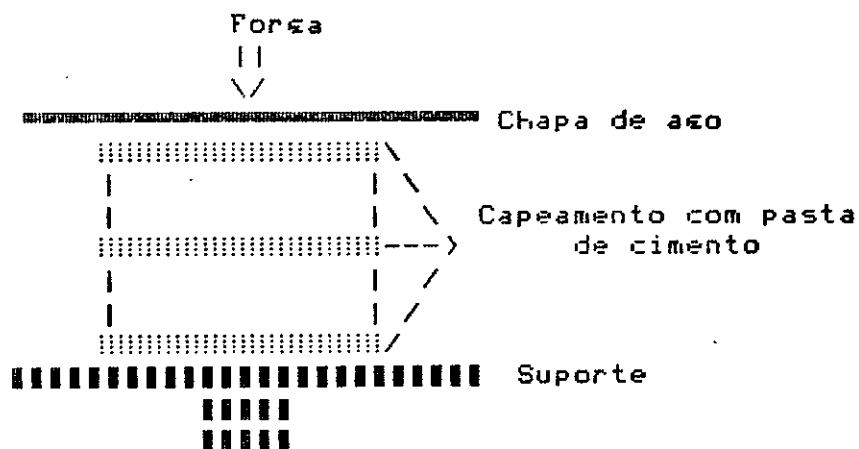


Figura - 4.1 - Tijolo preparado para o ensaio de resistência à compressão simples.

As deformações foram medidas por meio de um extensômetro e as cargas aplicadas por um anel dinamométrico de constante elástica de 4,76 Kgf/div.

Com os dados de ensaio, usou-se um programa de computação, para obtenção dos resultados finais.

De todos os corpos de prova, de tijolos, foi tirada a média dos resultados individuais, e calculados os coeficientes de variação. O coeficiente de variação é dado pela equação 4.2.

$$C_v = \text{desvio padrao}/\text{média dos corpos de prova ensaiados} \quad (4.2)$$

4.3.2 - Variações dimensionais

Com o objetivo de verificar a ocorrência de variações significativas nas dimensões dos tijolos durante o processo de secagem foram feitas medições nos tijolos. As leituras foram realizadas após 7 e 28 dias, exceto quando se usou a cal, cujo período foi até 60 dias. Tomou-se como referência o valor medido no dia da moldagem. Foram realizadas seis leituras nas direções do comprimento (C), largura (L) e espessura (e) dos tijolos. As variações dimensionais foram calculadas pela Equação 4.3.

$$\text{Variação dimensional} = [(L_0 - L_i)/L_0]*100 \quad (4.3)$$

Onde: L_0 = Leitura inicial numa das três direções

L_i = Leitura final na mesma direção

4.3.3 - Absorção

Nos tijolos em que se usou aditivos foram feitos testes de absorção de água, de acordo com a NBR (8492) da ABNT [66].

Os tijolos ficaram curando durante o período de 7 e 28 dias, ao ar, na sombra, quando o aditivo era a emulsão asfáltica. Para a cal, acrescentou-se o período de 60 dias e procurou-se manter úmidos os tijolos durante a cura.

O ensaio de absorção consistiu em secar os tijolos em estufa à 105^o, até constância de massa; em seguida os tijolos foram imersos em um tanque durante 24 horas. Após

retirá-los da água, foram enxutos superficialmente com um pano úmido e pesados (antes de decorridos três minutos). A absorção foi calculada pela Equação 4.4.

$$\text{Absorção (\%)} = (M_2 - M_1)/M_1 \quad (4.4)$$

Onde: M_1 é a peso do tijolo seco

M_2 é a peso do tijolo saturado

4.3.4 - Durabilidade

Por não existir norma especificada para o material em estudo, adotou-se o método de ensaio proposto pela ABCP para o solo-cimento, Método SC-3 (ABCP,1977) [67]. Este corresponde aos ensaios de perda de massa devido a ciclos de molhagem e secagem. Foram executados segundo dois métodos:

Método A- foram realizados 12 ciclos de 48 horas, sendo cada um deles com 5 horas de imersão em água, 43 horas de secagem em estufa a 105°. Como no período de uma hora de resfriamento antes da pesagem, começava haver ganho de peso em consequência da absorção da umidade do ar pelos tijolos, então eliminou-se este intervalo e a pesagem foi feita logo após a retirada do tijolo da estufa. Após 12º ciclo foi feita a escovação do espécime, e verificada a perda de peso dos tijolos após esta escovação.

Método B - com 12 ciclos de 48 horas e com escovação após cada ciclo.

Utilizaram-se cinco tijolos para cada método e para cada combinação de mistura em estudo. A cura se deu no período de 7 e 28 dias para emulsão asfáltica e 7, 28 e 60 dias quando empregada a cal. Após a cura, os tijolos eram identificados através de uma plaqueta de alumínio numerada que era presa em redor do corpo de prova com auxílio de um arame fino. Foi usado este tipo de identificação como medida de segurança, já que os tijolos passariam por período de molhagem e secagem necessitando de etiquetas resistentes para evitar uma possível mistura entre eles.

As escovações foram feitas no menor espaço de tempo possível para que os tijolos absorvessem apenas um mínimo de umidade do ar, uma vez que eles eram pesados antes e após cada escovação em todos os ciclos. Os espécimes eram retirados individualmente da estufa no momento da escovação eliminando-se o período de 1 hora de resfriamento. Aplicou-se escovações em movimento de vai-vem, cobrindo totalmente toda a área do espécime. Usou-se também máscara descartável para proteger o escovador da poeira desprendida do tijolo durante a escovação.

Utilizou-se uma balança do tipo comum, de dois pratos, onde o tijolo ficava num dos pratos, e o peso de 1,50 kgf equivalente a força correspondente à força de escovação no outro prato.

4.3.5 - Mistura em repouso

Preparou-se mistura de solo de Joao Pessoa com 2%

fibras de sisal e relação A/S = 28%, e deixou-se em repouso no Laboratório durante 30, 60 e 90 dias. No final de cada período eram confeccionados tijolos que ficavam curando 7 e 28 dias. Esta operação foi precedida por um destorroamento prévio. Usou-se material passando na peneira de nº 4 (4,8 mm) da série de Tyler.

A mistura solo-fibra-água foi homogeneizada manualmente e em seguida colocada em repouso. Procurou-se manter a umidade de moldagem de 28%, a mais uniforme possível, através de controle periódico. A mistura foi coberta com um pano, que ficava sempre úmido, e que todos os dias era molhado, para evitar a evaporação da água de moldagem (Figura 4.2).

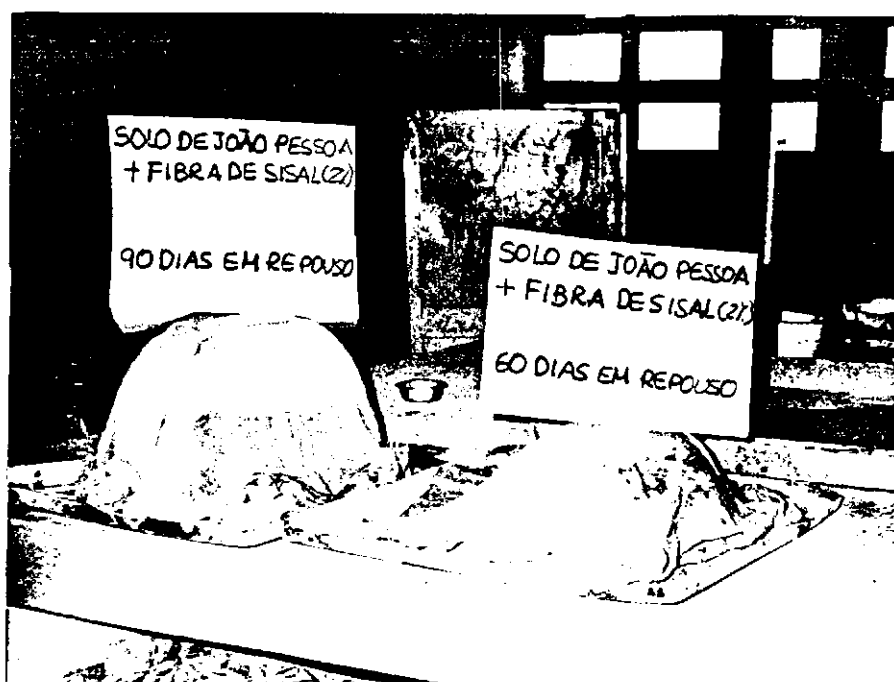


Figura 4.2 - Mistura solo-fibra-água em repouso, coberta com panos para evitar a evaporação da água de moldagem, solo de Joao Pessoa.

As vezes, fazia-se necessário revolver e acrescentar água à mistura para mantê-la mais bem distribuída e a mais homogênea possível (Figura 4.3).



Figura 4.3 - Mistura solo-fibra-água em repouso, depois de ter sido revolvida, solo de Joao Pessoa.

Os tijolos confeccionados com esta mistura foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão simples. Utilizaram-se dez tijolos para cada período de repouso, sendo cinco para 7 dias e cinco para 28 dias de cura.

4.3.6 - Correção Granulométrica

Os solos de Campina Grande e Areia por serem arenosos, e não possuírem coesão suficiente para manterem-se firmes e resistentes à abrasão, quando moldados,

necessitam de uma correção granulométrica. E pois conveniente a associação destes solos a um que lhes confira certa coesão.

Escolheu-se então o solo de João Pessoa para ser misturado com aqueles dois.

As percentagens de solos utilizadas na associação foram obtidas por meio de tentativas, de modo que, a composição final fosse a mais resistente às cargas de compressão e a abrasividade. Escolheram-se, para estudo, as percentagens de 20, 30 e 40% do solo de João Pessoa nas misturas com o solo de Areia e de Campina Grande.

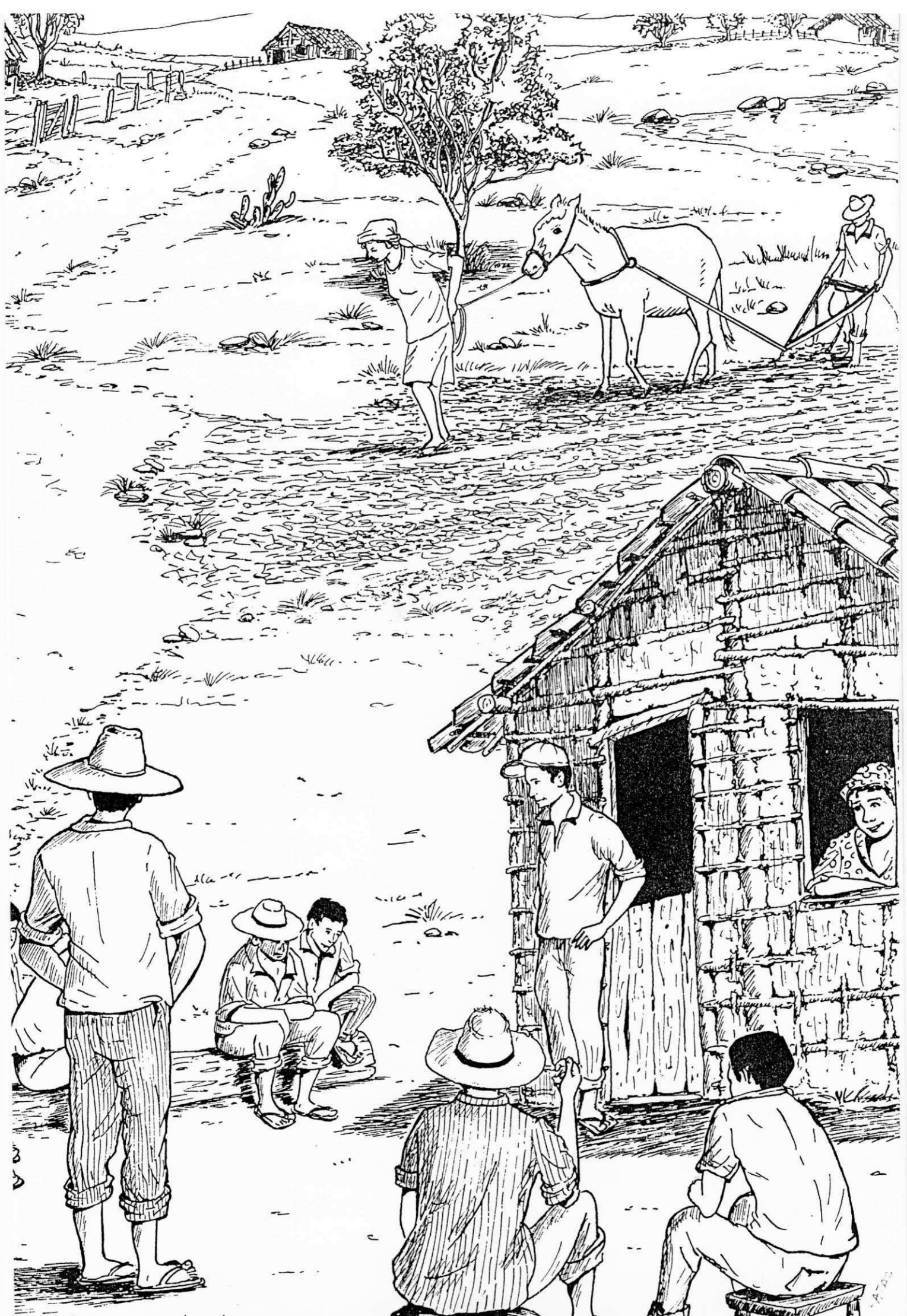
A aplicação da técnica da correção granulométrica é apropriada à regiões onde há abundância de um determinado tipo de solo com pouca quantidade de outro. Por exemplo, grande quantidade de solo arenoso e pouco solo argiloso podem ser associados em percentagens convenientes, resultando em um solo que seja apropriado a confecção de tijolos de terra crua.

Foram executados ensaios de caracterização de todas as associações de solos concebidas.

Com o fim de observar o comportamento sob tensão dos tijolos com solos arenosos corrigidos granulometricamente foram executados ensaios de resistência a compressão simples. Neste ensaio usou-se as misturas no estado natural e com 2% de fibras.

As umidades de moldagem foram obtidas no momento da moldagem de acordo com a trabalhabilidade da mistura. A relação A/S variou em torno de 14 a 20%.

A variação dimensional dos tijolos também foram estudadas, conforme a concepção do item 4.3.2.



CAPITULO - V

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo mostram-se, analisam-se e comentam-se os resultados dos ensaios realizados ao longo da pesquisa.

5.1 - Observações Preliminares

Nos blocos moldados para as verificações preliminares dos quatro tipos de solo em estudo, pôde-se notar que:

O solo de Joao Pessoa com boa coesão, produziu tijolo de excelente aspecto visual não se esfarelando ao toque dos dedos, tanto no estado natural quanto na mistura com fibras. A retração ocorrida foi pequena não chegando a provocar fissuras.

O solo de Taperoá teve comportamento similar ao solo de Joao Pessoa.

Com o solo de Campina Grande o aspecto visual dos blocos era apenas razoável. No estado natural, perdia massa facilmente, nas extremidades, ao menor toque dos dedos. A adição de fibras, proporcionou uma melhoria na resistência à abrasão (entende-se por resistência à abrasão a capacidade do bloco de manter-se inteiro sem esfarelar-se com o manuseio), mantendo o material mais coeso. Os blocos tanto com solo no estado natural quanto misturado com fibras não apresentaram fissuras, sendo desprezível a

retração.

Com o solo de Areia, o aspecto visual dos tijolos foi inferior àqueles dos blocos moldados com o solo de Campina Grande. Com resistência à abrasão baixíssimo, esfarelava-se com o manuseio. Mesmo misturado com fibras, as partículas de solo da superfície desprendiam-se com facilidade. Não apresentou retração nem fissuras visíveis. Ficou claro que este solo necessita de correção granulométrica para a fabricação de tijolos.

5.2 - Estudos em Corpos de Prova

Os corpos de prova utilizados foram cilíndricos de 8 cm de diâmetro por 16 cm de altura. Exceto para o solo de Taperoá quando se fez o estudo da influência da relação água/solo (A/S), utilizou-se, então o cilindro de 10 cm de diâmetro por 12 cm de altura.

Cada resultado representa a média de três corpos de prova. A sigla Cv que aparece nas tabelas indica o coeficiente de variação, que corresponde ao desvio padrão dividido pela média.

Foi pesquisado o efeito da variação de alguns fatores que interferem no comportamento da mistura solo-fibra.

5.2.1 - Influência da relação água/solo (A/S)

A Figura 5.1 indica os valores de resistência à compressão, do solo de Taperoá no estado natural, obtidos com seis teores de umidade: a umidade de (14,5%), correspondente a energia de compactação de Proctor normal; a umidade ótima mais 3%; a umidade de moldagem utilizada pelos taipeiros para preparação das massas de solo usadas nas construções das casas de taipa (28%); um teor ligeiramente inferior à umidade utilizada pelos taipeiros (25%); e outro superior (30%); além da umidade de 33%.

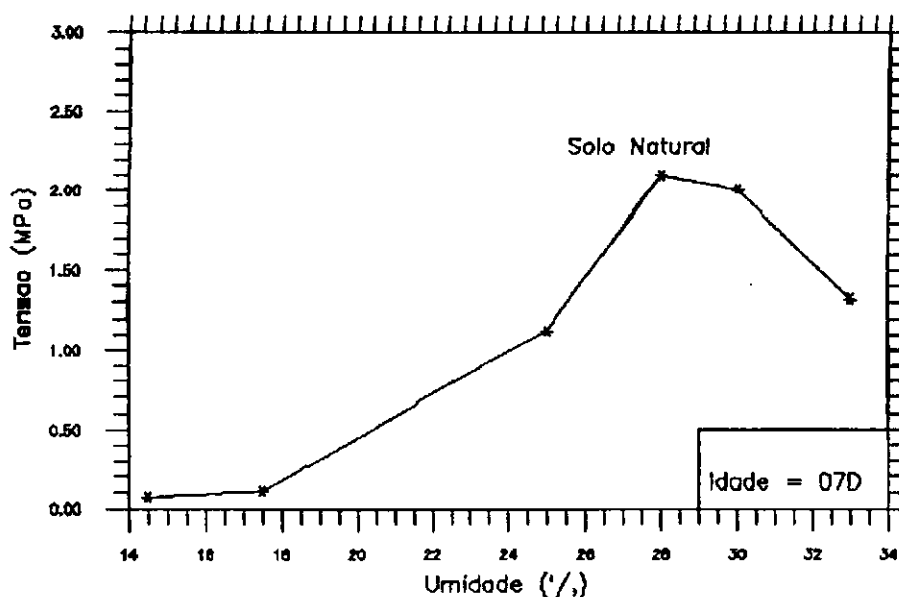


Figura 5.1 - Influência da relação água/solo na resistência a compressão simples dos corpos de prova com o solo de Taperoá.

Verifica-se na Figura 5.1 que os teores de umidade ótima (14,5%) e de 17,5%, conduziram a valores de resistência muito baixos. Isto se deve ao fato de que, os corpos de prova não foram moldados com a energia

correspondente à do ensaio de proctor normal de compactação (a moldagem foi manual sem utilização do soquete). Além disso, tais teores não permitiram uma boa moldagem dos corpos de prova em função de sua baixa trabalhabilidade.

Percebe-se que o teor de umidade de 28% conduziu aos melhores valores de resistência e trabalhabilidade. Com o teor de umidade de 30% houve uma pequena queda na resistência à compressão fato evidenciado quando se aumentou o teor de umidade para 33%. Assumiu-se, então, 28% como sendo a umidade de moldagem.

Estudou-se também o solo de Joao Pessoa no que diz respeito à variação da resistência à compressão simples com a relação A/S. Com base na experiência adquirida com o solo de Taperoá, partiu-se já de umidades bem superiores à ótima.

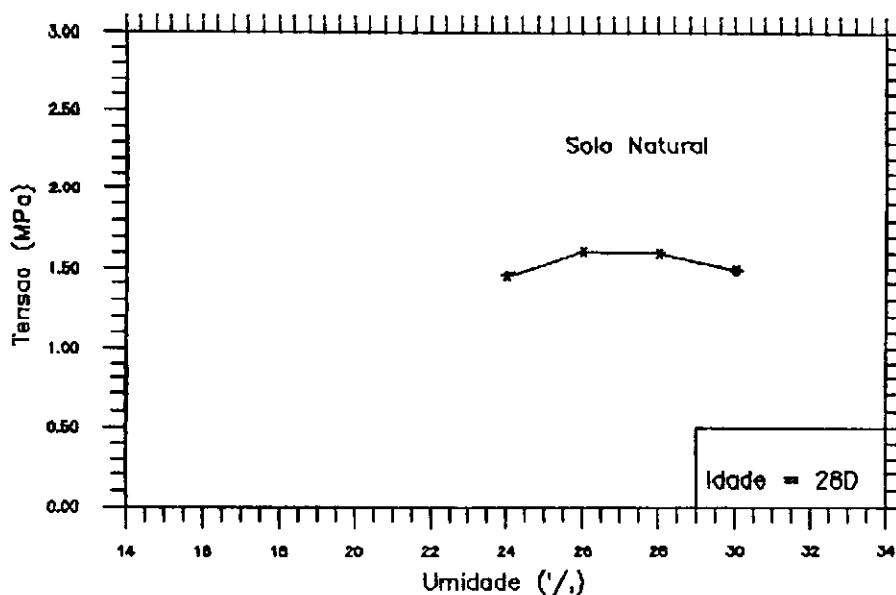


Figura 5.2 - Influência da relação água/solo na resistência a compressão simples dos corpos de prova com o solo de Joao Pessoa.

A Figura 5.2 mostra os valores de resistência a compressão simples obtidos com a variação da umidade de moldagem em torno de 24, 26, 28 e 30% após 28 dias de cura ao ar.

Observa-se que as maiores resistências foram conseguidas com A/S em torno de 26 a 28%. Para definir que fator A/S usar com a mistura solo-fibra, foram feitos ensaios em corpos de prova empregando-se agora uma percentagem de 4% de fibra. Como as fibras absorvem água com facilidade, foram feitos ensaios com relação A/S igual e superiores a 26%. A Figura 5.3 mostra os resultados conseguidos. Observa-se que a taxa A/S que conduziu à resistência máxima foi de 28%.

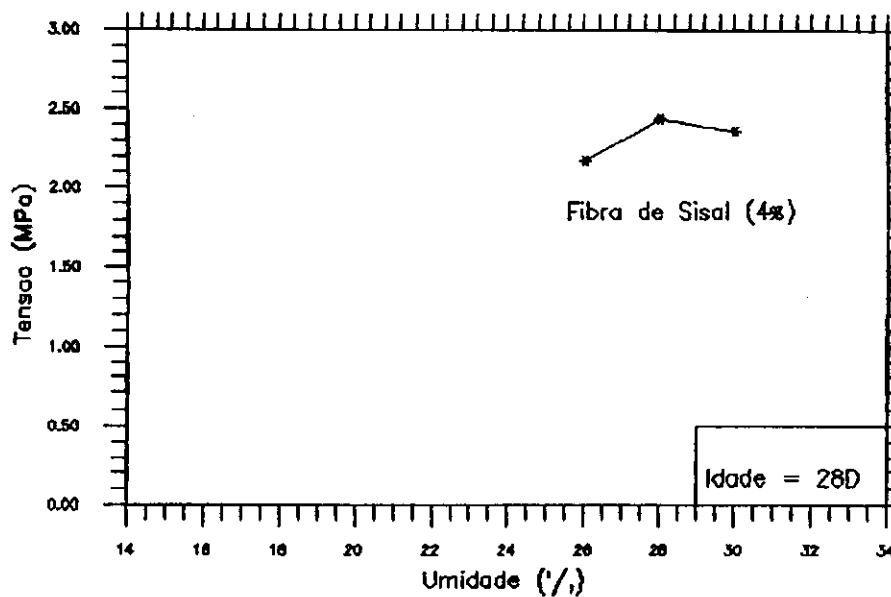


Figura 5.3 - Influência da relação água/solo na resistência a compressão simples dos corpos de prova com o solo de Joao Pessoa mais 4% de fibra de sisal.

5.2.2 - Influência do tempo de cura.

Nas Tabelas 5.1 e 5.2 são mostrados os resultados de resistência média à compressão simples dos corpos de prova após cura ao ar de 07 e 28 dias, dos solos de Taperoá e de João Pessoa respectivamente, sob diversas condições.

Tabela 5.1 - Resultados de Resistência a Compressão Simples, solo de Taperoá.

Resistência a Compressão (MPa) - Cv (%)		
CP(08x16)	Cura ao ar (A/S) = 28Z	
Taperoá	7D - Cv	28D - Cv
Solo Natural	1,80 - 5,10	1,84 - -
Solo+Emulsão(2Z)+Sisal(1Z)	1,90 - 6,37	2,44 - 5,73
Solo+Emulsão(2Z)+Sisal(2Z)	1,89 - 6,84	2,30 - 8,58
Solo+Emulsão(2Z)+Sisal(3Z)	1,58 - 9,90	2,04 - 0,10
Solo+Emulsão(2Z)+Sisal(4Z)	1,56 - 9,28	1,63 - 4,50
Solo+Sisal(1Z)	2,09 - 6,00	2,58 - 0,16
Solo+Sisal(2Z)	1,93 - 6,23	2,40 - 3,43
Solo+Sisal(3Z)	1,78 - 3,57	2,17 - 10,60
Solo+Sisal(4Z)	1,85 - 10,50	1,51 - 3,20

Tabela 5.2 - Resultados de Resistência a Compressão Simples, solo de João Pessoa

Resistência a Compressão (MPa) - Cv (%)		
CP(08x16)	Cura ao ar (A/S) = 28Z	
João Pessoa	7D - Cv	28D - Cv
Solo Natural	1,52 - 2,26	1,54 - 4,69
Solo+Emulsão(2Z)	1,51 - 9,29	1,56 - 4,48
Solo+Emulsão(2Z)+Sisal(1Z)	1,70 - 0,42	1,68 - 0,78
Solo+Emulsão(2Z)+Sisal(2Z)	1,96 - 7,50	1,65 - 6,68
Solo+Emulsão(2Z)+Sisal(3Z)	1,74 - 5,12	2,07 - 6,63
Solo+Emulsão(2Z)+Sisal(4Z)	1,82 - 10,20	2,60 - 8,88
Solo+Sisal(1Z)	2,09 - 1,40	1,73 - 0,78
Solo+Sisal(2Z)	1,57 - 8,88	1,53 - 2,73
Solo+Sisal(3Z)	1,87 - 2,88	1,91 - 4,72
Solo+Sisal(4Z)	1,24 - 11,30	1,54 - 19,60

Um exame das Tabelas 5.1 e 5.2 mostra que em alguns casos não houve o aumento esperado de resistência entre os 7 e 28 dias de cura. De fato, não sendo o laboratório climatizado as variações de umidade do ambiente podem influenciar bastante no desenvolvimento da resistência. E também porque os corpos de prova a 28 dias de cura foram moldados e ensaiados primeiro do que os corpos de prova feitos para serem ensaiados a 7 dias de cura, e o pessoal que trabalhava o solo estava adquirindo experiência.

Tabela 5.3 - Resultados de Resistência a Compressão Simples.

Resistência a Compressão (MPa) - Cv (%)		
CP(08x16)	Cura ao ar	
	7D - Cv	28D - Cv
Campina Grande		
Solo Natural (A/S) = 8%	0,33 - 11,40	0,18 - -
Solo Natural (A/S) = 11%	0,34 - 10,02	0,46 - 8,25
Solo+Sisal(4%) (A/S) = 14%	1,61 - 11,40	1,65 - 2,79
Areia		
Solo Natural (A/S) = 8%	0,31 - 11,00	- - -
Solo+Sisal(4%) (A/S) = 14%	- - -	2,50 - 9,96

Na Tabela 5.3 são mostrados os resultados de resistência média à compressão simples dos corpos de prova após cura ao ar de 07 e 28 dias, dos solos de Campina Grande e Areia.

Na Tabela 5.3 observa-se que para os solos de Campina Grande e Areia as resistências foram muito inferiores àquelas dos solos de Taperoá e João Pessoa, isto devido a falta de coesão daqueles solos que são predominantemente arenosos. Notou-se uma melhora na resistência quando se adicionou fibras que forneceram o reforço necessário para

que o solo ficasse mais coeso. Em relação ao tempo de cura não houve variação considerável.

5.2.3 - Influência da percentagem de fibras

Resultados de ensaios de compressão simples em corpos de prova, variando-se a percentagem de fibras em torno de 1, 2, 3 e 4% nos solos de Taperoá e de João Pessoa são mostrados também nas Tabelas 5.1 e 5.2 respectivamente. Foram fixados: A/S = 28% e comprimento de fibra de 5 cm.

As Figuras 5.4 e 5.5 mostram curva de tensão-deformação obtidas dos solos de João Pessoa e Taperoá respectivamente.

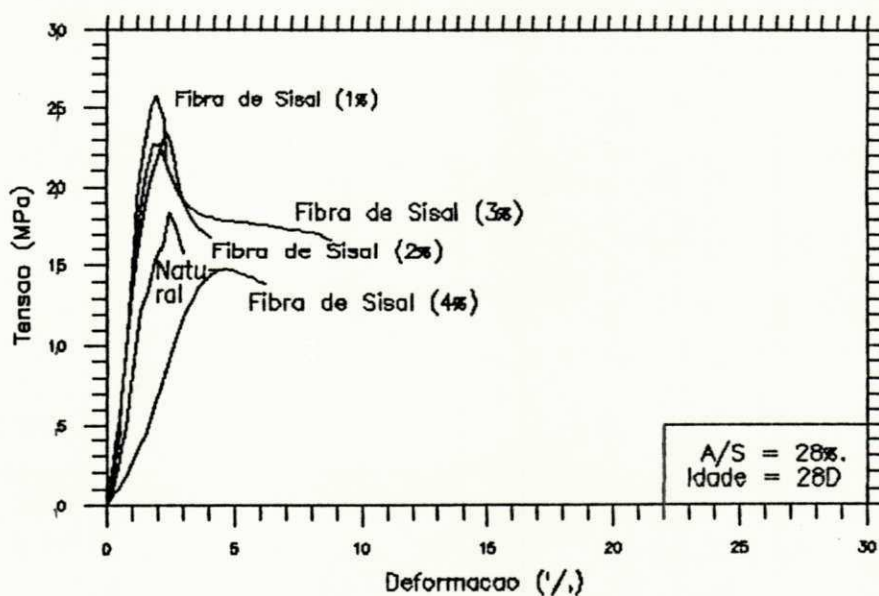


Figura 5.4 - Influência da percentagem de fibras no solo de Taperoá.

Nota-se que no solo de Taperoá as percentagens que conduziram à maior resistência foram 2 e 3% de fibras.

Como alguns ensaios foram interrompidos logo após ruptura do corpo de prova, não foi possível acompanhar em todos os casos a sequência das deformações dúcteis que se sucederam. Aqui, no entanto, apresentam-se resultados conseguidos previamente usando-se 4% de fibras.

Já no solo de Joao Pessoa, embora a percentagem de 3% tenha apresentado melhor comportamento escolheu-se 2% para moldagem de tijolos em virtude da melhor trabalhabilidade. De fato, percentagem de fibra superior a 2% torna muito difícil a homogeneização da mistura solo-fibra em virtude da elevada coesão deste solo.

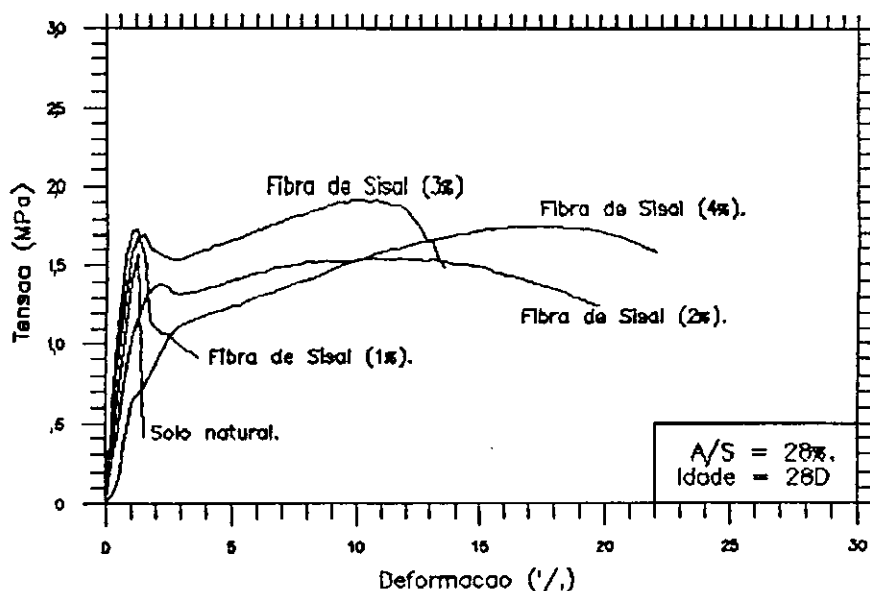


Figura 5.5 - Influência da percentagem de fibras no solo de Joao Pessoa.

Nota-se que a adição de fibras aumenta e muito a área do diagrama tensão-deformação do solo, o que representa uma maior capacidade de absorção de energia.

5.2.4 - Influência do comprimento das fibras

Não foi verificada nos corpos de prova, mas diretamente nos tijolos (ver item 5.3.1).

5.2.5 - Influência da adição de aditivos

As Figuras 5.6 e 5.7 mostram a influência de adição de aditivos nos solos de Taperoá e Joao Pessoa. Fixados percentagens de fibras em 2%, A/S = 28%.

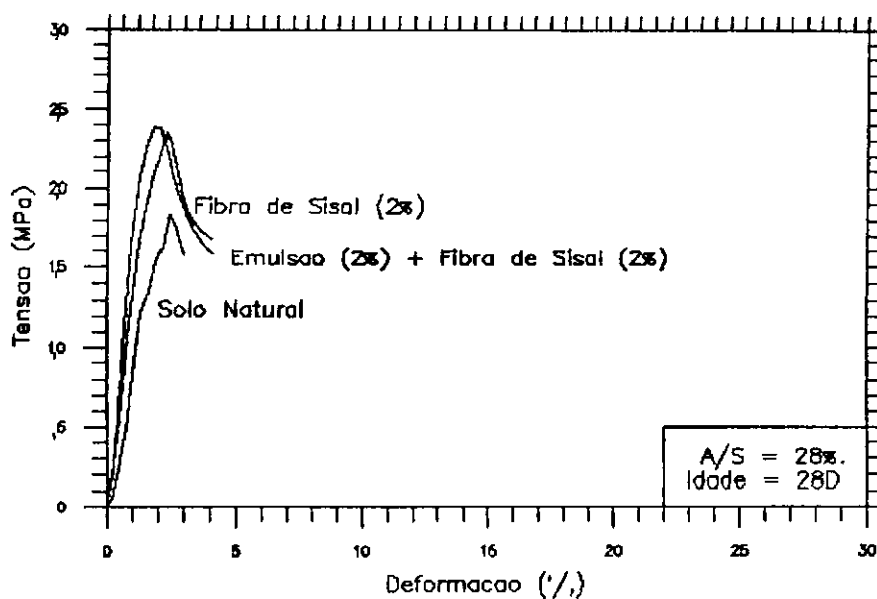


Figura 5.6 - Influência da adição de emulsão asfáltica no solo de Taperoá.

Percebe-se que a emulsão asfáltica atua benéficamente no comportamento dos tijolos. A ação ligante do betume faz aumentar inclusive a resistência da mistura solo-fibra.

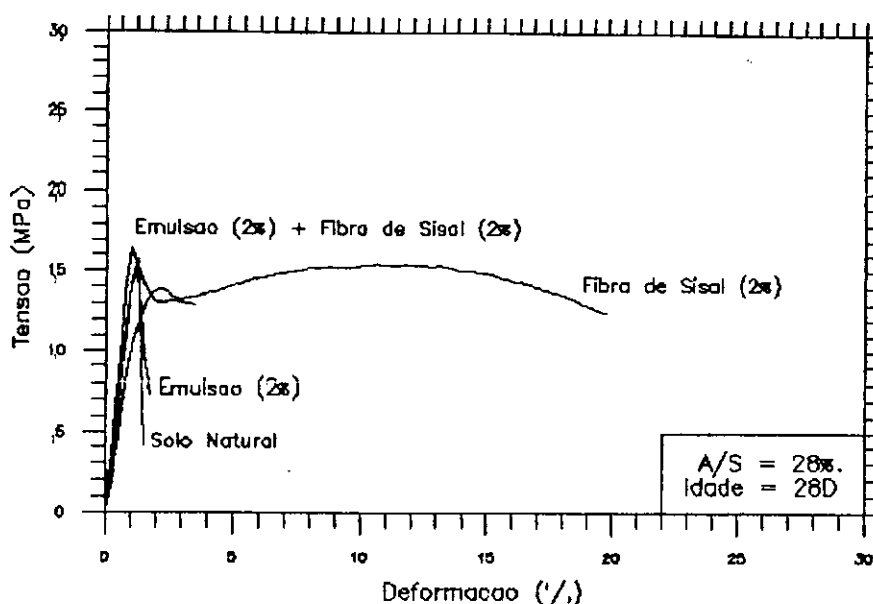


Figura 5.7 - Influência da adição de emulsão asfáltica no solo de Joao Pessoa.

5.3 - Estudo dos Tijolos

Inicialmente apresentam-se os resultados de ensaios feitos nos tijolos confeccionados com solo de Taperoá e Joao Pessoa.

Posteriormente mostram-se também propriedades de tijolos confeccionados com os solos de Campina Grande e de Areia que requerendo correção granulométrica, exigiram mistura com o solo mais argiloso de Joao Pessoa.

5.3.1 - Influência do comprimento da fibra

O estudo da influência do comprimento das fibras no comportamento dos tijolos foi feito com o solo de Taperoá. Foram empregados fibras de 3, 5 e 7 cm. As curvas obtidas

pelo ensaio de compressão estão indicadas na Figura 5.8.

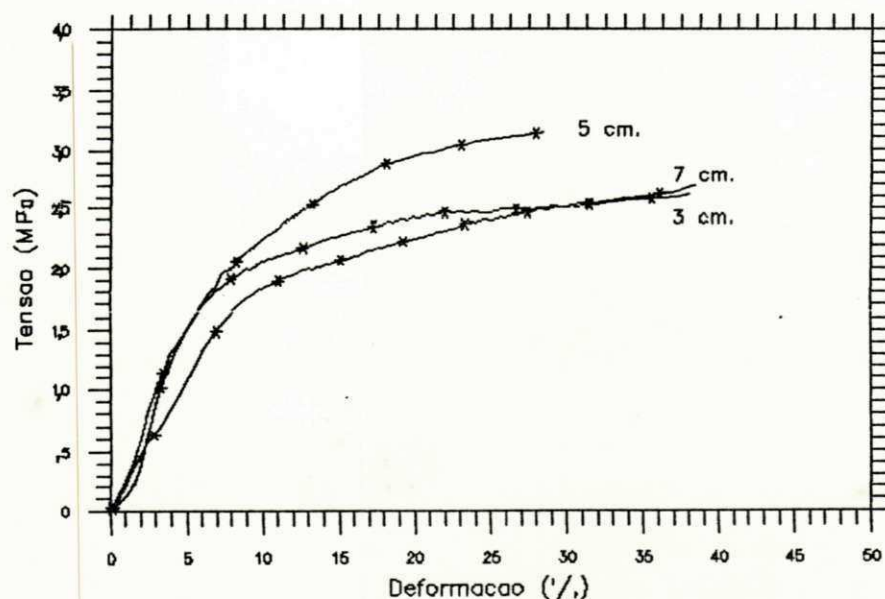


Figura 5.8 - Influência do comprimento das fibras no comportamento dos tijolos.

Os valores correspondentes às resistências médias são encontrados na Tabela 5.4.

Embora o comprimento de fibra de 3 cm desse uma boa trabalhabilidade, este tamanho não garantia suficientemente a formação de uma malha no interior da massa de solo dando-lhe mais coesão.

Com o comprimento de fibra de 7 cm a mistura dos componentes ficou bastante dificultada. Quando se usava o misturador elétrico as fibras emaranhavam-se mais facilmente nas palhetas do mesmo. E a mistura manual tornava-se cansativa e pesada. Além de dificultar a prensagem, tornando bastante pesado para o operador levantar e abaixar a alavanca da prensa. Depois da moldagem, ao se tentar retirar o tijolo do molde, o mesmo perdia material, que ficava ligado as fibras, que por sua

vez, ficavam presas nas frestas da prensa por ocasião da moldagem.

O comprimento de fibra de 5 cm foi então escolhido como o mais conveniente. Além de apresentar um bom desempenho, este já havia sido usado preliminarmente.

5.3.2 - Comportamento tensão-deformação dos tijolos

Nas Tabelas 5.4 e 5.5 indicam-se os resultados de resistência à compressão simples dos tijolos de terra crua, e sua comparação com os tijolos queimados maciços disponíveis no mercado.

Em todos os casos os tijolos, foram moldados, por questão de trabalhabilidade, com umidades bem superiores à umidade ótima. A água em excesso funciona como lubrificante entre as partículas de solo. Com o tempo de cura, a evaporação diminui este efeito, aumentando consequentemente a resistência do tijolo.

Tabela 5.4 - Resultados de Resistência à Compressão Simples, solo de Taperoá.

Tijolo	Resistência à Compressão (MPa) - Cv (%)			
	Cura a o ar (A/S) = 28%			
Taperoá	7D - Cv	28D - Cv	60D - Cv	90D - Cv
Maciço queimado	2,07 - 18,67			
Solo+Sisal(4%)	3,02 - 6,30	3,13 - 3,34	2,88 - 18,70	2,80 - 10,90
Solo+Emulsão(2%)+Sisal(2%)-3cm	1,83 - 9,40	2,56 - 5,34		
Solo+Emulsão(2%)+Sisal(2%)-5cm	2,81 - 4,21	3,10 - 4,99		
Solo+Emulsão(2%)+Sisal(2%)-7cm	2,76 - 8,08	2,77 - 5,08		
Solo+Emulsão(2%)+Sisal(4%)-5cm	1,29 - 8,00	2,78 - 4,90	2,81 - 9,05	2,71 - 9,49

Tabela 5.5 - Resultados de Resistência à Compressão Simples, solo de João Pessoa.

Resistência a Compressão (MPa) - Cv (%)			
Tijolo	----- Cura a o ar ----- (A/S) = 28%		
João Pessoa	7D - Cv	28D - Cv	60D - Cv
Maciço queimado	2,07 - 18,67		
Solo Natural	1,35 - 4,10	1,43 - 11,50	
Solo+Sisal(2%)	3,31 - 9,08	3,31 - 6,08	
Solo+Emulsão(2%)	2,63 - 12,10	1,72 - 15,80	
Solo+Emulsão(2%)+Sisal(2%)	3,20 - 6,40	3,33 - 0,80	
Solo+Cal(6%)	1,36 - 9,50	1,72 - 4,80	2,51 - 6,90
Solo+Cal(6%)+Sisal(2%)	2,57 - 4,10	2,90 - 6,30	3,10 - 3,62

Quando se usa cimento ou cal como aditivo estabilizante seguramente a resistência aumenta com o tempo, pois a hidratação ou a carbonatação desses materiais é lenta e progressiva. Nestes casos, deve-se, nos primeiros dias impedir a evaporação rápida da água para que todas as reações químicas possam ocorrer.

As Figuras 5.9 a 5.16 mostram diversos diagramas tensão-deformação obtidos para os tijolos em diferentes composições variando-se o tempo de cura.

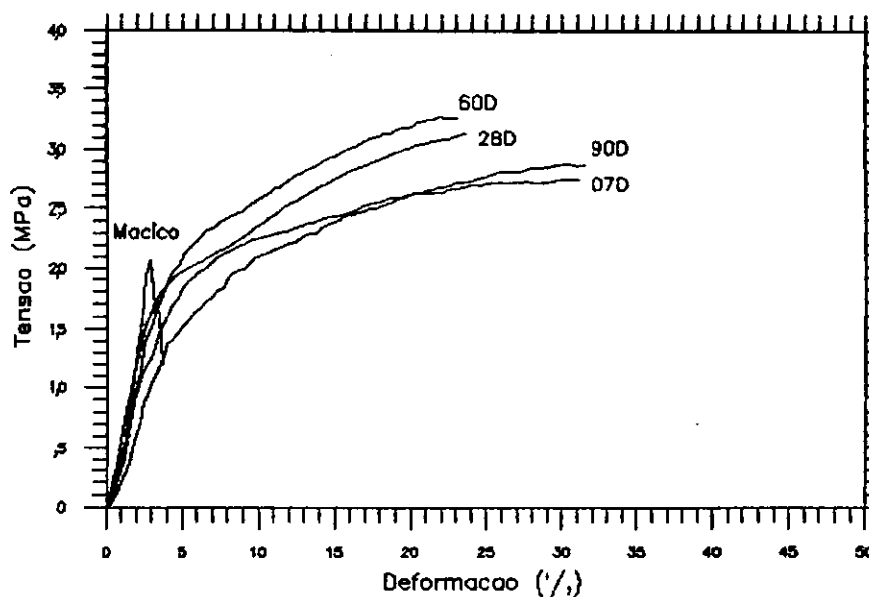


Figura 5.9 - Curvas tensão-deformação solo de Taperoá com 4% de fibras de sisal.

Na Figura 5.9 a queda de resistência mostrada na curva de 90 dias possivelmente se deve a um problema de mudança de operador na moldagem.

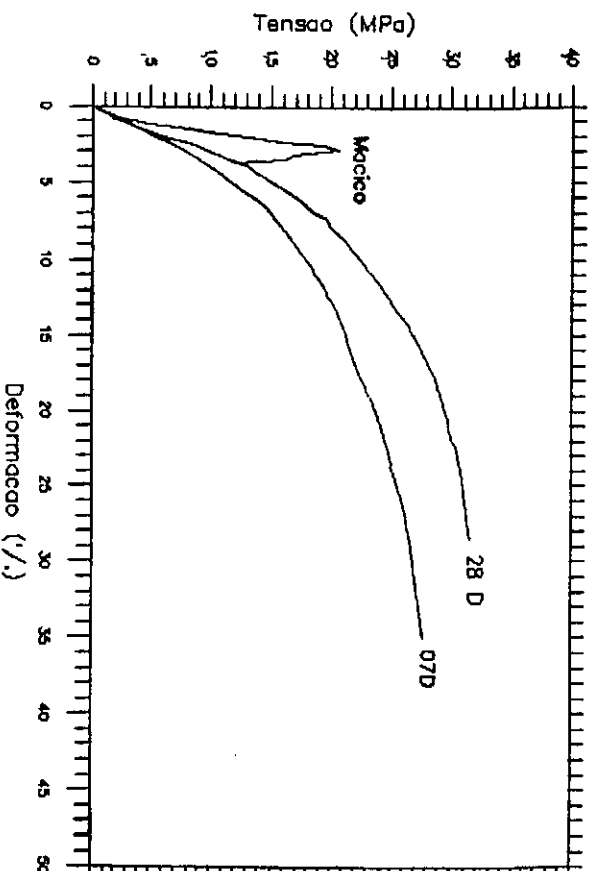


Figura 5.10 - Curvas tensão-deformação solo de Taperóá com 2% de emulsão asfáltica e 2% de fibras de sisal.

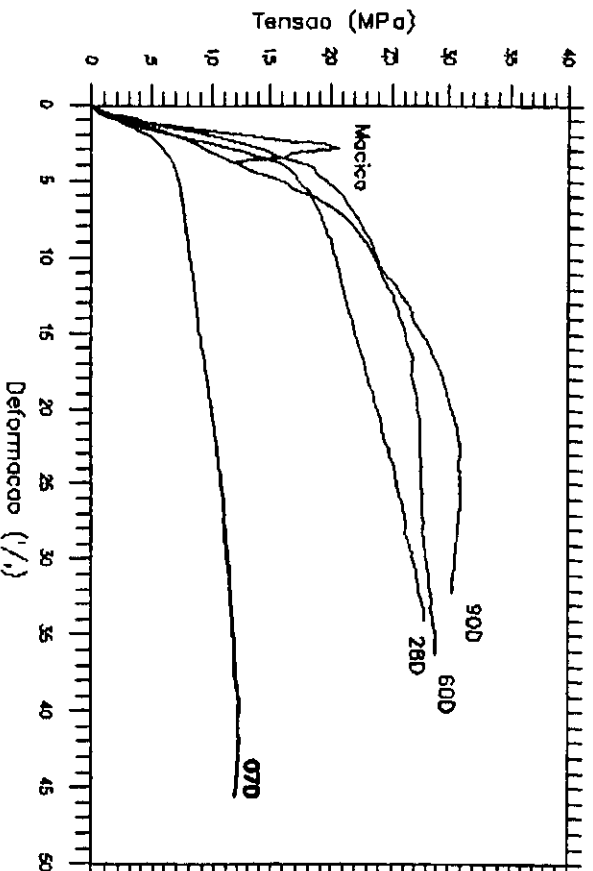


Figura 5.11 - Curvas tensão-deformação solo de Taperóá com 2% de emulsão asfáltica e 4% de fibras de sisal.

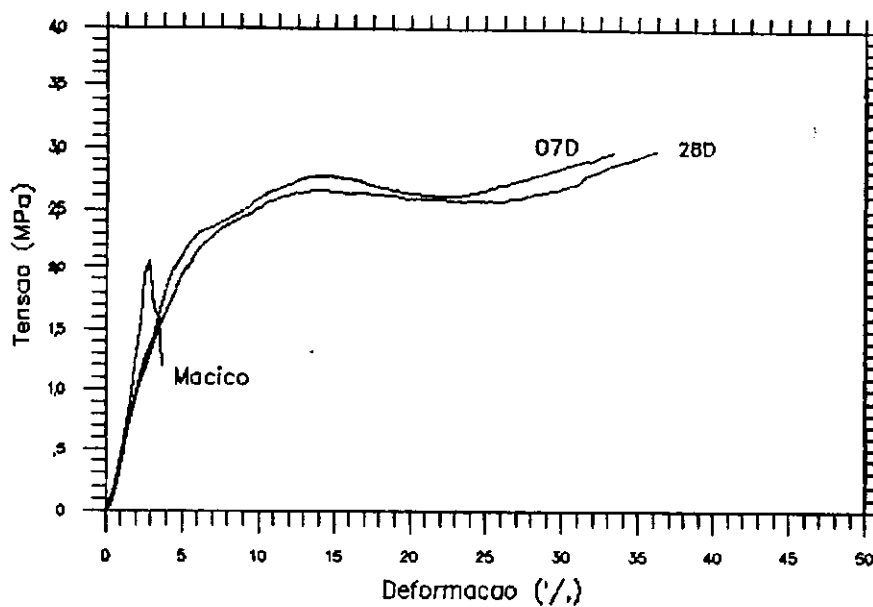


Figura 5.12 - Curvas tensao-deformação solo de Joao Pessoa com 2% fibras de sisal.

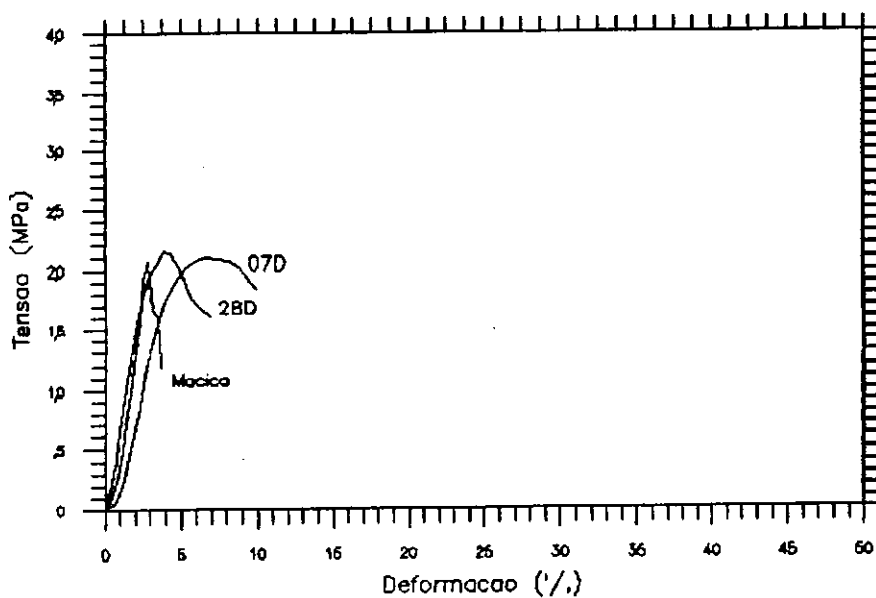


Figura 5.13 - Curvas tensao-deformação solo de Joao Pessoa com 2% de emulsao asfáltica.

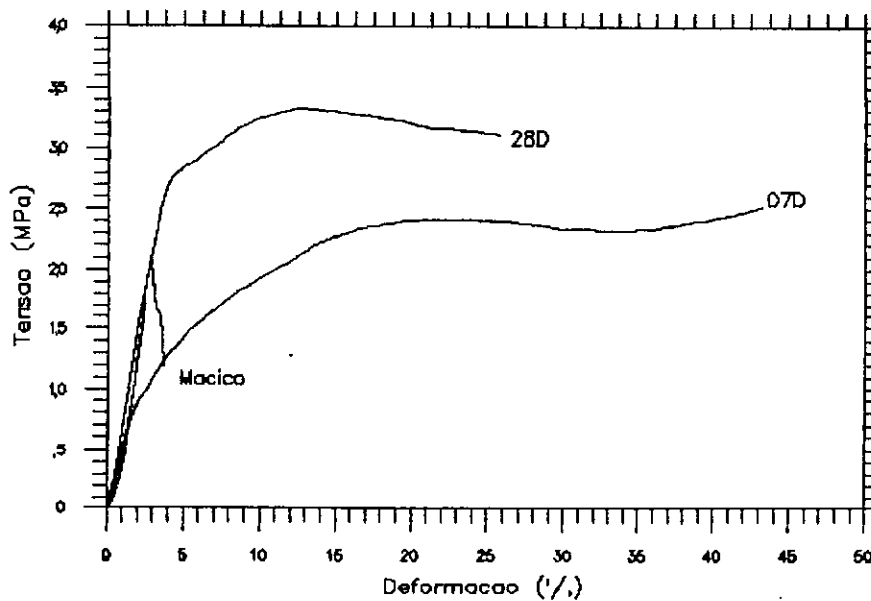


Figura 5.14 - Curvas tensao-deformação solo de Joao Pessoa com 2% emulsao asfáltica e 2% de fibras de sisal.

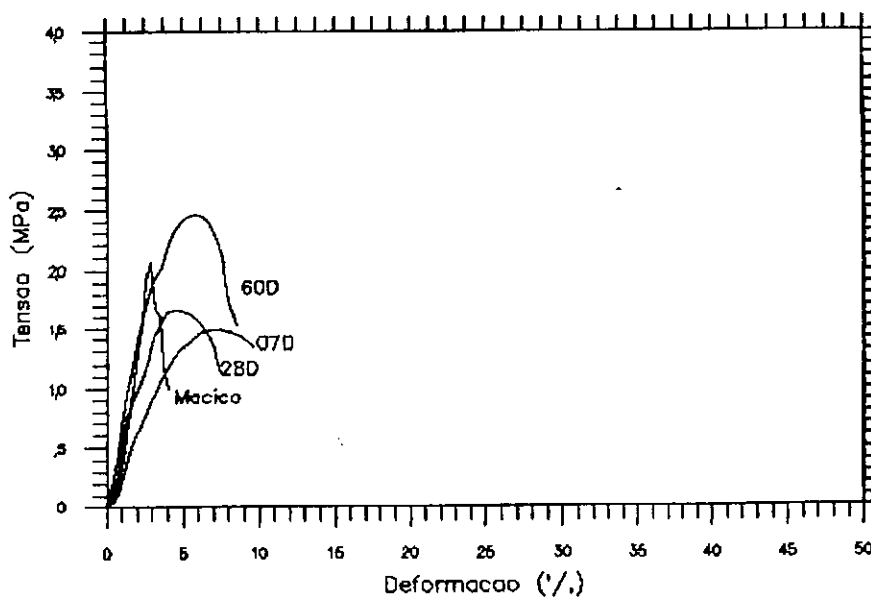


Figura 5.15 - Curvas tensao-deformação solo de Joao Pessoa com 6% de cal.

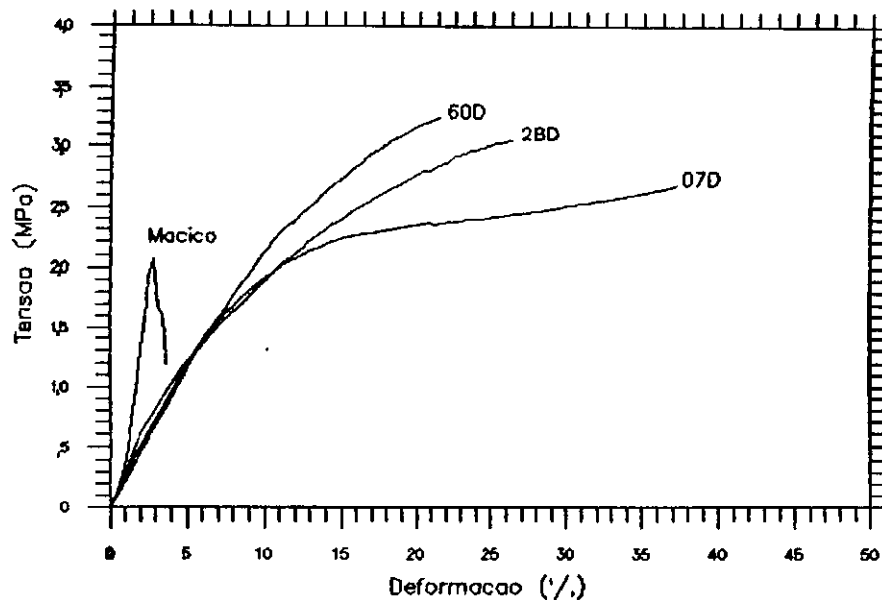


Figura 5.16 - Curvas tensão-deformação solo de Joao Pessoa com 6% de cal e 2% de fibras de sisal.

É visível a melhora do comportamento dos tijolos com a adição de fibras.

Compare-se, por exemplo, as figuras 5.13 com 5.14 e 5.15 com 5.16. Ocorre um aumento de área dos diagramas tensão-deformação, mesmo quando se usam aditivos estabilizantes.

5.3.3 - Valores selecionados para confecção dos tijolos

Com base no que foi previamente estudado, escolheram-se parâmetros para se continuar a trabalhar na fabricação dos tijolos. Estes estão indicados na Tabela 5.6.

Na definição dos parâmetros preliminarmente escolhidos para a moldagem dos tijolos tiveram peso, não só os resultados obtidos nos ensaios de corpos de prova, como também, aspectos ligados a trabalhabilidade.

Tabela 5.6 - Valores preliminarmente recomendados ao fabrico de tijolos com o solo de Taperoá e João Pessoa.

Solo	(%) Fibras	Comprimento de Fibras	Relação (A/S)	Aditivo	Quantidade Material na Prensa
T					
Natural	-	-	28%	-	2,5
A					
Fibras	4	5	28%	-	2,5
P					
Aditivo	-	-	28%	6% de cal 2% de emulsão	2,5
R					
Aditivo e fibras	4	5	28%	6% de cal 2% de emulsão	2,5
A					
J Natural	-	-	28%	-	2,5
O					
A Fibras	2	5	28%	-	2,5
O					
Aditivo	-	-	28%	6% de cal 2% de emulsão	2,5
P					
E					
S					
Aditivo e fibras	2	5	28%	6% de cal 2% de emulsão	2,5
O					
A					

5.3.4 - Variações dimensionais

Nas Tabelas 5.7 e 5.8 são mostradas as variações dimensionais nas direções do comprimento (C), largura (L) e espessura (e).

Tabela 5.7 - Variações dimensionais dos tijolos com o solo de Taperoá

Tijolo	Variações Dimensionais (%) - Cv (%)				
	----- C u r a a o a r -----				
Taperoá	Direção	7D - Cv	28D - Cv	60D - Cv	90D - Cv
Solo Natural	C(%)	6,04-3,80	7,14-4,40	7,34-5,15	7,36-5,30
	L(%)	5,55-5,60	6,45-2,70	6,34-5,42	6,36-5,60
	e(%)	5,35-2,40	5,73-5,60	5,80-4,56	5,80-4,56
Solo+Sisal(2%)+Cal(6%)	C(%)	3,07-8,87	3,15-9,17	3,26-5,00	3,26-1,17
	L(%)	3,25-7,06	3,64-6,77	3,66-8,72	3,66-6,71
	e(%)	0,38-1,53	1,48-46,0	2,14-2,32	2,81-11,6
Solo+Sisal(4%)+Cal(8%)	C(%)	3,10-7,50	3,58-10,0	3,92-7,80	3,92-7,80
	L(%)	3,53-5,30	3,66-6,30	3,68-6,30	3,77-9,90
	e(%)	2,94-12,5	3,23-10,0	3,21-10,7	3,26-9,30
Solo+Sisal(4%)+Emulsao(2%)	C(%)	4,91-5,33	5,15-5,80	5,44-7,48	5,53-7,00
	L(%)	4,22-3,57	4,66-5,27	4,85-6,71	4,89-2,00
	e(%)	4,92-7,92	6,40-16,4	6,40-12,4	6,75-12,0

Observa-se que com o solo natural teve-se uma maior retração. Quando se usou cal como aditivo obteve-se uma redução da retração. A mistura solo-fibra-cal consegue quase que eliminar a diminuição de volume dos tijolos durante a cura. Nota-se que a adição das fibras sozinhas não conseguiu reduzir significativamente a variação dimensional dos tijolos feitos com o solo de João Pessoa. A maior perda da retração é devido à evaporação do excesso da água de moldagem. Aos 7 dias, em tempo seco, quase toda a

água de moldagem já evaporou. Daí a retração dos tijolos entre o 7º e o 28º dia ser praticamente nula. No caso em que a cal atua, esta evaporação era bem diminuída por conta do processo de cura úmida efetuada nestes tijolos.

Como nas construções os tijolos não seriam empregados antes de completar duas semanas de idade, significa que quando do seu uso a retração principal já ocorreu, não devendo pois haver maiores preocupações.

Tabela 5.8 - Variações dimensionais dos tijolos com o solo de João Pessoa.

Tijolo	Variações Dimensionais (%) - Cv (%)			
		----- Cura a o a r -----		
João Pessoa	Direção	07D - Cv	28D - Cv	60D - Cv
Solo Natural	C(%)	3,97-5,25	4,00-10,9	
	L(%)	4,43-9,39	4,56-6,30	
	e(%)	3,12-10,2	3,23-9,94	
Solo+Sisal(2%)	C(%)	4,00- 5,2	4,00-10,9	
	L(%)	4,40- 9,4	4,60- 6,3	
	e(%)	3,10-10,2	3,20- 9,9	
Solo+Emulsao(2%)	C(%)	4,60- 8,0	4,60- 8,0	
	L(%)	4,90- 7,3	4,90- 7,3	
	e(%)	0,20- -	12,0- 7,3	
Solo+Sisal(2%)+Emulsao(2%)	C(%)	4,40- 3,6	4,50- 4,8	
	L(%)	2,20-10,7	2,50- 6,9	
	e(%)	5,50- 5,5	5,80-11,3	
Solo+Cal(6%)	C(%)	1,60-12,9	1,60-12,9	1,70-13,5
	L(%)	1,10- 3,8	1,10- 3,8	1,40- 3,1
	e(%)	1,00- 1,5	1,20-12,6	1,20-11,3
Solo+Sisal(2%)+Cal(6%)	C(%)	0,13- -	0,50- 7,6	0,50-10,2
	L(%)	0,34-14,6	0,40- 1,6	0,40- 1,2
	e(%)	0,24- 4,2	0,25- 4,0	0,70- 4,9

Nota-se que com o solo natural de Taperoá obtém-se maior retração que com aquele de João Pessoa. Isto se deve

ao fato de que nos tijolos confeccionados com o solo de Taperoá, as medidas de moldagem que são tomadas como referências foram inicialmente consideradas como sendo as dimensões da prensa, o que não corresponde a realidade. Para o solo de João Pessoa adotou-se as dimensões dos tijolos, no momento da confecção, como sendo as medidas de referência.

5.3.5 - Absorção

A Tabela 5.9 apresenta resultados de absorção em tijolos nos quais se inclui aditivos. Cada valor representa a média de cinco tijolos. Para efeito de comparação apresentou-se também o valor de absorção de tijolos maciços comuns, queimados.

Tabela 5.9 - Resultados de absorção de água.

Tijolo	Absorção (%) - Cv (%)		
	Cura ao ar		
João Pessoa	07D - Cv	28D - Cv	60D - Cv
Maciço queimado	11,94-13,60		
Solo+emulsão(2%)	17,37- 3,42	17,43- 1,92	
Solo+sisal(2%)+emulsão(2%)	23,90- 3,40	15,30- 0,90	
Solo+cal(6%)	17,32- 5,60	16,12- 3,60	12,60- 8,80
Solo+cal(6%)+sisal(2%)	18,90- 1,90	20,30- 3,00	14,70- 3,20
Taperoá	07D - Cv	28D - Cv	60D - Cv
Maciço queimado	11,94-13,60		
Solo+sisal(4%)+emulsão(2%)	13,26- 4,40	15,83- 4,90	13,02- 8,10
Solo+sisal(4%)+cal(8%)	20,35- 7,26	28,13- 2,26	19,32- 2,37

De uma maneira geral, os tijolos que tem fibras de sisal apresentam maior absorção. Isto era de se esperar,

tendo vista a grande avidez por água que os materiais vegetais apresentam.

Comparando-se com a absorção de tijolos cerâmicos, percebe-se que os tijolos de terra crua apresentam absorção um pouco maior. No caso do solo de Joao Pessoa, quando se usou cal e a imersão foi feita após 60 dias de cura, a absorção avizinha-se daquela do tijolo queimado.

Com o solo de Taperoá a emulsão trabalhou melhor. Salienta-se, porém, que a cal empregada foi de outra marca, tendo sido armazenada indevidamente.

Os valores obtidos com os tijolos moldados com o solo de Joao Pessoa e Taperoá podem ser considerados aceitáveis para o emprego nas construções.

Picchi et alli [39] obteve absorção entre 20 e 26% em tijolos de solo-cal.

5.3.6 - Durabilidade

Os resultados dos ensaios de durabilidade por perda de massa por molhagem e secagem feitos nos tijolos com aditivos são mostrados na Tabela 5.10.

Quando usou-se mistura com fibras a perda de massa dos tijolos foi maior, pois as fibras davam à superfície do tijolo uma textura rugosa, que em contato com as cerdas metálicas da escova, emaranhavam-se e eram arrancadas pelo seu movimento de vai-e-vem. Com a cal a superfície torna-se lisa e dura, e a escova metálica podia deslizar mais facilmente, sem emaranhar-se com as fibras.

Tabela 5.10 - Resultados de durabilidade por perda de massa.

Tijolos	Método	Durabilidade (%) - Cv (%)		
		Cura ao ar		
João Pessoa		7D - Cv	28D - Cv	60D - Cv
Solo+Emulsão(2%)	A	4,50- 9,90	5,00-13,60	
	B	6,90-10,70	6,60- 5,20	
Solo+Cal(6%)	A	3,60- 3,20	3,30-10,90	4,10- 6,20
	B	5,70-10,50	7,50- 8,60	5,70- 9,70
Solo+Sisal(2%)+Emulsão(2%)	A	9,80- 4,30	6,40- 8,20	
	B	21,80- 2,50	17,40-17,60	
Solo+Sisal(2%)+Cal(6%)	A	3,70- 7,60	4,40- 0,00	4,00- 7,40
	B	8,90- 9,30	5,60- 6,70	5,60- 7,40

Como era de se esperar, a perda de massa no método B de ensaio (escovação após cada ciclo de molhagem e secagem) foi superior à do método A.

Quando foi usada a cal como estabilizante, já após 28 dias de cura, a perda de massa apesar dos ensaios relativamente severos foi pequena. Em [39] foram encontradas perdas maiores.

Pode-se observar, que os valores obtidos a 60 dias com teor de 6% de cal, a perda de massa foi inferior a 6% para ambos os métodos, o que pode ser considerado um valor razoável.

A perda de massa ficou entre 4,4 e 6,6% para a emulsao asfáltica a 28 dias de cura, exceto quando se adicionou fibras a perda de massa foi maior.

5.3.7 - Mistura em repouso

Os resultados obtidos pelo ensaio de compressao em tijolos moldados com o solo de Joao Pessoa e fibras previamente misturadas e deixado em repouso já com 28% de umidade, sao mostrados nos gráficos das Figuras 5.17 e 5.18.

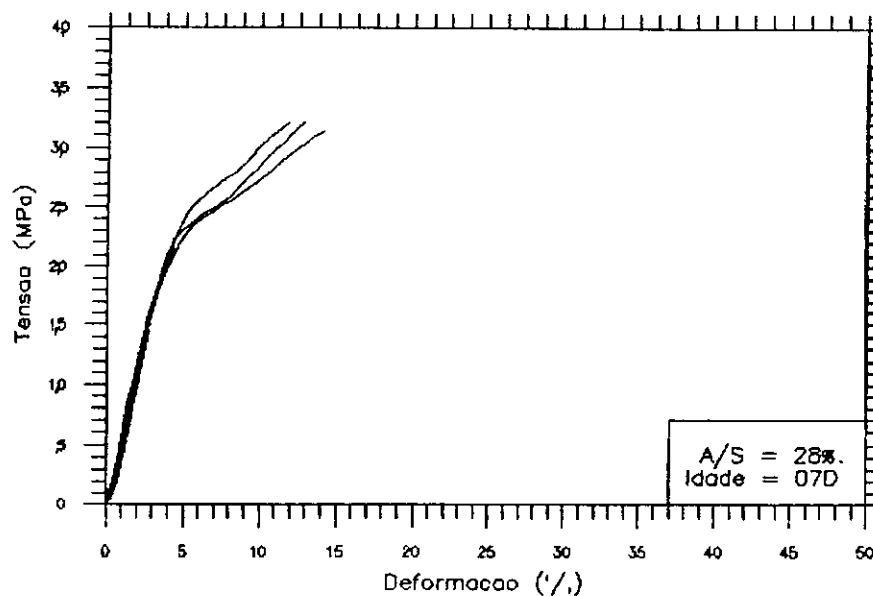


Figura 5.17 - Curvas tensao-deformação solo de Joao Pessoa com 2% fibras de sisal, 60 dias em repouso e 7 dias de cura ar.

Pode-se observar que os resultados nao sofreram muito influencia do tempo de repouso e de cura, a tendencia é de permanecer com os valores superiores a 3,0 a 3,3 MPa.

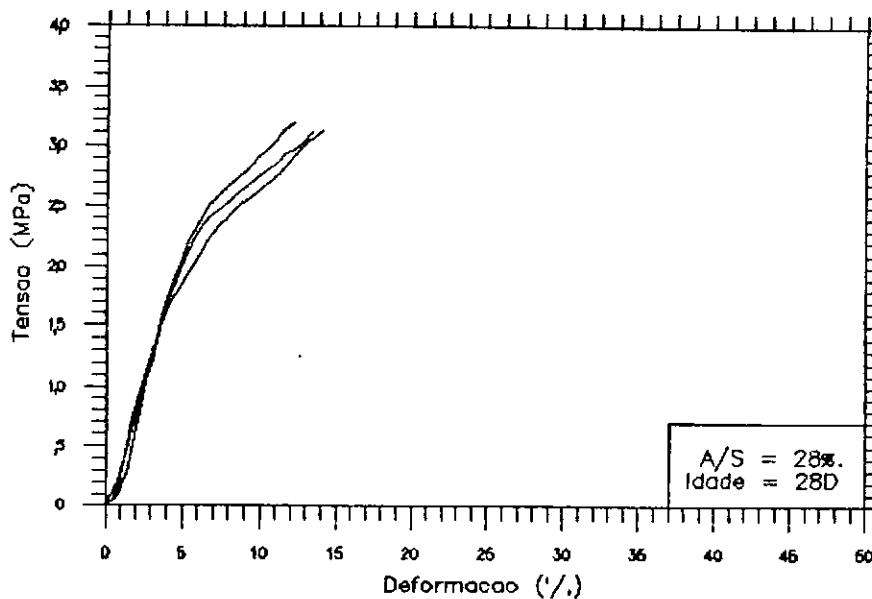


Figura 5.18 - Curvas tensão-deformação solo de João Pessoa com 2% de fibras, 60 dias em repouso e 28 dias de cura ar.

Em virtude da limitação do equipamento os tijolos não chegaram a serem rompidos. A prensa PAVITEST suporta uma carga máxima de 4000 Kgf e os tijolos só rompem acima desta carga.

Observa-se que as curvas ainda se apresentaram ascendentes quando os ensaios tiveram que ser interrompidas por conta da limitação imposta pela capacidade da carga do equipamento. Obteve-se também curvas de tensão-deformação para a mistura com 30 e 90 dias de repouso. O aspecto foi completamente semelhante.

Conclui-se, pois, que a ruptura dos tijolos só iria acontecer com tensões seguramente superiores a 3,2 MPa.

Observou-se ainda que quanto à trabalhabilidade foi

sensivelmente melhorada, com o material apresentando-se bem mais macio e homogêneo. Esta homogeneidade pode ser atestada pela coincidência dos diagramas tensão-deformação indicados nas Figuras 5.17 e 5.18.

5.3.8 - Correção Granulométrica

Foram feitas misturas dos solos de Campina Grande e Areia com diferentes percentagens do solo de João Pessoa.

Os ensaios de caracterização destas misturas estão indicadas nas Tabelas 5.11 e 5.12.

Pode-se notar que a mistura com o solo de João Pessoa conduz a um considerável aumento dos finos do solo (silte + argila).

Tabela 5.11 - Características dos solos corrigidos granulometricamente.

MISTURA	CAMPINA GRANDE (%) + JOAO PESSOA (%)			
	(80%) + (20%)	(70%) + (30%)	(60%) + (40%)	C. GRANDE
GRANULOMETRIA - ABNT (%)				
Pedregulho (acima de 4,8 mm)	0,20	0,10	0,20	,40
Areia grossa (4,8 a 0,84 mm)	12,30	8,90	7,80	13,60
Areia média (0,84 a 0,25 mm)	35,50	35,50	34,00	30,00
Areia fina (0,25 a 0,05 mm)	34,00	33,50	34,00	40,50
TOTAL DE AREIA	81,80	79,90	75,80	84,10
Silte	7,60	9,20	6,50	9,70
Argila	10,40	12,80	17,50	5,80
Silte + argila	18,00	22,00	24,00	15,50
MASSA ESPECIFICA DOS GRAOS (g/cm ³)	2,643	2,667	2,663	2,637
LIMITES DE ATTERBERG:				
Limite de Liquidez - LL (%)	HL	HL	HL	HL
Limite de Plasticidade - LP (%)	NP	NP	NP	NP
Índice de Plasticidade - IP (%)	-	-	-	-

Tabela 5.12 - Características dos solos corrigidos granulometricamente.

MISTURA	AREIA (%) + JOÃO PESSOA (%)			
GRANULOMETRIA - ABNT (%)	(80%) + (20%)	(70%) + (30%)	(60%) + (40%)	AREIA
Pedregulho (acima de 4,8 mm)	0,10	0,00	0,10	0,10
Areia grossa (4,8 a 0,84 mm)	19,40	17,50	14,90	23,90
Areia média (0,84 a 0,25 mm)	38,00	37,00	35,00	40,00
Areia fina (0,25 a 0,05 mm)	25,00	24,50	27,50	28,50
TOTAL DE AREIA	82,40	79,00	77,40	91,90
Silte	6,50	6,00	5,30	4,00
Argila	11,00	15,00	17,20	4,00
Silte + argila	17,50	21,00	22,50	8,00
MASSA ESPECIFICA DOS GRãos (g/cm ³)	2,635	2,649	2,648	2,635
LIMITES DE ATTERBERG:				
Limite de Liquidez - LL (%)	HL	HL	HL	HL
Limite de Plasticidade - LP (%)	HP	HP	HP	HP
Índice de Plasticidade - IP (%)	-	-	-	-

5.3.8.1 - Comportamento tensão-deformação dos tijolos corrigidos granulometricamente.

Na Tabela 5.13 indicam-se os resultados de resistência à compressão simples dos tijolos corrigidos granulometricamente.

Um exame na Tabela 5.13 mostra que houve um aumento da resistência dos tijolos quando se adicionou a fibra de sisal o que já era previsto. Não houve em alguns casos o aumento esperado da resistência entre os 7 e 28 dias de cura.

Tabela 5.13 - Resultados de Resistência à Compressão Simples.

Resistência a Compressão (MPa) - Cv (%)		
Tijolo	----- C u r a a o a r -----	
Mistura de Solos	07 D - Cv	28D - Cv
C. Grande (80%) + João Pessoa (20%) (A/S) = 14%	0,41 - 10,42	1,11 - 9,00
C. Grande (70%) + João Pessoa (30%) (A/S) = 14%	0,89 - 9,52	1,19 - 2,50
C. Grande (60%) + João Pessoa (40%) (A/S) = 14%	1,31 - 3,10	1,34 - 6,70
C. Grande (80%) + João Pessoa (20%) + Sisal (2%) (A/S) = 20%	2,46 - 4,07	2,57 - 7,30
C. Grande (70%) + João Pessoa (30%) + Sisal (2%) (A/S) = 20%	2,76 - 7,38	2,76 - 5,97
C. Grande (60%) + João Pessoa (40%) + Sisal (2%) (A/S) = 20%	2,49 - 9,56	2,38 - 4,80
Areia (80%) + João Pessoa (20%) (A/S) = 14%	1,12 - 1,58	1,39 - 4,28
Areia (70%) + João Pessoa (30%) (A/S) = 14%	1,07 - 8,60	0,96 - 7,20
Areia (60%) + João Pessoa (40%) (A/S) = 14%	0,97 - 4,92	1,09 - 7,47
Areia (80%) + João Pessoa (20%) + Sisal (2%) (A/S) = 18%	2,51 - 7,85	2,84 - 3,46
Areia (70%) + João Pessoa (30%) + Sisal (2%) (A/S) = 18%	2,99 - 7,60	2,77 - 9,13
Areia (60%) + João Pessoa (40%) + Sisal (2%) (A/S) = 18%	2,71 - 4,30	2,74 - 6,05

Nota-se que os valores de resistência à compressão simples para a mistura com o solo de Areia foram sempre superiores aos da mistura com o solo de Campina Grande.

A percentagem de adição do solo de João Pessoa, na mistura com fibras, que conduziu a maior resistência, tanto com o solo de Areia quanto com o solo de Campina Grande foi de 30%.

As Figuras 5.19 e 5.20 mostram as curvas tensão-deformação das misturas dos solos de Campina Grande e Areia com o solo de João Pessoa e com 2% de fibras de sisal. Vê-se que a correção granulométrica é fundamental para estes dois tipos de solo.

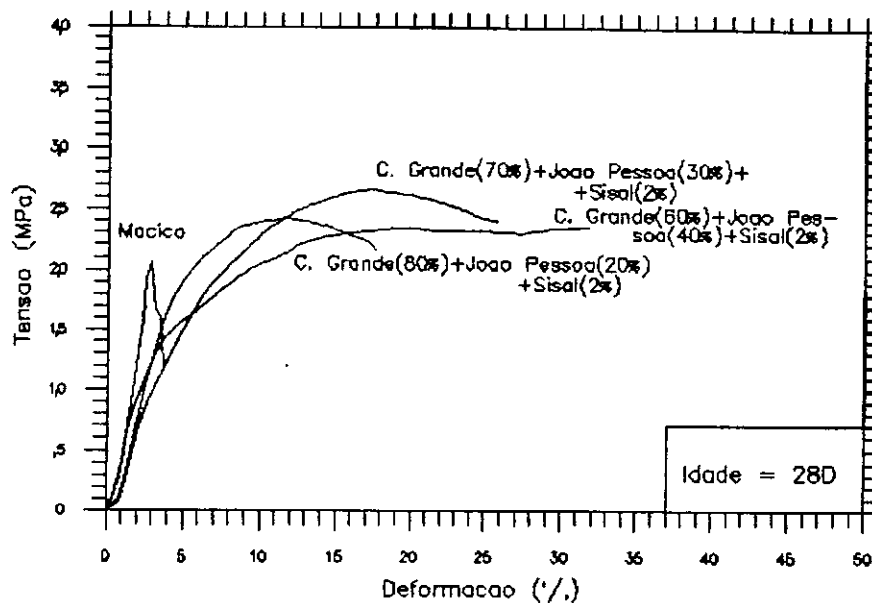


Figura 5.19 - Curvas tensão-deformação solo de Campina Grande com solo de Joao Pessoa e 2% de fibras de sisal.

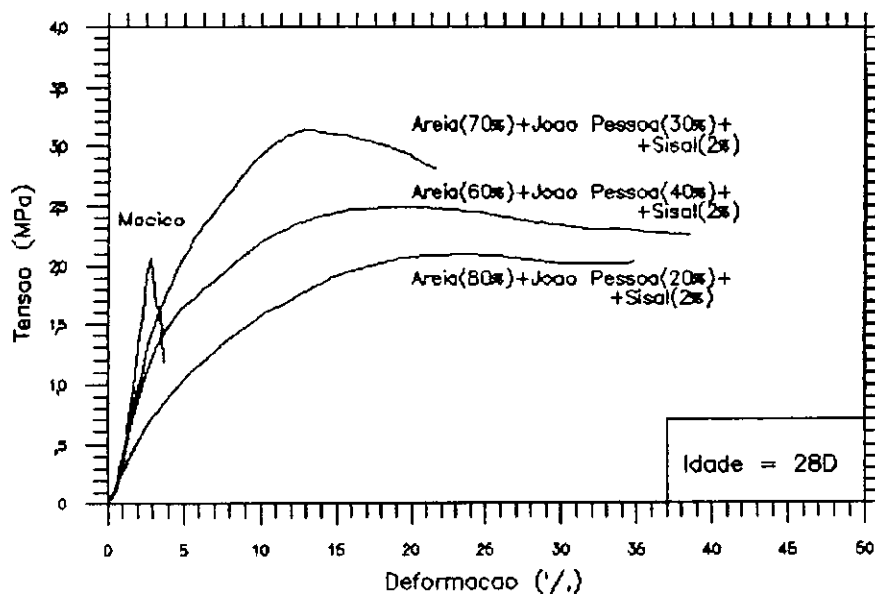


Figura 5.20 - Curvas tensão-deformação solo de Areia com solo de Joao Pessoa e 2% de fibras de sisal.

5.3.8.2 - Variação dimensional dos tijolos corrigidos granulometricamente.

Nas Tabelas 5.14 e 5.15 são mostradas as variações dimensionais nas direções do comprimento (C), largura (L) e espessura (e).

Pode-se notar nas Tabela 5.14 e 5.15, que a variação dimensional devido a secagem da água de moldagem foi praticamente inexistente, visto que as misturas dos solos de Campina Grande e Areia são predominantemente arenosos, o que diminui a retração do material. A quantidade adicional de finos aos solos contribuiu apenas para torná-los mais coesos.

Tabela 5.14 - Variações dimensionais dos tijolos

Tijolo	Variações Dimensionais (%) - Cv (%)		
	----- C u r a a o a r -----		
Mistura de solos	Direção	7D - Cv	28D - Cv
João Pessoa (20%) + C. Grande (80%)	C(%)	0,09 - 0,00	0,09 - 0,00
	L(%)	0,00 - 0,00	0,09 - 0,00
	e(%)	1,30 - 6,40	1,27 - 0,00
João Pessoa (30%) + C. Grande (70%)	C(%)	0,07 - 44,41	0,06 - 51,00
	L(%)	0,00 - 0,00	0,00 - 0,00
	e(%)	0,23 - 2,60	0,23 - 2,60
João Pessoa (40%) + C. Grande (60%)	C(%)	0,09 - 0,00	0,09 - 0,00
	L(%)	0,00 - 0,00	0,18 - 3,82
	e(%)	0,23 - 2,60	0,46 - 3,10
João Pessoa (20%) + Areia (80%)	C(%)	0,32 - 16,24	0,35 - 0,00
	L(%)	0,00 - 0,00	0,00 - 0,00
	e(%)	0,24 - 2,30	0,24 - 2,30
João Pessoa (30%) + Areia (70%)	C(%)	0,20 - 14,00	0,16 - 23,00
	L(%)	0,09 - 0,00	0,09 - 0,00
	e(%)	0,00 - 0,00	0,00 - 0,00
João Pessoa (40%) + Areia (60%)	C(%)	0,40 - 20,10	0,38 - 13,70
	L(%)	0,18 - 3,15	0,18 - 3,15
	e(%)	0,22 - 0,00	0,22 - 0,00

Tabela 5.15 - Variações dimensionais dos tijolos

Tijolo	Variações Dimensionais (Z) - Cv (Z)		
	----- C u r a a o a r -----		
Mistura de solos	Direção	7D - Cv	28D - Cv
João Pessoa (20%) + C. Grande (80%) + Sisal (2%)	C(Z)	0,29 - 12,40	0,31 - 21,00
	L(Z)	0,09 - 0,00	0,09 - 0,00
	e(Z)	0,58 - 28,30	0,58 - 28,30
João Pessoa (30%) + C. Grande (70%) + Sisal (2%)	C(Z)	0,44 - 13,00	0,44 - 0,00
	L(Z)	0,59 - 10,00	0,50 - 11,30
	e(Z)	0,45 - 2,00	0,45 - 3,10
João Pessoa (40%) + C. Grande (60%) + Sisal (2%)	C(Z)	0,13 - 0,00	0,60 - 15,45
	L(Z)	0,00 - 0,00	0,23 - 23,10
	e(Z)	0,00 - 0,00	0,22 - 2,60
João Pessoa (20%) + Areia (80%) + Sisal (2%)	C(Z)	0,20 - 14,00	0,37 - 7,87
	L(Z)	0,00 - 0,00	0,36 - 33,90
	e(Z)	0,00 - 0,00	0,00 - 0,00
João Pessoa (30%) + Areia (70%) + Sisal (2%)	C(Z)	0,37 - 18,50	0,38 - 16,90
	L(Z)	0,00 - 0,00	0,22 - 21,30
	e(Z)	0,60 - 23,50	0,75 - 14,30
João Pessoa (40%) + Areia (60%) + Sisal (2%)	C(Z)	0,12 - 19,79	0,27 - 17,10
	L(Z)	0,00 - 0,00	0,09 - 0,00
	e(Z)	0,23 - 0,00	0,78 - 18,31

CAPITULO VI

ENSAIO DE UM PAINEL DE TIJOLOS DE SOLO FIBRA

Com o fim de se verificar o comportamento dos tijolos de solo-fibra quando constituindo uma parede, foi ensaiado na Universidade Federal da Paraíba, um painel de 1,17m de altura por 1,19m de comprimento. Como se dispunha de apenas um macaco hidráulico, a fim de a distribuição de tensões ser o mais uniforme possível, no topo da parede, foram usados dois perfis metálicos. Sua altura foi calculada supondo-se que, do macaco, parta um fluxo de tensões com inclinação de 45° . Nas extremidades da parede

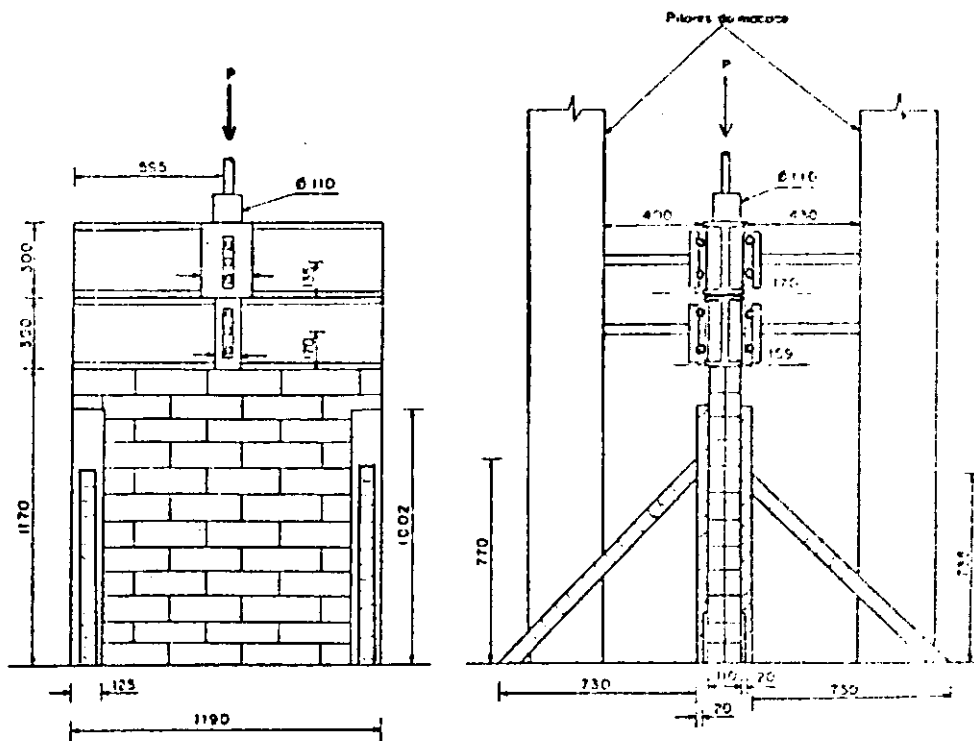


Figura 6.1 - Esquema geral do ensaio.

foi feita uma contenção lateral através de anteparos de madeira, conforme mostra a Figura 6.1.

6.1 - Características do ensaio

O painel foi ensaiado duas vezes:

- no primeiro ensaio foram aplicados três ciclos de carga antes de se tentar levar a parede à ruptura. Quando a carga total se aproximava de 140 KN (correspondente à tensão média próxima de 1 MPa), um pequeno empenamento dos perfis de distribuição de carga provocou a ruptura de um dos rolamentos que o mantinham na posição vertical. O ensaio teve então que ser interrompido com a parede ainda intacta. Detalhes sobre este teste encontram-se na ref[68].

- num segundo ensaio, cerca de dez meses após, foi aplicado um ciclo único de carregamento, após a aplicação de uma carga de acomodação de 2 KN.

A instrumentação consistiu da instalação de extensômetros mecânicos de 0,01 mm de precisão, instalados nos pontos indicados na Figura 6.2.

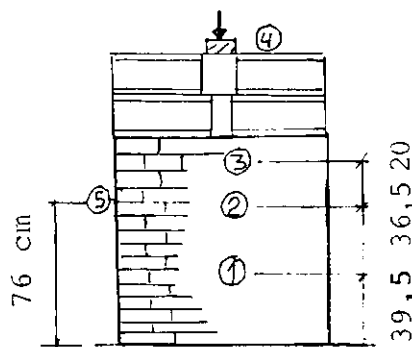


Figura 6.2 - Instrumentação da parede.

6.2 - Características do painel

O painel de parede media 117 cm de altura por 119 cm de comprimento e 11 cm de espessura. Os tijolos foram confeccionados com o solo de Taperoá, com 4% de fibras de sisal e 2% de emulsão asfáltica.

O material de assentamento dos tijolos foi o mesmo usado na fabricação dos mesmos.

Para controlar sua resistência, por ocasião da confecção das paredes, foram preparados seis corpos de prova cilíndricos de 5 cm de diâmetro por 10 cm de altura.

Também foram ensaiados à compressão 5 tijolos do mesmo lote com o qual se confeccionou a parede.

Por ocasião do primeiro ensaio, as resistências médias obtidas foram as indicadas na tabela 6.1 são também mostradas as idades dos materiais.

Tabela 6.1 - Resistência à compressão e idade dos constituintes das paredes.

Tijolo	2,71	90 dias
Argamassa	1,55	45 dias

Pode-se notar que, embora feitos dos mesmos materiais, o tijolo apresenta uma resistência média cerca de 75% superior à da argamassa. Isto era de se esperar, visto que, durante o assentamento, não se consegue aplicar à argamassa energia de prensagem da mesma ordem daquela imposta aos tijolos quando de sua moldagem.

6.3

- Apresentação dos resultados do ensaio

A Figura 6.3 mostra as curvas carga-deslocamento vertical do topo da parede obtidas nos primeiro e segundo ensaios. A acomodação da parede é indicada pelas deformações residuais dos primeiros ciclos de carga. No último ciclo do primeiro ensaio, percebe-se que o sistema de distribuição de carga comportava-se bem até os 100 kN. A partir daí o extensômetro do topo do perfil passou a registrar que os deslocamentos cresciam mais rapidamente, em consequência de pequena rotação do macaco.

Após o descarregamento no primeiro ensaio, com a parede em perfeitas condições, o sistema de contenção dos perfis foi aperfeiçoado para execução do segundo teste. Neste último observa-se um comportamento quase linear até níveis de 140 kN.

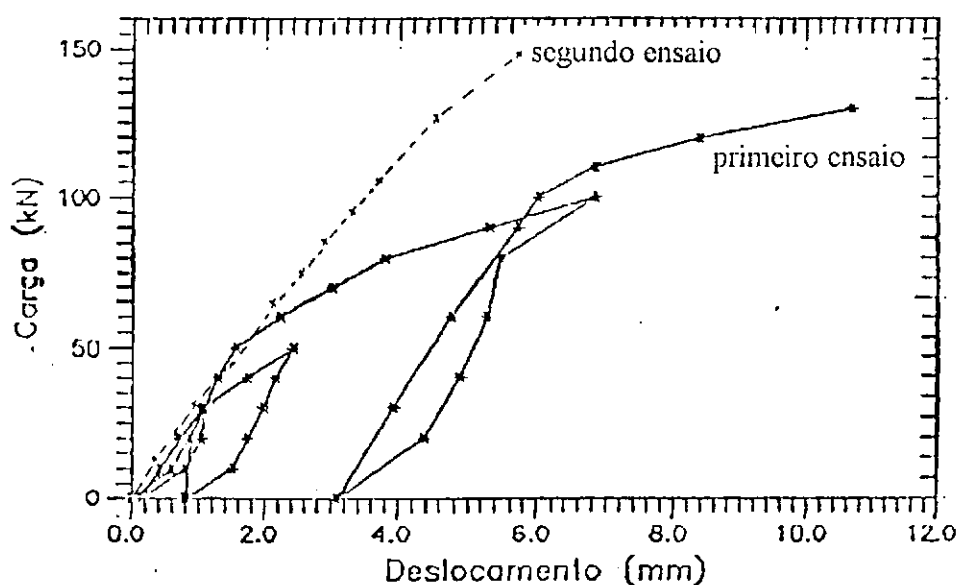


Figura 6.3 - Curvas carga-deslocamento vertical da parede.

Quando o carregamento total chegou a 155 kN, ocorreu novamente a rotação do sistema de aplicação de carga. Esta flexionou o topo da parede, provocando uma fissura na ligação da segunda com a terceira fiada (Figura 6.4 a). Neste nível de carga, notou-se bem poucos tijolos fissurados sempre com fissuras de pequena abertura. Em muitas juntas, porém não em todas, as fissuras apresentavam-se mais abertas (Figura 6.4 b)

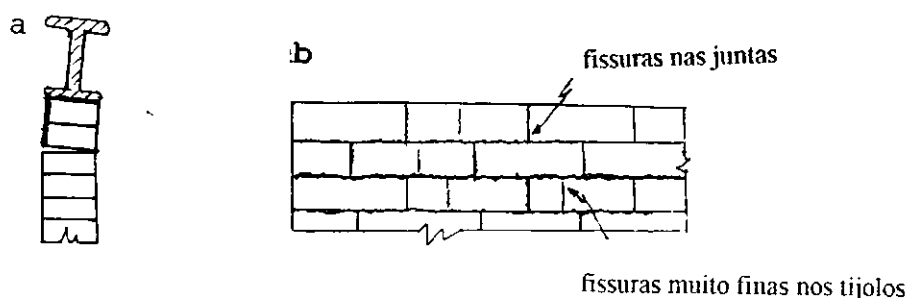


Figura 6.4 - Fissuras na parede sob carga de 155 kN.

A Figura 6.5 mostra agora a curva do segundo ensaio expressa em termos de tensão e deformação específica médias. Para tanto, a tensão foi obtida dividindo-se a carga pela área de contacto do perfil com a parede e a deformação foi tomada como sendo o resultado da divisão do deslocamento vertical pela altura da parede.

Sendo a relação tensão-deformação praticamente linear, pode-se extrair o módulo de elasticidade da parede, o qual resultou próximo de 250 MPa.

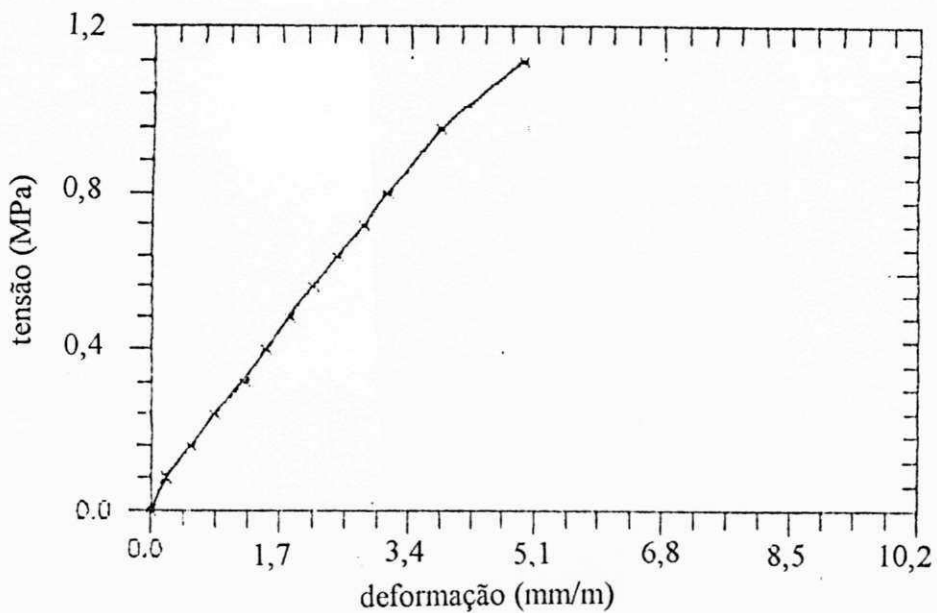


Figura 6.5 - Curva tensão-deformação específica média da parede.

A Figura 6.6 indica os deslocamentos normais ao plano da parede. O extensômetro central acusou maiores deslocamentos. Porém, mesmo para carga próxima daquela que provocou a instabilidade do sistema de carregamento, o deslocamento máximo transversal não passou de 0,51% da altura da parede.

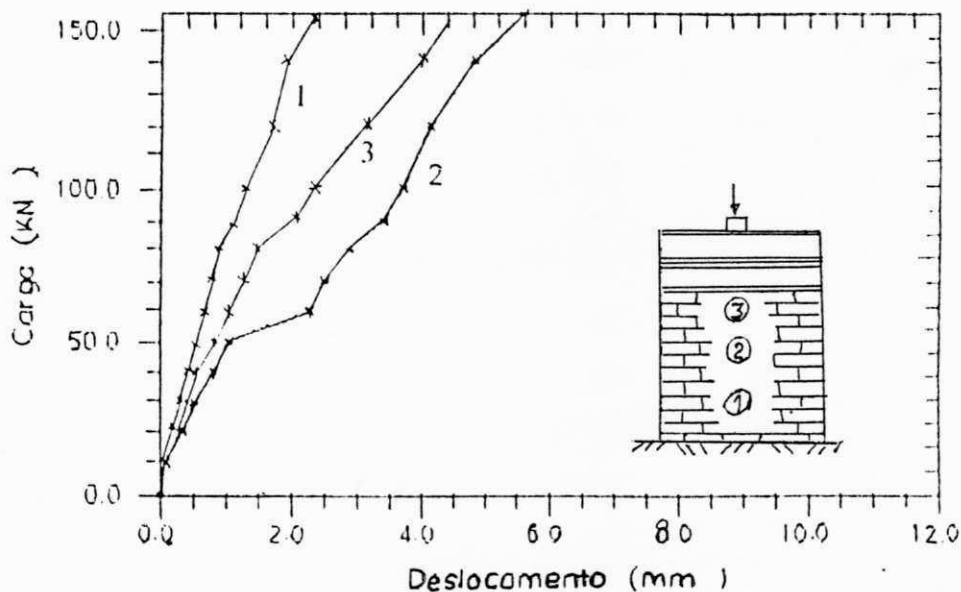


Figura 6.6 - Curvas carga-deslocamento transversal da parede.

A Figura 6.7 mostra o gráfico representativo dos deslocamentos ocorridos lateralmente na extremidade da parede. Estes foram de fato insignificantes.

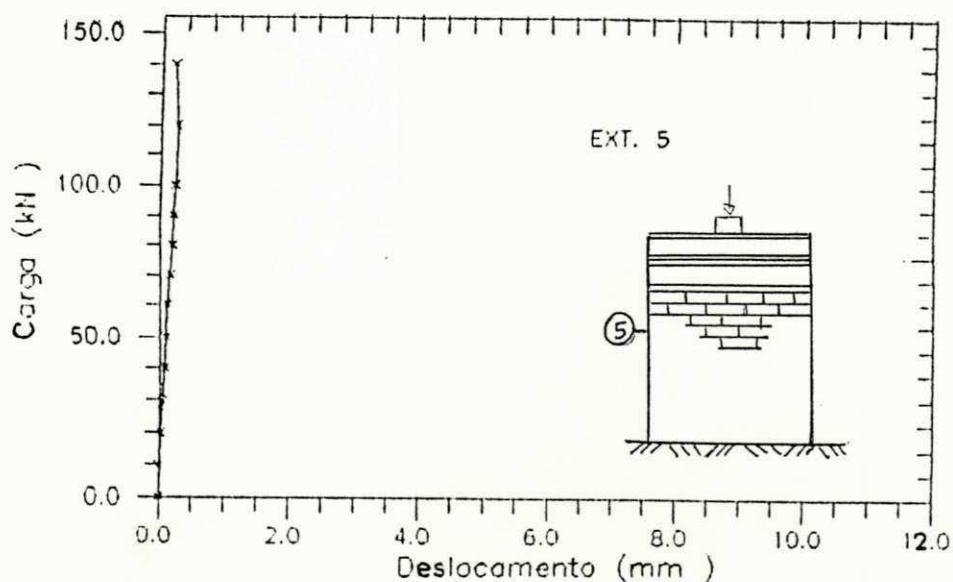


Figura 6.7 - Curva carga-deslocamento lateral da extremidade da parede

6.4 - Considerações sobre o desempenho da parede de tijolos solo-fibra.

Com o fim de se verificar a viabilidade técnica do emprego das paredes de tijolos solo-fibra em construções populares, considere-se a parede central de uma residência que receba dois vãos de lajes promoldadas, de quatro metros, de vão, como mostra a Figura 6.8.

O carregamento neste tipo de laje é da ordem de 3 a 3,5 kN/m². Adotando-se este último valor, tem-se que a reação das lajes na parede do centro vai corresponder a uma carga de aproximadamente 14 kN/m, aplicada no seu tópo.

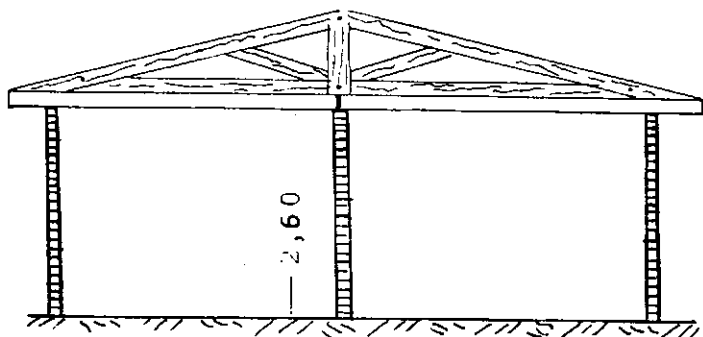


Figura 6.8 - Corte transversal em residência popular.

Voltando ao painel de parede ensaiado, esta carga de 14 kN/m corresponde a uma carga total de 16,66 kN, visto que o comprimento do painel é de 1,19 m.

Esta carga corresponde a uma tensão média de 0,127 MPa. Considerando o módulo de elasticidade da parede de 250 MPa, a deformação específica vai ser da ordem de 0,051%. Multiplicando-se pela altura da parede, obtém-se um deslocamento no topo de aproximadamente 0,13 mm, que para este tipo de construção é totalmente insignificante. Um deslocamento de 1 mm ocorreria para cargas de 7,5 vezes maiores.

Em termos de tensão, a carga de 14 kN/m acrescida do peso próprio conduzirá nos tijolos da fiada inferior da parede a tensões próximas, mas ainda menores, de 0,2 MPa. Esta está ainda bem distante da resistência da argamassa de assentamento (1,55 MPa) e mais ainda daquela capaz de provocar ruptura dos tijolos (2,71 MPa).

Considere-se agora que a parede não tenha contraventamento lateral ao longo de sua altura (o que não ocorre na prática, pois paredes se cruzam amarrando-se uma às outras). Pode-se estimar a carga crítica de flambagem

através da expressão de Euler (Equação 6.1):

$$P_{cr} = \pi^2 * E * I / (L_f)^2 \quad (6.1)$$

Considerando-se a parede ensaiada em laboratório (Figura 6.6). Traçando-se um gráfico da deformação transversal ao longo da altura, para o nível de carga de 14 kN, obtém-se a curva indicada na Figura 6.9.

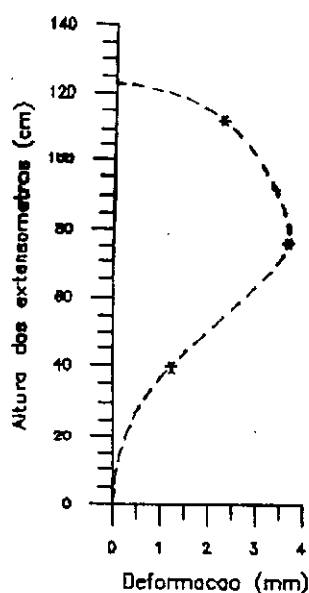


Figura 6.9 - Deformações transversais ao longo da parede ensaiada.

A curva que melhor une os três pontos tem o aspecto daquela que representa as seguintes condições de contorno: engaste na base, apoio simples no topo. Nestas condições o comprimento de flambagem L_f corresponde $0,707 * H$, sendo H a altura da parede.

A falta de um maior número de pontos experimentais, melhor será admitir para L_f um valor intermediário entre $0,707 * H$ e H . Adotando-se então: $L_f = 0,85 * H$, para I o momento de inércia de um retângulo de 1 m de base por 11 cm de altura, e para E o valor de 250 MPa, obtém-se:

$P_{cr} = 44,1 \text{ kN}$

Este valor é mais de três vezes superior à carga de utilização de 14 kN/m.

O carregamento equivalente a este valor, no painel ensaiado, nenhuma fissura provocou na parede.

Nas paredes externas, as cargas verticais são ainda menores.

6.5 - Conclusões

Os tijolos de solo-fibra em que se usou 2% de emulsão como aditivo apresentam módulo de elasticidade inferior aos tijolos cerâmicos. Isto conduz a uma parede mais deformável que aquela de blocos queimados. No entanto, as deformações produzidas com as cargas de serviço de pequenas construções são perfeitamente aceitáveis na prática.

Embora correlações entre resistência de painéis e de paredes de altura normal, em tijolos de solo-fibra, não tenham ainda sido obtidos em laboratório, as considerações que se tem de fazer mostram que, para construções de pequeno porte, os tijolos aqui desenvolvidos são viáveis e seguros.

Para emprego em alvenaria estrutural em edificações de maior porte, é necessário a efetivação de um maior número de ensaios, tanto de painéis quanto de paredes de altura normal, de forma a se estabelecerem correlações entre elas e também relacionar as cargas últimas e as de

serviço com a resistência dos tijolos e do material de assentamento, como já é feito para paredes de tijolos cerâmicos e de concreto.

CAPITULO VII

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apresentam-se aqui algumas das conclusões que foram obtidas ao longo do trabalho e também sugestões para sua continuação.

7.1 - Conclusões

Os estudos efetuados mostraram que:

- a adição de fibras à terra melhora muito seu comportamento sob tensão, promovendo notável acréscimo na capacidade de o material absorver energia;

- as percentagens de fibras mais convenientes são da ordem de 2 a 4% em volume;

- com o solo mais coesivo, como o de Joao Pessoa, taxas de fibras superiores a 2% tornam difícil a mistura.

- com a prensa utilizada para moldagem dos tijolos tinha-se necessidade de uma relação água/solo relativamente elevada (cerca de 28%), sempre bem superior à umidade ótima obtida pelo ensaio de compactação;

- os aditivos emulsão asfáltica e cal chegam a aumentar a resistência à compressão dos tijolos de solo-fibra;

- 2% de emulsão asfáltica já é um valor que faz os tijolos de solo-fibra adquirirem certa resistência à água.

O emprego de 6% de cal melhora ainda mais a durabilidade dos tijolos, conforme atestaram os ensaios de perda de massa por molhagem e secagem.

- a absorção dos tijolos aditivados é compatível com aqueles diversos tijolos encontrados no mercado.

- os comprimentos das fibras estudados pareceram não ter muita influência no comportamento dos tijolos, sob o ponto de vista do comportamento sob tensão. Com respeito à trabalhabilidade, os 5 cm escolhidos foram convenientes.

- as variações dimensionais dos tijolos estudados são significativas nos primeiros dias de cura.

- o método utilizado pelos antigos Persas de misturar previamente as fibras com o solo e água, deixando-a em repouso por um certo período conduziu a um material mais homogêneo, macio e de melhor trabalhabilidade.

- solos mais arenosos como os de Areia e de Campina Grande, que normalmente seriam incapazes de produzir tijolos prensados, podem fazê-los com adição de fibras e percentagens de outros solos de maior coesão.

- com a resistência obtida para os tijolos de solo-fibra, pode-se obter paredes capazes de receber carregamentos de construções populares, com boa margem de segurança.

7.2 - Sugestões para Continuação do Trabalho

Como sugestões para prosseguimento dos estudos sugere-se:

- estabelecer um valor médio para o tempo de secagem necessário na região, considerando-se este como sendo o que conduz à estabilidade de massa;

- estabelecer um tempo mínimo necessário de repouso indicado no método dos antigos Persas, a partir do qual a mistura solo-fibra-água se torna bem homogênea;

- estabelecer um mecanismo que garanta que o material estudado em corpos de prova corresponda ao mesmo dos tijolos, através do controle da densidade seca;

- pesquisar materiais hidrofugantes locais de menor preço que os aditivos industrializados;

- pesquisar a utilização do solo-fibra na confecção de blocos de adobe manuais;

- proceder a um maior número de ensaios de painéis de parede de forma a se estabelecer com segurança os limites das paredes estruturais de tijolos de solo-fibra;

- ensaios de paredes feitas com os blocos mais homogêneos resultantes da técnica usada pelos antigos Persas.

- desenvolver método de análise numérica.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 01 - Dethier, J. - "A Sabedoria da Terra" - Centre Pompidou, France.
- 02 - "La Renaissance de l'architecture em France" - France Informations n^o 137 - Min. Affaires Etrangères, Paris.
- 03 - "Architettura de terre: Una Tradizione Milenaria per l'Avvenir" (1981) Grupo Editorial Electra, Paris.
- 04 - Olivier, M., Mesbah, A. (1987) - "Influence of Different Parameters on the Resistance of Earth an a Building Material - Mud Architecture" - Trivadrum, nov, 9p.
- 05 - Toledo Filho, R. D. (1990) - "Utilização de Materiais nao Convencionais nas Construções Rurais" - Relatório Técnico, Departamento de Engenharia Agrícola/CCT/UFPB, Campina Grande.
- 06 - Minke, G. (1987) - "Ecological Architecture: a Demand" - International Conference in Passive and Low Energy Architecture in Housing" - Pécs, Hungary, Sep, Vol. II, pp. 1-15.
- 07 - Baier, B. (1982) - "Energetische Bewertung Luftgetagener Membranhllen im Vergleich Zu", Koln, Germany.
- 08 - Olivier, M., Mesbah, A. (1986) - "Le Matériau Terre" - Rappostde recherches - ENTPE, Vaulx en Velin, oct, 50p.
- 09 - Olivier, M. (1984) - "Briques de Terre Compresseés Fabrication et Comportament". II Colloque sur la Construction en Terre. ENTPE, Vaulx en Velin, oct, 15p.
- 10 - Olivier, M.; Mesbah, A. (1987) - " The Static Compressive Test to Optimize the Mechanical Characteristics of Compressed Raw Earth" - Symposium on Building Materials for Low - Income Housing, Bangkok, Thailand, jan, pp 64-67.
- 11 - Olivier, M.; Mesbah, A.; Adam, W. (1989) - "The Influence of the Mixing and the Type of Press on the Making of Compacted Earth Bricks" - Third CIB - RILEM Simposium Materials for Low-Income Housing, México City, nov., 10p.
- 12 - Olivier, M.; Adam, W. (1988) "Guide d'Utilisation de la Presse GEO 90". ENTEP, Vaulx en Velin, France.

- 13 - Olivier, M.; Mesbah, A; Simon, D (1987) - " Toitures en Terre - Experimentation et calculé une coupole en briques de terre". Rapport de Recherch ENTPE, Vaulx en Velin, France, 210 p.
- 14 - GRATERRE (1990) - "Presentation Generale" - Le Carnets du Craterre, n^o7, nov.
- 15 - Houben, H.; Guillaud, H. (1989) - "Traité de Construction en Terre". Edition Parenthèses, Marseille, France.
- 16 - Architectural Society of China (1985). Proceedings of The InternacionaI Symposium on Earth Architecture, ASC, Beifing.
- 17 - Arrigone, J. L. (1986) - Appropriate Technology - "Adobe Construction" - National Building Research Institute, Pretonia.
- 18 - Agarwal, A. (1981) "Mud, Mud" - International Institute for Envirovement and Developement London.
- 19 - Guerim, L. (1985) "Principes Directeurs pour L'emploi de la Terre Crue", Ilo Genoveve.
- 20 - Lola, C. (1981) - "Research Efforts on Soil Cement Stabilization for Low-Cost Housing in Nicaragua" University of Tennessee, Knoxville.
- 21 - Mchenry, P. G. (1989) - "Adobe and Rammed Earth Building". John Willey and Sons, New York.
- 22 - Stully, R. (1989) - "Earth for Constructions" - Appropriate Technology, Vol. III n^o3, I T Publication Ltda.
- 23 - Nortan, J. (1986) "Building With Earth". IT Publication Ltda, London.
- 24 - Minke, G. (1984) - "Earthquake Resistent Low-cost Houses Utilizing Indigeneous Buildings Materials and Intermediate Technology". International Seminar on Earthquake in Less Industrialized Areas, Zurich, mar., 28-30.
- 25 - Craterre (Honben, H.; Verney, P. E.); ENTPE (Olivier, M.; Mesbah, A.; Michel, P.) (1987) - "Raw Earth Construction: The French Equipement" - Craterre, Grenoble.
- 26 - Gieth, T. (1984) - "Construction of Low-Cost Dwelling with Compacted Soil Blocks" -Catholic University, Assuncion.
- 27 - Anderson, L.; Bo, J.; Astrand, J. (1983) - "Block

Making Machines for Soil Blocks", SADEL, Lund.

- 28 - Ma, L.; Roberto, E. (1977) - "La Ceta-Ram-ingenieria para Bloques Huecos de Suelo-Cimiento", CETA, Guatemala.
- 29 - Kiram, M. (1986) - "Soil Block Presses" - Report on a Global Survey, GATE, Eschlorn.
- 30 - SKAT (1984) - "Soil Block Making Equipament" - working paper 05/84 - SKAT, St. Gallen.
- 31 - Sobral, H. S. (1949) - "O Solo-Cimento nas Habitações" - Tese Livre Docência - Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, Salvador.
- 32 - Neves, C. M. M. (1984) - "Soil-cement and Other Technologies Developed for Low-income Housing by CEPED" International Conference on Development of Low-Cost and Energy Saving Construction Materials, eds. K. Ghavami and H. Y. Fang, Rio de Janeiro, Vol. 1 pp. 261-270.
- 33 - Abiko, K. A.; Cavalheiro, W. (1981) - "Tijolos e Blocos de Solo-cimento" - Anais do Simpósio Latino-Americano - Racionalização da Construção e sua Aplicação às Habitações de interesse social. Sao Paulo, out. 25-28, pp. 77-86.
- 34 - IPT (1977) - "Casa Evolutiva Construída em Mutirão Concentrado com Tijolo de Solo-cimento", 2^ov.
- 35 - Associação Brasileira de Cimento Portland (1985) - "Construção de Paredes Monolíticas com Solo-cimento Compactado; Prática Recomendada" - Sao Paulo, BT-110.
- 36 - Associação Brasileira de Cimento Portland (1985) - "Fabricação de Blocos de Solo-cimento com a Utilização de Prensas Hidráulicas; Prática Recomendada" - Sao Paulo, BT-112.
- 37 - Associação Brasileira de Cimento Portland (1985) - "Fabricação de Blocos de Solo-cimento com a Utilização de Prensas Manuais; Prática Recomendada", Sao Paulo, BT-111.
- 38 - CEPED - "Cartilha de Construção em Solo-cimento" - Salvador-Bahia.
- 39 - Picchi, F. A.; Cincotto, M. A.; Barros, J. M. C. (1986) - "Tijolo de Solo-cal" - Revista Construção N^o 2017, Sao Paulo, out.
- 40 - Timóteo de Sousa, S. M. (1990) - "Utilização de Materiais não Convencionais em Construções de Baixo Custo" - Relatório de Estágio, orientação prof.

Romildo Dias Toledo Filho, DEAg, UFPB, Campina Grande.

- 41 - Toledo Filho, R. D., Barbosa, N. P., Ghavami, K. (1990) - "Applications of sisal and coconut fibres in adobe blocks" - Proceedings of the Second International RILEM Symposium on Vegetable Plants and Their Fibres as Building Material, Salvador, Brazil, Set. 17 - 21, 139 - 149.
- 42 - Costa, L. J. G.; Sousa, S. M. T.; Dantas, F. F.; Santos, F. B.; Toledo Filho, R. D. (1990) - "Utilização de Fibras Vegetais em Tijolos de Solo Cru" - Seminário Regional de Eng. Civil, Recife-PE, Dezembro, 02-04, 69-83.
- 43 - Ghavami, K.; Barbosa, N. P.; Toledo Filho, R. D. (1990) - "Estudo da Propriedades Físicas e Mecânicas das Fibras de Sisal e Coco e seu Emprego em Blocos de Adobe" - 10^o ENCO (Encontro Nacional da Construção, Sociedade de Engenharia do Rio Grande do Sul), Gramado-RS, dez. 1-11.
- 44 - Toledo Filho, R. D. - "Utilização de Materiais não Convencionais nas Construções Rurais" - Relatório Final, Departamento de Engenharia Agrícola/CCT/UFPB, Campina Grande, 1990.
- 45 - Azeredo, G. A. (1993) - "Otimização de Blocos Comprimidos de Terra Crua" - Relatório de Iniciação Científica CNPq - Orientador Normando Perazzo Barbosa, DTCC - UFPB, João Pessoa, out. 93.
- 46 - Queiroz de Carvalho, J. B. (1979) - "Soils Properties Affecting The Lime Stabilization of Red Tropical Soil from North East Brazil", Tese de Doutorado, Universidade de Leeds, Inglaterra.
- 47 - Diamond, S.; Kinter, E. R. (1965) - "Mechanics of Soil Lime Stabilization, An Interpretive Review " - HRR, n^o 92, pp. 83-102.
- 48 - Eades, J. L.; Nichols F. P.; Grim R. E. (1962) - "Formation of New Minerals With Lime Stabilization as Proven by Field Experiment in Virginia", HRB, Bul 335, pp. 31-35.
- 49 - Vargas, M. (1977) - "Introdução à Mecânica dos Solos" Editora McGraw-Hill do Brasil, São Paulo.
- 50 - Petrucci, Eladio G. R. (1982) - "Materiais de Construção" - Editora Globo, 7^a edição, Porto Alegre.
- 51 - Stulz, R. (1988) - "Appropriate Building Materials" - SKAT - Swiss Center for Appropriate Technology, Second Edition, St. Gall, May.

- 52 - ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - Ensaio de Granulometria por Peneiramento e Sedimentação, NBR - 7181.
- 53 - ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - Ensaio de Compactação (Proctor normal), NBR-7182.
- 54 - ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - Ensaio de Limite de Liquidez, NBR-6459.
- 55 - ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - Ensaio de Limite de Plasticidade, NBR-7180.
- 56 - ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - Determinação da Massa Específica Real, NBR-6508.
- 57 - Ministério da Agricultura/SUDENE (1972) - "Levantamento Exploratório-Reconhecimento de Solos do Estado da Paraíba" - Boletim Técnico nº 15, Série Edifologia nº 8, Rio de Janeiro, Brasil.
- 58 - Souza Santos, P. (1975) - "Tecnologia de Argilas" - Vol.I. Edgard Blucher, Sao Paulo.
- 59 - Ferri, M. G. (1976) - "Plantas Produtoras de Fibras" EPU, Sao Paulo.
- 60 - CEPED-BNH/DEPEA - "Utilização de Fibras Vegetais no Fibro-Cimento e no Concreto Fibra" - BNH/DEPEA, Rio de Janeiro, 72p.
- 61 - Barreto, R. L. (1991) - "Utilização de Materiais não Convencionais nas Construções Rurais" - Relatório de Estágio, orientação prof. José Wallaci Barbosa do Nascimento e Romildo Dias Tolêdo Filho, DEAg, UFPB, Campina Grande.
- 62 - Barreto, R. L. (1991) - "Utilização de Materiais não Convencionais nas Construções Rurais" - Relatório de Técnico, orientação prof. Normando Perazzo Barbosa e Romildo Dias Tolêdo Filho, DEAg, UFPB, Campina Grande.
- 63 - Agopyan, V.; John, M. V; Derolle, A. (1990) - "Construindo com Fibras Vegetais" - Revista Construção, nº 203, abril.
- 64 - Mukherjee, P. S. e Satyanarayama (1984) - "Structure and Properties of Some Vegetable", pp. 19.
- 65 - Nilsson, L. (1975) - "Reinforcement of Concrete with Sisal and Other Vegetable Fibres".
- 66 - ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - Determinação da Resistência à Compressão Simples e da Absorção d'água, NBR-8492.

- 67 - ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND -
MÉTODO SC-3, Ensaio de Durabilidade por Molhagem e
Secagem, São Paulo, 1977.
- 68 - Lyra, A. S. V.; (1992) - "Utilização de Bambu e de
Fibras Vegetais nas Construções Rurais" - Relatório
Técnico, orientação prof. Romildo Dias Toledo Filho,
DEAg, UFPB, Campina Grande.
- 69 - Batista, C. F. N. (1986) - "Pavimentação", Tomo II,
Editora Globo, Rio de Janeiro.

ANEXO A

L E I T U R A D O M A P A

No mapa os solos estão classificados de acordo com a percentagem de areia contida na sua composição granulométrica, da seguinte forma:

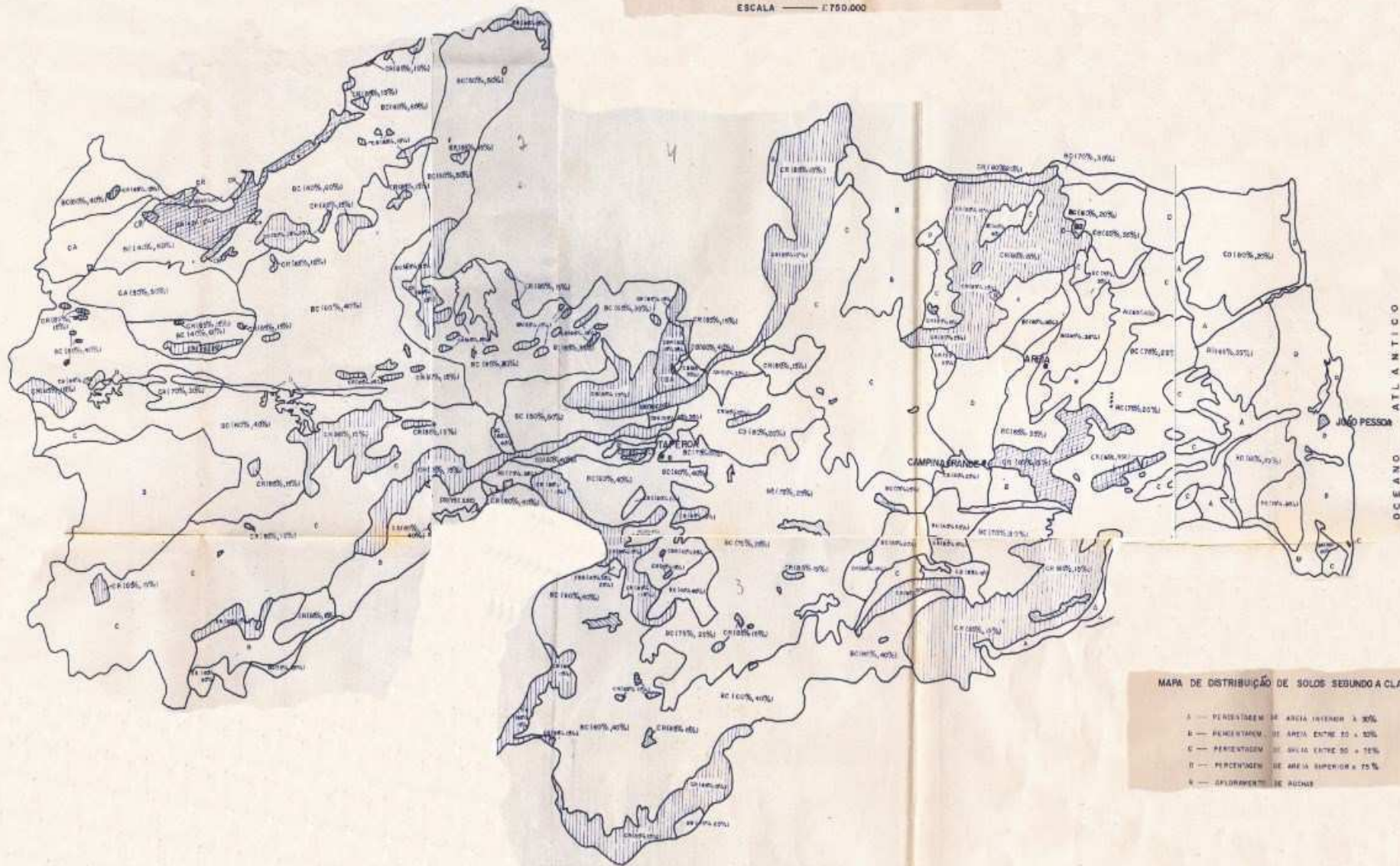
- A - Percentagem de areia inferior a 30%
- B - Percentagem de areia entre 30 e 50%
- C - Percentagem de areia entre 50 e 75%
- D - Percentagem de areia superior a 75%
- R - Afloramento de rochas (100% rochas)

Onde se lê apenas um destes símbolos, significa que o tipo de solo correspondente a este símbolo ocorre isoladamente em toda a área representada por ele.

Por exemplo, no mapa a área representada pelo símbolo A, indica a ocorrência de apenas um solo contendo percentagens de areia inferior a 30%.

Quando se tem uma associação com diversos solos, representada, por exemplo A,C,R(45%,35%,20%), interpreta-se da seguinte maneira: a associação é formada por 45% de um tipo de solo de símbolo A (contendo percentagem de areia inferior a 30%), 35% de um solo de símbolo C (contendo percentagem de areia entre 50% e 75%) e finalmente 20% de um outro tipo de solo com símbolo R (constituído exclusivamente por rochas).

MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DE SOLOS
 ESTADO DA PARAIBA
 ESCALA 1:750.000



MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DE SOLOS SEGUNDO CLASSIFICAÇÃO

- A — PERCENTAGEM DE ÁREA INTERIOR A 30%
- B — PERCENTAGEM DE ÁREA ENTRE 30 + 50%
- C — PERCENTAGEM DE ÁREA ENTRE 50 + 75%
- D — PERCENTAGEM DE ÁREA SUPERIOR A 75%
- N — DIFERENCIAMENTO DE ÁREAS