



**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO  
LATOSSOLO VERMELHO AMARELO  
TEXTURA MÉDIA PARA A CONFECÇÃO DE  
PLACAS PRÉ-MOLDADAS DE SOLO-  
CIMENTO**

**TOMÉ MOREIRA DE SOUZA**

**2004**

58976  
050206

TOMÉ MOREIRA DE SOUZA

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO LATOSSOLO  
VERMELHO AMARELO TEXTURA MÉDIA PARA A  
CONFEÇÃO DE PLACAS PRÉ-MOLDADAS DE  
SOLO-CIMENTO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Construções Rurais e Ambiência, para a obtenção do título de "Mestre".

Orientador  
Prof. Dr. Sebastião Pereira Lopes

LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2004

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da UFLA**

**Souza, Tomé Moreira de**

**Avaliação da resistência do Latossolo Vermelho Amarelo textura média  
para a confecção de placas pré-moldadas de solo-cimento / Tomé Moreira  
de Souza. -- Lavras : UFLA, 2004.**

**47 p. : il.**

**Orientador: Sebastião Pereira Lopes.  
Dissertação (Mestrado) – UFLA.  
Bibliografia.**

**1. Construção rural. 2. Ambiência. 3. Granulometria. 4. Compactação do solo.**

**I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.**

**CDD-624.1517  
-624.17765  
-691**

**TOMÉ MOREIRA DE SOUZA**

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO LATOSSOLO  
VERMELHO AMARELO TEXTURA MÉDIA PARA A  
CONFECCÃO DE PLACAS PRÉ-MOLDADAS DE  
SOLO-CIMENTO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração Construções Rurais e Ambiente, para a obtenção do título de "Mestre".

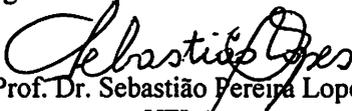
APROVADA em 27/10/2004

Prof. Dr. Francisco Carlos Gomes UFLA

Prof. Dr. Vitor Hugo Teixeira UFLA

Prof. Dr. Hélcio Andrade UFLA

Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior UFLA

  
Prof. Dr. Sebastião Ferreira Lopes  
UFLA  
(Orientador)

LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL

## **DEDICO:**

Primeiramente a Deus, Senhor de todas as coisas.

A memória de meu pai e de minha mãe.

## **AGRADEÇO:**

Aos meus irmãos e cunhados e, em especial, ao Fábio e à Tininha,  
pelo grande apoio.

## **OFEREÇO:**

À Márcia, esposa querida, cerne de minha família.

Ao André e Diogo, filhos e companheiros queridos.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Engenharia, agradeço pela realização do aperfeiçoamento ao nível de mestre.

À FAPEMIG, pelo financiamento deste projeto.

Agradeço a todos que me auxiliaram neste trabalho, porque sem suas ajudas seria impossível esta realização:

- aos Professores Sebastião Pereira Lopes, Francisco Carlos Gomes e Vitor Hugo Teixeira, pela amizade, incentivo e orientação;
- aos Professores Cláudio Gouvêa Botelho, Cláudio Milton Montenegro, Nilson Salvador e Paulo César Hardoim, dedicados mestres do curso;
- aos engenheiros Luiz Gustavo dos Reis Teixeira, José Roberto de Souza Garcia e Clair Rogério da Cruz, pela valiosa colaboração neste trabalho;
- aos Professores Tadayuki Yanagi Junior e Hércio Andrade, membros da banca examinadora, pelas sugestões apresentadas;
- ao Professor Stélio Maia Menezes, pela disponibilidade dos equipamentos de laboratório;
- aos Professores Manoel Alves de Faria e Jacinto de Assunção Carvalho, pela paciência e compreensão nos imprevistos durante a realização do curso;

- ao Professor Tarley Ferreira de Souza Júnior, colega e amigo de longa data;
- aos Professores Roberto Alves Braga Júnior, Giovanni Francisco Rabelo, Carlos Eduardo Silva Volpato, Antonio Marciano da Silva, Alcione de Oliveira, Flávio Meira Borém e Frederico Faúla de Souza, pelo incentivo constante.
- à Professora Lúcia Ferreira, autora do projeto deste trabalho.
- à Sandra, Juliana, Graice, Iara e Daniela, pelo auxílio sempre disponível e pela amizade;
- ao chefe de marcenaria, Sr. Paulo César da Silva, e demais funcionários.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	i
ABSTRACT .....	iii
1 INTRODUÇÃO .....	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO .....	3
2.1. Solo-cimento .....	3
2.1.1. Conceitos e definições .....	3
2.1.2. Aplicações do solo-cimento como material construtivo .....	3
2.1.2.1. Paredes monolíticas com solo-cimento compactado .....	3
2.1.2.2. Tijolos e blocos de solo-cimento .....	5
2.1.2.3. Solo-cimento em pequenas áreas urbanas.....	6
2.1.2.4. Solo-cimento na habitação popular.....	6
2.2. Dosagem da mistura solo-cimento.....	7
2.2.1. Solo recomendado.....	7
2.2.2. Cimento recomendado .....	8
2.2.3. Traços recomendados.....	8
2.2.4. Resistência do material solo-cimento .....	9
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	10
3.1. Solo utilizado .....	10
3.1.1. Ensaio de granulometria.....	10
3.1.2. Ensaio de retração .....	11
3.1.3. Limites de Atterberg .....	12
3.1.3.1. Limite de liquidez .....	12
3.1.3.2. Limite de plasticidade .....	12
3.1.4. Ensaio de compactação .....	13
3.2. Material solo-cimento .....	13
3.3. Confeção das placas .....	16
3.3.1. Formas.....	16
3.3.2. Preenchimento das formas .....	17
3.3.3. Desforma das placas.....	18
3.3.4. Cura das placas.....	19
3.3.5. Ensaios das placas.....	20
3.3.5.1. Grau de compactação das placas.....	20
3.3.5.2. Flexão das placas .....	20

3.3.6.	Análise experimental.....	22
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	23
4.1.	Solo utilizado .....	23
4.1.1.	Granulometria .....	23
4.1.2.	Ensaio de retração .....	23
4.1.3.	Limites de Atterberg .....	24
4.1.3.1.	Limite de liquidez .....	24
4.1.3.2.	Limite de plasticidade .....	25
4.1.4.	Compactação .....	25
4.2.	Mistura solo-cimento .....	26
4.2.1.	Ensaio de compactação .....	26
4.2.2.	Ensaio de flexão das placas de solo-cimento .....	34
5.	CONCLUSÕES.....	38
6.	SUGESTÕES.....	38
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	40
8.	ANEXOS .....	42

## INDICE

### FIGURAS

FIGURA 01:	Parede monolítica de solo-cimento. ....	4
FIGURA 02:	Modelos de blocos e tijolos de solo-cimento.....	5
FIGURA 03:	Pavimento com solo-cimento. ....	6
FIGURA 04:	habitação popular utilizando solo-cimento.....	7
FIGURA 05:	Ensaio de retração do solo.....	11
FIGURA 06:	Capecamento dos corpos de prova. ....	15
FIGURA 07:	Forma para confecção das placas.....	16
FIGURA 08:	Encaixe entre as placas.....	17
FIGURA 09:	Detalhe da compactação em camadas. ....	18
FIGURA 10:	Desforma da placa.....	19
FIGURA 11:	Armazenamento e cura das placas. ....	20
FIGURA 12:	Máquina de ensaio universal EMIC.....	20
FIGURA 13:	Detalhe das adaptações da máquina de ensaio para os ensaios a flexão.....	22

### GRÁFICOS

GRÁFICO 01:	Resistência à compressão mínima admissível dos corpos de prova de solo-cimento, aos sete dias. ....	15
GRÁFICO 02:	Curva granulométrica do Latossolo Vermelho Amarelo (LVm).....	23
GRÁFICO 03:	Curva do limite de liquidez do Latossolo Vermelho Amarelo (LVm).....	25
GRÁFICO 04:	Curva de compactação do Latossolo Vermelho Amarelo (LVm).....	26
GRÁFICO 05:	Curva de compactação da mistura de solo-cimento traço 1:10.	27

GRÁFICO 06:	Curva de compactação da mistura de solo-cimento traço 1:12.	27
GRÁFICO 07:	Curva de compactação da mistura de solo-cimento traço 1:14.....	28
GRÁFICO 08:	Curvas de compactação das misturas de solo-cimento traços 1:10, 1:12 e 1:14. ....	29
GRÁFICO 09:	Curva de resistência à compressão mínima admissível para corpos de prova de solo-cimento, aos sete dias. ....	30
GRÁFICO 10:	Regressão do tempo de cura para o traço 1:10 .....	32
GRÁFICO 11:	Regressão do tempo de cura para o traço 1:12 .....	32
GRÁFICO 12:	Regressão do tempo de cura para o traço 1:14 .....	33
GRÁFICO 13:	Regressão do tempo de cura para os traços 1:10, 1:12 e 1:14	34
GRÁFICO 14:	Regressão da espessura para a força máxima à flexão .....	<b>Erro!</b>
	<b>Indicador não definido.</b>	

## TABELAS

TABELA 01:	Ensaio de determinação do limite de liquidez do Latossolo Vermelho Amarelo (LVm). ....	24
TABELA 02:	Resistência à compressão aos sete dias de cura.....	29
TABELA 03:	Tabela de análise de variância para os ensaios à compressão ..	30
TABELA 04:	Tabela de análise do desdobramento do tempo de cura dentro de cada traço. ....	31
TABELA 05:	Tabela de análise de variância para a variável força nos ensaios à flexão. ....	34
TABELA 06:	Média das forças de ruptura (N) nos ensaios à flexão.....	36
TABELA 07:	Análise de variância para a variável tensão nos ensaios à flexão. ....	36
TABELA 08:	Média das tensões de ruptura (kPa) nos ensaios à flexão.....	37

## RESUMO

**SOUZA, Tomé Moreira de. Avaliação da resistência do Latossolo Vermelho Amarelo textura média para a confecção de placas pré-moldadas de solo-cimento. 2004. 47p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola na área de Construções Rurais e Ambiente)\* - Universidade Federal de Lavras, Lavras.\***

Neste trabalho, buscou-se avaliar a utilização do Latossolo Vermelho Amarelo textura média na confecção de placas, adotando-se a mistura de solo mais o aglomerante cimento, utilizando-se 3 traços, 1:10, 1:12 e 1:14, sendo a unidade, a proporção de cimento, e o segundo número, a proporção de solo, combinando-os com 3 espessuras de placas, 4,5 cm, 5,0 cm e 5,5 cm. Inicialmente, caracterizou-se o solo, realizando os ensaios de granulometria, retração, compactação e limites de Atterberg. Com base nos resultados obtidos, verificou-se que o solo analisado é satisfatório para ser utilizado em construções nas quais se aplica solo-cimento. Após a caracterização do solo, partiu-se para a avaliação das resistências das misturas de solo-cimento nos traços propostos, realizando os ensaios de compressão em corpos de prova moldados segundo o método de moldagem de corpos de prova de solo-cimento (método SC – 2 – ABCP). Os corpos de prova foram ensaiados com as idades de 7, 14 e 28 dias, com a finalidade de se determinar a variação da resistência em função do tempo. As placas foram moldadas em formas de chapa de madeira compensada, compactadas em camadas de aproximadamente 5 cm e, após sua desforma, curadas por 28 dias, para serem ensaiadas a flexão. Concluiu-se que tanto o Latossolo Vermelho Amarelo (LVm) e os diferentes traços estudados podem ser aplicados em construções de solo – cimento e, à medida que se aumenta a espessura das placas, a resistência à flexão aumenta de forma linear.

---

\* Comitê Orientador: Prof. Dr. Sebastião Pereira Lopes – UFLA (Orientador), Prof. Dr. Francisco Carlos Gomes – UFLA; Prof. Dr. Vitor Hugo Teixeira – UFLA.

## ABSTRACT

**SOUZA, Tomé Moreira de. Evaluation of the resistance of Latossolo Yellow Red medium texture for making soil - cement premolded plates. 2004. 47p. Dissertation (Master in Agricultural Engineering in the Structures and Environment) \* - Federal University of Lavras, Lavras-MG.**

In this research it was evaluated the use of Latossolo Yellow Red medium texture in the manufacturing of plates, being adopted the mixture of soil with the agglomerate cement. In order to accomplish this work, it was used 3 intermingles (blends), of: 1:10, 1:12 and 1:14, being the first unit the cement proportion and the second the soil proportion, combining them with 3 thickness of plates, of about 4,5; 5,0 and 5,5 cm. Initially the soil was characterized, accomplishing the granulation analysis, retraction, compacting and limits of Atterberg. Based on the results it was demonstrated that the analyzed soil was satisfactory to be used in constructions where soil-cement is applied. After the characterization of the soil, it was broken in order to evaluate its resistance according to the soil-cement mixture in the proposed blends, also accomplishing with the compression analysis through the proof of bodies molded according to the method of molding of bodies of soil-cement proof (method SC - 2 - ABCP). The proof bodies were analyzed with the ages of 7, 14 and 28 days, aiming at determining the variation of the resistance in function of the time. The plates were molded in forms of foil of compensated wood, compacted in layers of approximately 5 cm, and after the form was taken out, left to be cured for 28 days in order to be submitted to flexion analysis. It was concluded that the Yellow Red Latossolo used in different studied lines can be applied in soil - cement constructions, and also the resistance to flexion forces increased in a linear way with the thickness of the plates.

---

\* Guidance Commite: Prof. Dr. Sebastião Pereira Lopes – UFLA (Adviser), Prof. Dr. Francisco Carlos Gomes – UFLA (Co-adviser), Prof. Dr. Vitor Hugo Teixeira – UFLA (Co-adviser).

## 1 INTRODUÇÃO

A construção de edificações nas quais se utilizam técnicas alternativas vem se mostrando eficaz, sendo uma boa escolha na construção de casas populares, instalações agroindustriais e urbanização de áreas.

Verifica-se em pesquisas que a simples reposição do déficit atual de habitações e sua projeção para os próximos anos demandarão um volume de investimentos no setor. A situação agrava-se quando são observadas as condições de habitação das populações de baixa renda.

De acordo com Freitas (1995), o conhecimento de novos materiais pode representar soluções importantes na minoração de custos na construção civil.

A utilização do solo-cimento como material de construção teve início nos Estados Unidos da América no ano de 1916. No Brasil, o interesse por essa técnica só ocorreu em 1936, pela ABCP- Associação Brasileira de Cimento Portland – que regulamentou sua utilização (Segantini et al., 1996).

Pesquisas no mundo inteiro, atualmente, visam a identificar tipos de solos para aplicação na construção de habitações de baixo custo. Devido a grande aplicabilidade do solo-cimento, vários estudos vêm sendo desenvolvidos, buscando otimizar os sistemas construtivos utilizando materiais não convencionais. Algumas vantagens podem ser citadas, como a facilidade de construção de edificações rurais de solo-cimento, possibilitando maior economia de materiais, visto que o solo, um material local, constitui maior parte da mistura e, ainda, viabilizar pequenas obras, diminuindo o tempo de execução. Entre os vários tipos de solos, o Latossolo Vermelho Amarelo (LVm) mostrou-se bastante satisfatório, em razão de suas características, para a fabricação de tijolos e paredes monolíticas.

Segundo Segantini et al. (1996), o solo-cimento é um material cujas características técnicas atendem plenamente aos requisitos de desempenho para

a aplicação de diversos tipos de serviços, como base para alvenaria, proteção de taludes de barragens de terra, revestimentos de canais, etc.

O solo é o elemento que entra em maior proporção na mistura, devendo ser selecionado de modo que permita o uso da menor quantidade possível de cimento. De maneira geral, os solos mais adequados a serem utilizados em construções nas quais se usa solo-cimento são os que possuem as seguintes características: todo material passando pela peneira de 4,8 mm; de 10% a 50% passando pela peneira de 0,075 mm; limite de liquidez menor que 45% e índice de plasticidade menor que 18% (ABCP, 1985b).

Normalmente, os solos arenosos requerem pequenas quantidades de cimento para sua estabilização. É importante a presença de argila na composição do solo, para dar a mistura solo-cimento, quando umedecida e compactada, coesão suficiente que permita o manuseio das peças fabricadas (ABCP, 1985b).

Poucas pesquisas existem sobre o uso do solo-cimento em construções agroindustriais, notadamente na região de Lavras-MG, onde há ocorrência do solo tipo Latossolo Vermelho Amarelo (LVm).

Com base no exposto, objetivou-se avaliar as resistências à compressão e flexão da mistura de Latossolo Vermelho Amarelo (LVm) e cimento Portland, classe 32, nos traços 1:10, 1:12 e 1:14, na confecção de placas nas espessuras de 4,5; 5,0 e 5,5 cm, além do seu uso em construção de solo-cimento.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1. Solo-cimento**

#### **2.1.1. Conceitos e definições**

O solo-cimento é uma mistura íntima de solo pulverizado, cimento Portland e água que, sob compactação a um teor de umidade ótima, forma um material estruturalmente resistente (Freire e Hasegawa, 1996).

O solo-cimento, devido a sua combinação de solo com cimento e água, resulta em um material com boa resistência mecânica, impermeabilidade e durabilidade. Por outro lado, devido ao seu baixo custo, fácil execução e boa qualidade, justifica sua aplicabilidade em diversas atividades na construção, tais como: construção de terreiros para a secagem de café, na habitação popular, na construção de tijolos, ruas, em paredes monolíticas, blocos, galpões ou depósitos, revestimento de encostas, pequenas barragens, pisos ou passeios, entre diversas outras.

Existem quatro principais modos de utilização do solo-cimento: tijolos ou blocos, paredes maciças, pavimentos ou ensacado.

#### **2.1.2. Aplicações do solo-cimento como material construtivo**

##### **2.1.2.1. Paredes monolíticas com solo-cimento compactado**

O solo-cimento compactado em paredes monolíticas (Figura 01) constitui uma das alternativas de construção habitacional. A parede de solo-cimento, executada conforme as recomendações, garante resistência à compressão simples e choques mecânicos da mesma ordem de grandeza que as de alvenaria convencional. A resistência à compressão é tanto mais elevada quanto maior for a quantidade de cimento empregada; essa, no entanto, deve ser

limitada a um teor ótimo que confira a qualidade necessária ao material, sem aumento do custo inicial (ABCP, 1985a).

As paredes monolíticas de solo-cimento compactado podem, em geral, ser utilizadas com o próprio solo local, reduzindo ou evitando o custo de transporte; dispensam o uso do revestimento, em virtude do acabamento uniforme das paredes; utilizam basicamente mão-de-obra não especializada e reduzem em torno de 40% o custo das paredes, se comparado ao da alvenaria convencional (ABCP, 1985a).

Na confecção de paredes monolíticas maciças, apesar de proporcionar uma grande economia na construção de uma edificação qualquer, essa técnica demanda um grande tempo para sua execução, chegando, às vezes, a inviabilizar a obra (ABCP, 1985a). Nesse aspecto, com a utilização de placas pré-moldadas, pode tornar possível a redução do tempo com o aumento do rendimento e economia de materiais.

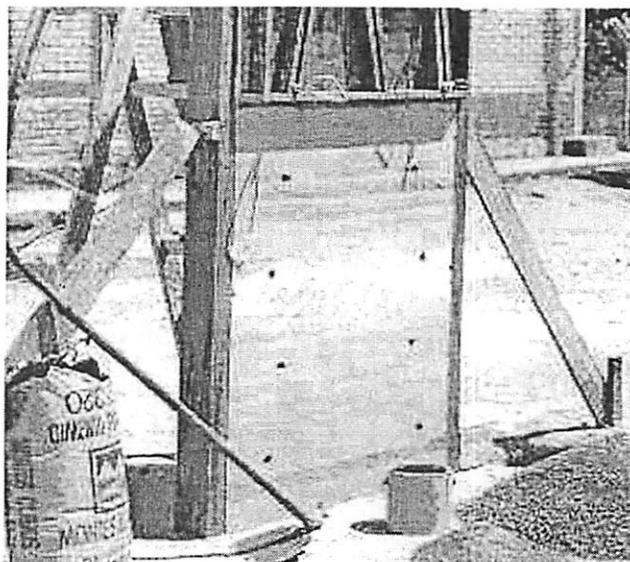


FIGURA 01: Parede monolítica de solo-cimento.

### 2.1.2.2. Tijolos e blocos de solo-cimento

Os tijolos e blocos de solo-cimento (Figura 02) constituem umas das alternativas para a construção de alvenaria. Esses elementos, após pequeno período de cura, garantem resistência à compressão simples similar à dos tijolos e blocos cerâmicos, sendo a resistência tanto mais elevada quanto maior for a quantidade de cimento empregada; essa, no entanto, deve ser limitada a um teor ótimo que confira ao material curado a necessária qualidade, sem aumento do custo de fabricação (ABCP, 1985b). Essa técnica permite o uso desse material em coberturas abobadadas e em lajes mistas.

Os tijolos e blocos de solo-cimento apresentam as características de poderem, em geral, ser produzidos com o próprio solo local e no canteiro de obras, reduzindo ou evitando o custo de transporte; de requererem argamassa de assentamento e de revestimento de espessura mínima e uniforme devido à regularidade de suas formas, a planeza e a lisura de suas faces; de dispensarem o uso de revestimento, desde que protegidos da ação direta da água, sendo, portanto, recomendáveis para paredes com elementos à vista; de não consumirem combustível na fabricação, por dispensarem a queima e utilizarem basicamente mão-de-obra não especializada (ABCP, 1984b).

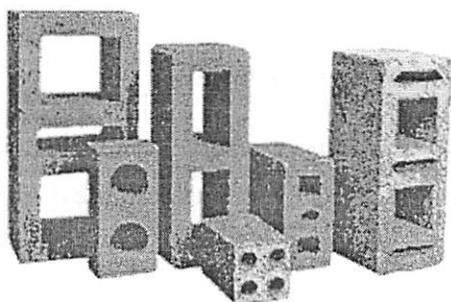


FIGURA 02: Modelos de blocos e tijolos de solo-cimento.

### **2.1.2.3. Solo-cimento em pequenas áreas urbanas**

O solo-cimento apresenta uma prática recomendada para execução de pavimentos em pequenas áreas urbanas, (Figura 03), destinadas principalmente ao tráfego de pedestres. São locais que, devido à falta de calçamento, a poeira e a lama ocasionam grande desconforto e risco de acidentes aos transeuntes. Basicamente é usado em calçadas para pedestres, pontos de ônibus, canteiros centrais, praças públicas, parques de recreação, etc, (ABCP, 1986a).



FIGURA 03: Pavimento com solo-cimento.

### **2.1.2.4. Solo-cimento na habitação popular**

A habitação é uma das necessidades básicas do homem. Nem sempre, porém, vem sendo possível atender a essa necessidade de forma satisfatória. No Brasil, o atendimento das condições mínimas de habitação para as camadas de mais baixa renda ainda não foi equacionado. Apesar do grande esforço do governo para superar o problema, a demanda de moradias populares continua crescendo com velocidade superior à do aumento da capacidade de produção de novas unidades. A busca de soluções tem levado, via de regra, a saltos para

níveis superiores de tecnologia, que nem sempre permitem a redução efetiva do custo final para o usuário, tornando a habitação popular cada vez menos acessível às classes mais necessitadas da população. A questão da habitação popular brasileira exige soluções de tecnologia mais singelas, compatíveis com a conjuntura econômica atual. Uma grande solução alternativa é a aplicação de solo-cimento, em construções de paredes (Figura 04), ser empregada ainda em muros, contenções, fundações, passeio e contrapisos (ABCP, 1985c).

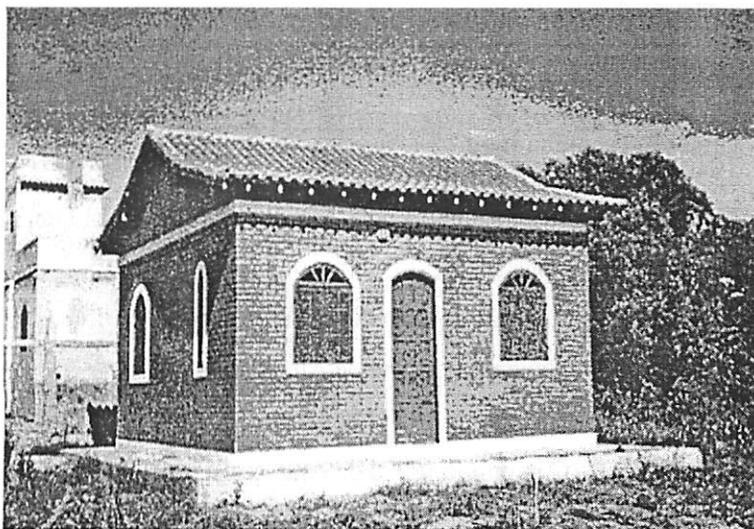


FIGURA 04: Habitação popular utilizando solo-cimento.

## 2.2. Dosagem da mistura solo-cimento

### 2.2.1. Solo recomendado

O solo mais adequado para a utilização em solo-cimento é o que permite o uso de menor quantidade possível de cimento, possuindo as seguintes características:

- Porcentagem passando na peneira ABNT 4,8 mm (n° 4): 100%

- Porcentagem passando na peneira ABNT 0,075 mm (nº 200): 10 a 50%
- Limite de liquidez:  $\leq 45\%$
- Índice de plasticidade:  $\leq 18\%$

Pelo exposto, o solo recomendado deve ser arenoso, porém, com certa quantidade de solo fino, que dê coesão suficiente para o manuseio dos produtos de solo-cimento antes da secagem (ABCP, 1985b).

Quando o solo não possui as características ideais para sua utilização como material de construção, pode-se efetuar correções misturando-o a outros solos (Corrêa, 2003).

### **2.2.2. Cimento recomendado**

Os cimentos recomendados pela ABCP (1985b) são os que atendem às especificações das normas:

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

### **2.2.3. Traços recomendados**

Os traços recomendados para a fabricação de tijolos de solo-cimento são 1:10, 1:12 e 1:14 (cimento:solo). Para a confecção de paredes monolíticas, recomenda-se que o traço utilizado deva ser até 1:15 (cimento: solo), e a utilização dependerá do solo utilizado e de conclusões laboratoriais (ABCP, 1985a).

Para a determinação do traço ideal a ser utilizado, recomenda-se que seja seguida a norma de Dosagem das Misturas de Solo-Cimento, que é baseada nas normas de dosagem da Portland Cement Association (PCA), (ABCP, 1986b).

A PCA dispõe de uma norma geral e de uma norma simplificada de dosagem, que são recomendadas para estabilização de solo com cimento (ABCP, 1986b).

Deve-se optar pelo traço que dê a estabilidade necessária ao solo utilizando a menor quantidade possível de cimento.

#### **2.2.4. Resistência do material solo-cimento**

Seguindo a norma de dosagem para misturas de solo-cimento, devem ser moldados corpos de prova segundo o método SC-2 ABCP, e esses devem ser submetidos ao ensaio de compressão depois de curados por 7 dias. A sua resistência deve ser maior que o mínimo admissível, valor esse que é função de sua granulometria (ABCP, 1986b).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

A parte experimental deste trabalho foi conduzida no período de agosto de 2003 a julho de 2004, no Laboratório de Mecânica dos Materiais e Estrutura, do setor de Construções Rurais do Departamento de Engenharia e no Laboratório de Tecnologia da Madeira do Departamento de Ciências Florestais, na Universidade Federal de Lavras, no município de Lavras-MG.

O município de Lavras localiza-se no sul do Estado de Minas Gerais, na coordenadas geográficas de 21°14' S de latitude e de 45°00' W de longitude, situado a 918 m de altitude. O clima do município, segundo a classificação climática de Köppen, é do tipo CWa, temperado úmido, com inverno seco (Pereira et al., 2002).

#### **3.1. Solo utilizado**

O solo avaliado foi o Latossolo Vermelho Amarelo (LVm), coletado em uma área localizada no distrito de Rosário, município de Itumirim – MG, de coordenadas geográficas de 21°17' S de latitude e de 44°59' W de longitude.

O solo foi peneirado e submetido aos ensaios de granulometria, retração, compactação e limites de Atterberg, para sua caracterização e viabilidade de utilização em solo-cimento.

##### **3.1.1. Ensaio de granulometria**

Foram realizados dois ensaios para se determinar a granulometria do solo: ensaio de peneiramento e, posteriormente, a sedimentação.

Para o peneiramento, foi utilizada uma amostra com uma massa de sólidos (Ms) de 120 gramas. Essa amostra foi submetida ao peneiramento na série de peneiras números 200, 100, 40 e 10 de aberturas, em milímetros, 0,075; 0,150; 0,420 e 2,00, respectivamente. Para se realizar o peneiramento, foi

utilizado um agitador de peneiras que ficava em movimento por 15 minutos. Após a amostra ser peneirada, a quantidade retida em cada uma das peneiras usadas era pesada, determinando-se a porcentagem da massa seca total.

Para o ensaio de sedimentação, a parte do solo que passou pela peneira de menor diâmetro, retida no fundo da série de peneiras, foi transferida para um copo dispersor com água destilada e agitada por 10 minutos, sendo transferida para uma proveta de 1000 ml. Fez-se novamente uma agitação na amostra dentro da proveta, colocando imediatamente o densímetro para se realizar as leituras e, conseqüentemente, obter a granulometria da parte fina do latossolo.

### 3.1.2. Ensaio de retração

Foi medida a retração do latossolo colocado em 3 caixas de dimensões de 60 cm de comprimento por 8,5 cm de largura e 3,5 cm de profundidade.

Esse ensaio processou-se enchendo as caixas com o solo no limite de liquidez e deixando secar à sombra por 7 dias. (Figura 05).

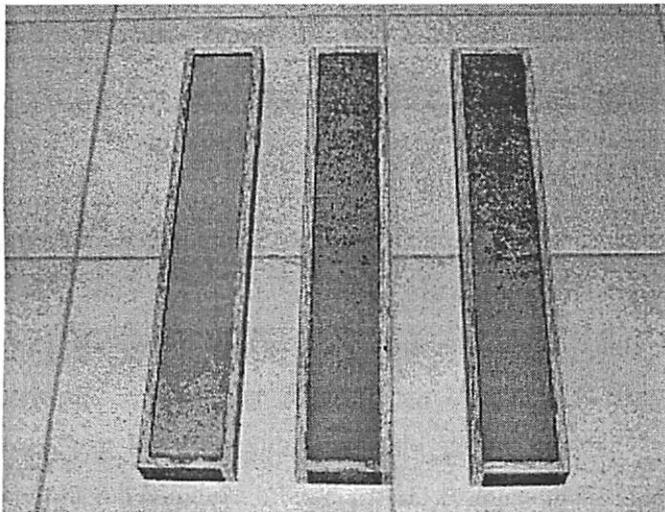


FIGURA 05: Ensaio de retração do solo.

### **3.1.3. Limites de Atterberg**

Os limites de Atterberg são definidos pelo limite de liquidez e limite de plasticidade.

#### **3.1.3.1. Limite de liquidez**

O limite de liquidez corresponde à umidade do solo que limita os seus estados líquido e plástico.

Para a obtenção do limite de liquidez, foi feito o ensaio de Casagrande, que consiste em verificar a umidade da amostra, após ser colocada em uma concha de latão, ranhurada com cinzel padrão e submetida a uma quantidade de golpes, para o fechamento de aproximadamente 1 cm da ranhura. A umidade equivalente a 25 golpes define o limite de liquidez.

A resistência que o solo oferece ao fechamento do sulco, medida pelo número de golpes requerido, provém da sua resistência ao cisalhamento correspondente à umidade que apresenta. Experimentalmente, obteve-se que, no limite de liquidez, essa resistência tem um valor constante de 2,5 KPa para os solos plásticos (Caputo, 1988).

#### **3.1.3.2. Limite de plasticidade**

O limite de plasticidade corresponde à umidade do solo que limita os seus estados plástico e semi-sólido.

Para obtenção do limite de plasticidade, sobre uma placa de vidro esmerilhada, rola-se uma certa quantidade de solo peneirado na peneira nº 40 e umedecido gradativamente, até obter um cilindro com 3 mm de diâmetro. A umidade da amostra quando se obtém o cilindro é o limite de plasticidade.

### **3.1.4. Ensaio de compactação**

Foi utilizada para a determinação da umidade ótima do solo a metodologia proposta por Proctor, em 1933 (Caputo, 1988), que consiste no enchimento de um cilindro de 127,3 mm de altura e 100 mm de diâmetro em 3 camadas. Cada camada recebe 25 golpes para a compactação com um soquete padrão de massa de 2,5 kg, com altura de queda de 305 mm. São executados, normalmente, 5 ensaios com umidades diferentes, que dão, quando lançados em gráfico, a curva massa específica seca x umidade.

A umidade na qual se obtém a massa específica seca máxima do solo é tida como sendo aquela umidade ótima para a compactação do solo.

### **3.2. Material solo-cimento**

Para a dosagem da mistura solo-cimento, foi respeitada a recomendação da ABCP (1986b).

Existem duas normas para a dosagem de solo-cimento: a norma geral de dosagem e a norma simplificada. Foi utilizada a norma simplificada para averiguação das dosagens analisadas, ou seja, 1:10; 1:12 e 1:14, com base nos resultados publicados pela PCA (Portland Cement Association), que analisou estatisticamente 2438 solos arenosos e concluiu que a norma simplificada, para a dosagem da mistura solo-cimento, não difere da norma geral em termos de resultados de durabilidade e resistência (ABCP, 1986b).

A norma simplificada é dividida em dois métodos de dosagem, em função da presença ou não de partículas que passem pela peneira ABNT nº 4. Caso o solo estudado apresente essas partículas, o método a ser utilizado é o método B, ou norma simplificada B. Entretanto, o solo analisado neste trabalho, o Latossolo Vermelho Amarelo, não apresentou partículas que ficassem retidas nessa peneira. Sendo assim, o método utilizado para se averiguar as dosagens estudadas foi o método A, ou norma simplificada A.

Foram realizados ensaios de Proctor Normal com os traços estudados, cuja finalidade foi definir a umidade na qual a mistura solo – cimento atingisse a massa específica seca máxima. Para isso, foram feitos cinco ensaios com teores de umidade diferentes para cada traço. O valor da umidade que proporcionou a massa específica seca máxima, para cada traço, foi utilizado na confecção dos corpos de prova para os ensaios de compressão e para a confecção das placas.

Seguindo a norma simplificada A, foram moldados três corpos de prova para cada traço estudado. Esses corpos de prova foram curados por 7 dias e submetidos ao ensaio de compressão. O ensaio à compressão dos corpos de prova foi feito segundo o método SC – 4 (Ensaio de Corpos de Prova de Solo – Cimento) da ABCP (1986b). Para esse método, algumas considerações foram seguidas:

- **Aparelhagem:** A prensa utilizada nos ensaios, a máquina universal de ensaios EMIC, transmitia a carga de forma progressiva e sem choques por meio de uma base articulada.
- **Corpos de prova:** Os corpos de prova foram moldados seguindo o método de moldagem de corpos de prova de solo – cimento (SC – 2 ABCP, 1986b), que é o mesmo método para moldagem de corpos de prova utilizado nos ensaios de Proctor Normal. As superfícies dos topos superior e inferior foram capeadas com enxofre, (Figura 06), com objetivo de distribuir uniformemente, por toda a área do corpo de prova, a força de compressão aplicada. O enxofre é usado por causa de sua característica de endurecimento imediato no contato com o corpo de prova.

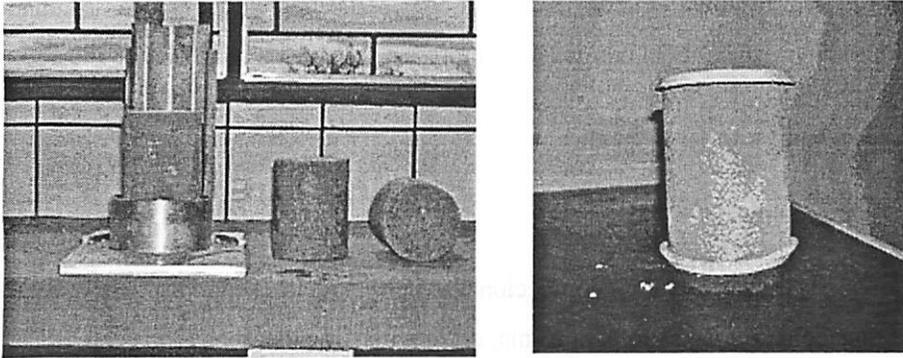


FIGURA 06: Capeamento dos corpos de prova.

- Condução do ensaio: A velocidade de aplicação da força exercida pela prensa foi de 130 kPa/segundo.
- Resultados: A resistência oferecida por esses corpos de prova deve ser maior ou igual à mínima admissível, em função da granulometria (Gráfico 01).

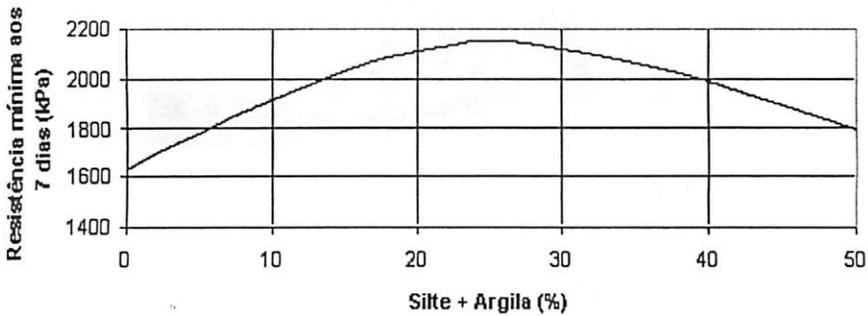


GRÁFICO 01: Resistência à compressão mínima admissível dos corpos de prova de solo-cimento, aos sete dias.

Para uma maior avaliação da resistência dos traços estudados, realizaram-se também ensaios de compressão para curas com 14 e 28 dias.

### 3.3. Confeção das placas

#### 3.3.1. Formas

As formas foram confeccionadas com madeira, sendo as faces aparentes feitas com compensado para forma, do tipo plastificado, e os topos com madeira maciça aparelhada. No meio da altura da forma, foi colocado um travamento a fim de evitar que durante a compactação do solo-cimento houvesse ondulações na superfície aparente das placas (Figura 07).

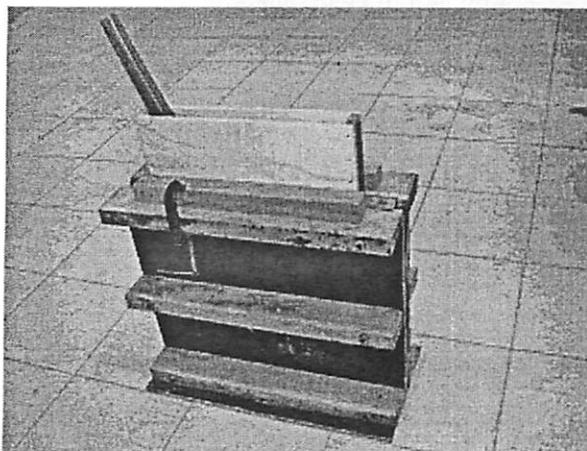


FIGURA 07: Forma para confecção das placas.

Foram confeccionadas formas que permitissem produzir as placas com as dimensões de 50 cm x 50 cm com as três espessuras estudadas. Para as placas de 5,5 cm de espessura, foram criados altos e baixos relevos para os encaixes entre elas (Figura 08). Os encaixes foram feitos com a finalidade de facilitar a

montagem de painéis, sendo os mesmos em forma triangular com a altura de 1,0 cm.

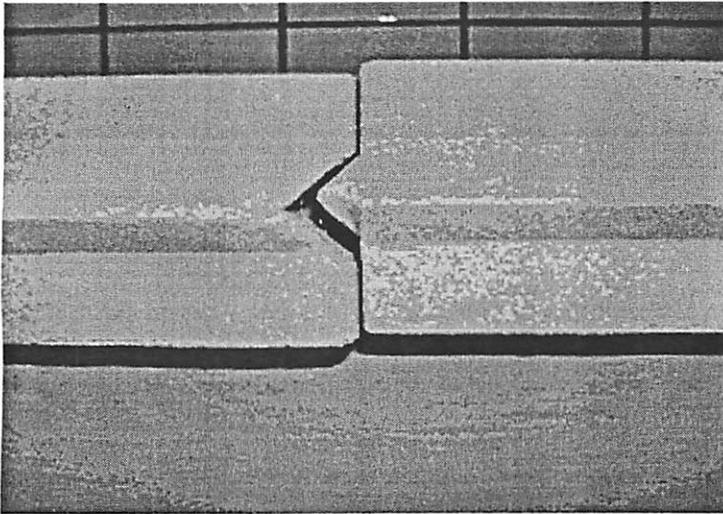


FIGURA 08: Encaixe entre as placas.

### 3.3.2. Preenchimento das formas

As placas foram feitas respeitando uma espessura máxima de camada, para uma melhor compactação, de aproximadamente 5 cm (Figura 09). As camadas compactadas foram escarificadas para permitirem melhor aderência à camada subsequente. O enchimento da forma foi feito no sentido vertical, com a finalidade de se obter um melhor acabamento na superfície aparente. O preenchimento da forma na posição vertical foi o que permitiu a melhor compactação nos topos das placas, considerando os seus altos e baixos relevos de encaixe.

A compactação das misturas dentro das formas foi feita com soquete de madeira, e, para cada espessura, havia um soquete apropriado (dimensão de 3

mm menor do que a espessura da placa). Para um melhor desempenho da placa, foram construídas guias de madeira para cada forma, que possibilitasse o impacto do soquete até à camada final da placa, como mostra a Figura 07.



FIGURA 09: Detalhe da compactação em camadas.

### 3.3.3. Desforma das placas

A desforma foi feita após o período de cura de 1 dia, visando a um melhor aspecto da superfície aparente.

A posição de desforma utilizada foi com a placa na vertical, evitando flexão e conseqüente quebra, como também reduzindo consideravelmente o espaço necessário para cura e armazenamento (Figura 10).

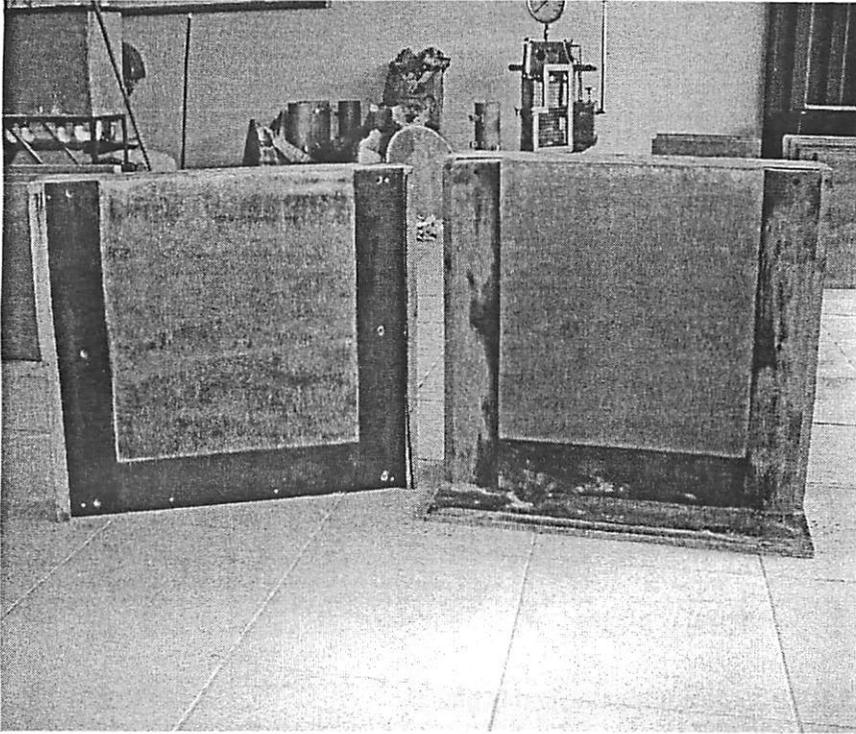


FIGURA 10: Desforma da placa.

#### 3.3.4. Cura das placas

As placas foram curadas durante 28 dias (Figura 11). A cura foi realizada com o umedecimento periódico, três vezes ao dia, sendo realizada manualmente e em cada placa individualmente.

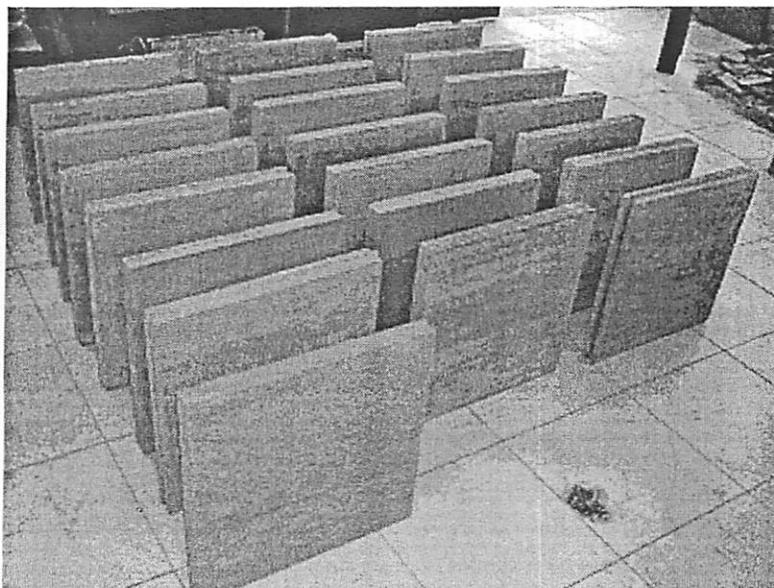


FIGURA 11: Armazenamento e cura das placas.

### **3.3.5. Ensaio das placas**

#### **3.3.5.1. Grau de compactação das placas**

O grau de compactação das placas foi medido de forma aleatória, usando uma placa de cada traço e cada espessura, determinando a sua massa específica aparente e comparando com a do corpo de prova do Proctor normal, confeccionado na umidade ótima.

#### **3.3.5.2. Flexão das placas**

Para os ensaios de flexão, foi utilizada a mesma máquina usada para ensaiar os corpos de prova à compressão, ou seja, a máquina universal de ensaios EMIC do Laboratório de Física da Madeira do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Lavras (Figura 12).



FIGURA 12: Máquina de ensaio universal EMIC.

Para realizar os ensaios, houve a necessidade de se fazer uma adaptação dessa prensa (Figura 13), objetivando possibilitar o rompimento das placas na posição horizontal, uma vez que os apoios existentes não satisfaziam às necessidades de dimensões das placas. Essa adaptação consistiu em fabricar dois apoios metálicos articulados e um cilindro metálico para a célula de carga, todos com comprimento de 50 cm, uma vez que os originais da máquina medem 10 cm. Nessa adaptação, as placas ficaram totalmente apoiadas, mesmo que suas arestas de apoio apresentassem-se ligeiramente reversas.

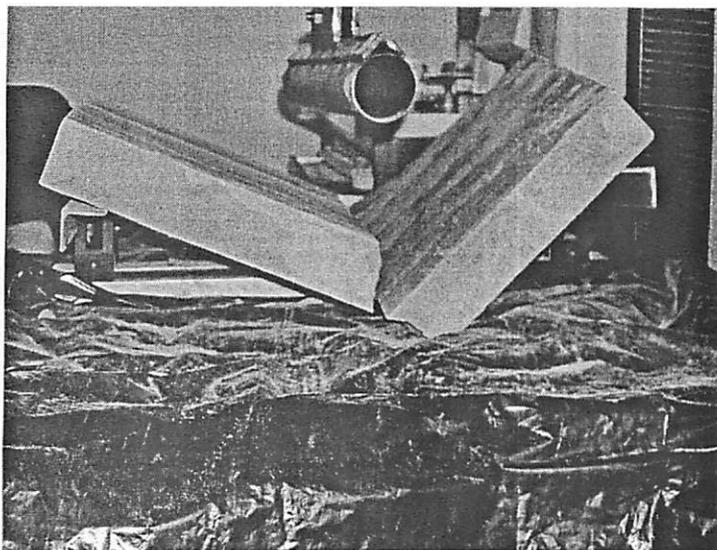


FIGURA 13: Detalhe das adaptações da máquina de ensaio para os ensaios a flexão.

As placas foram colocadas de tal forma que o sentido de aplicação da força ficasse perpendicular ao sentido em que as formas foram preenchidas, possibilitando avaliar a resistência da mistura solo-cimento e da espessura da placa.

A velocidade de carregamento da placa foi a mesma utilizada no carregamento dos corpos de prova ensaiados à compressão, ou seja, 130 kPa / segundo.

### 3.3.6. Análise experimental

Para a análise do experimento, utilizou-se o esquema fatorial 3x3, sendo três espessuras (4,5; 5,0 e 5,5 cm) e três traços (1: 10, 1:12 e 1:14) com três repetições, totalizando 27 placas, e as médias, comparadas por Tukey (5% de probabilidade).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dos resultados obtidos pelos ensaios, pode-se avaliar:

### 4.1. Solo utilizado

#### 4.1.1. Granulometria

Pelo Gráfico 02, pode-se observar que o Latossolo Vermelho Amarelo é propício, em termos de granulometria, para a utilização em construções de solo-cimento, uma vez que as dimensões dos grãos que caracterizaram esse solo como sendo arenoso. Em porcentagens, o solo apresentou 26% de argila, 5% de silte e 69% de areia, estando em conformidade com o tipo de solo indicado pela ABCP (1985b) para construções de solo-cimento.

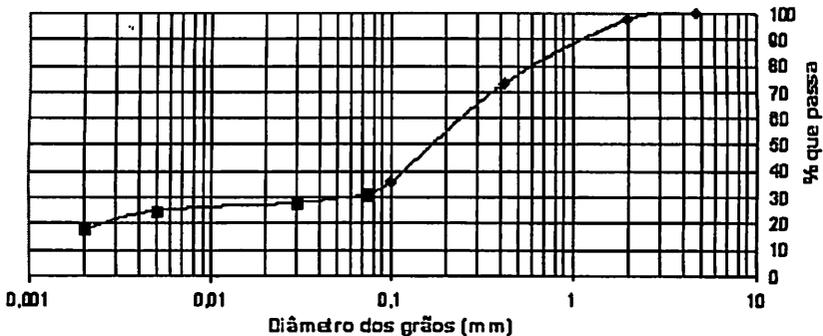


GRÁFICO 02: Curva granulométrica do Latossolo Vermelho Amarelo (LVm).

#### 4.1.2. Ensaio de retração

A retração obtida nas três repetições realizadas foi de 0,5 cm. Esse referencial constitui uma outra característica que permite assegurar que o solo

analisado é um latossolo arenoso, uma vez que a retração máxima para solos arenosos é de 2,0 cm, de acordo com a ABCP (1986b).

A utilização de solos arenosos em construção apresenta a vantagem de terem baixa retração, reduzindo a possibilidade do aparecimento de trincas.

#### **4.1.3. Limites de Atterberg**

##### **4.1.3.1. Limite de liquidez**

O limite de liquidez obtido foi de 20,76%. O baixo valor do limite de liquidez encontrado mostra a pouca adsorção de água pelas partículas de solo, o que reforça a constatação de o solo analisado ser um solo arenoso. Os resultados podem ser vistos na Tabela 01 e no Gráfico 03. Segundo recomendações da ABCP (1985b), o limite de liquidez pode chegar a 45% e o solo ainda ser usado na mistura solo-cimento.

TABELA 01: Ensaio de determinação do limite de liquidez do Latossolo Vermelho Amarelo (LVm).

<b>Limite de Liquidez<sup>00</sup></b>				
<b>Determinação N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Cápsula N°</b>	77	117	199	182
<b>Massa Bruta úmida (g)</b>	58,19	62,14	61,14	77,33
<b>Massa Bruta seca (g)</b>	54,08	56,66	55,38	67,97
<b>Tara da cápsula (g)</b>	27,58	27,15	27,63	27,55
<b>Massa de água (g)</b>	4,11	5,48	5,76	9,36
<b>Massa de solo seco (g)</b>	26,5	29,51	27,75	40,42
<b>Teor de umidade (%)</b>	15,51	18,57	20,76	23,16
<b>Número de golpes</b>	45	30	25	17

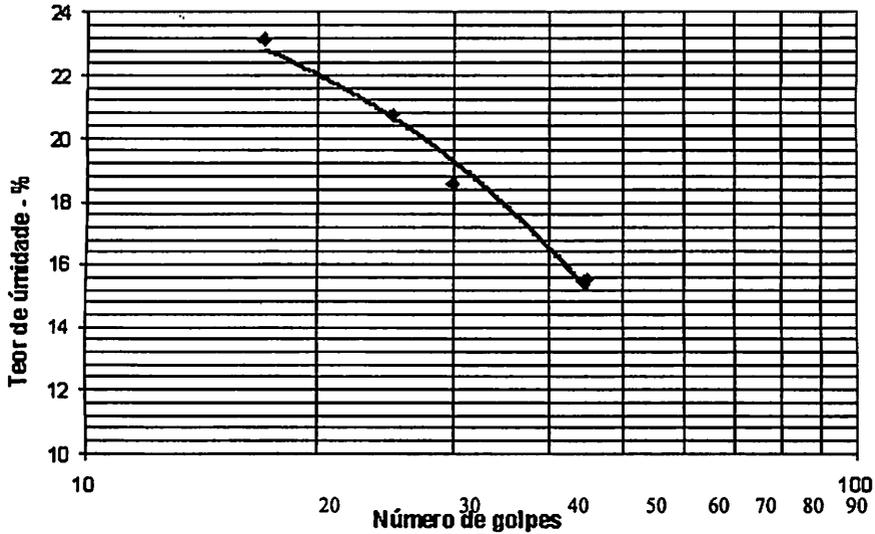


GRÁFICO 03: Curva do limite de liquidez do Latossolo Vermelho Amarelo (LVm)

#### 4.1.3.2. Limite de plasticidade

Os ensaios realizados na tentativa de se obter o limite de plasticidade indicaram que se trata de um solo não-plástico, uma vez que não foi possível moldar o cilindro de 3 mm de diâmetro, devido à fragmentação do mesmo. Com alguns solos, não é possível rolar o material até se obter um cilindro de 3 mm de diâmetro, por causa de sua fragmentação.

#### 4.1.4. Compactação

Do ensaio de compactação, pode-se verificar que a umidade ótima para esse solo é de 13,8 %, atingindo uma massa específica seca de  $1,74 \text{ g/cm}^3$ , como mostra a Tabela 1A (anexo A) e o Gráfico 04.

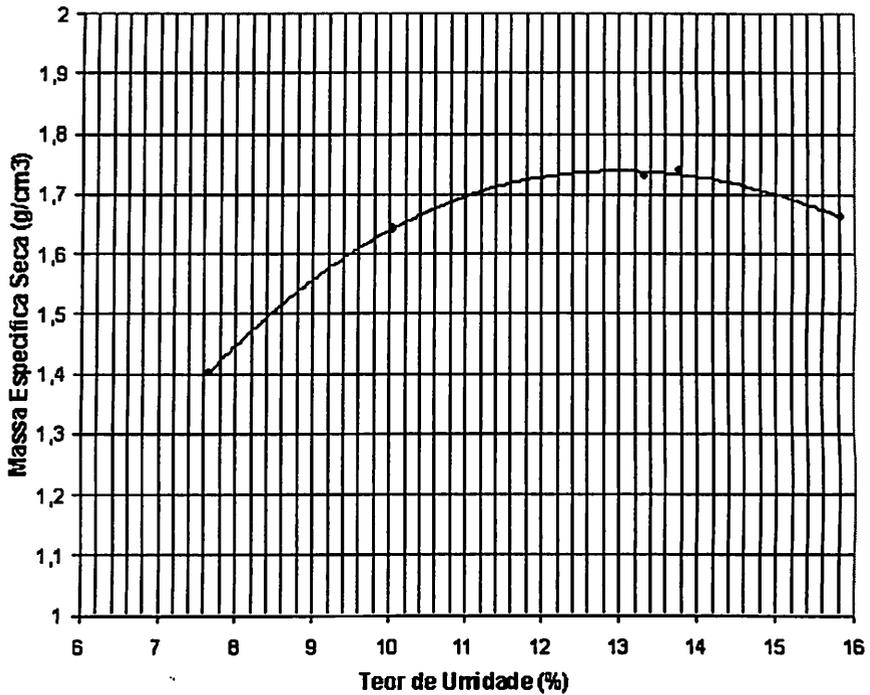


GRÁFICO 04: Curva de compactação do Latossolo Vermelho Amarelo (LVm).

## 4.2. Mistura solo-cimento

### 4.2.1. Ensaio de compactação

Dos ensaios de Proctor Normal realizados para se obter a umidade ótima, encontraram-se os seguintes resultados:

- Traço 1:10: Massa específica seca máxima 1,86 g/cm<sup>3</sup>  
Teor de umidade ótima 11,60 %
- Traço 1:12: Massa específica seca máxima 1,86 g/cm<sup>3</sup>  
Teor de umidade ótima 11,70 %

- Traço 1:14: Massa específica seca máxima 1,82 g/cm<sup>3</sup>  
Teor de umidade ótima 13,50 %

Os valores acima são mostrados nas Tabelas 2A, 3A e 4A (anexo A) e nos Gráficos 5, 6 e 7 para os traços 1:10; 1:12 e 1:14, respectivamente.

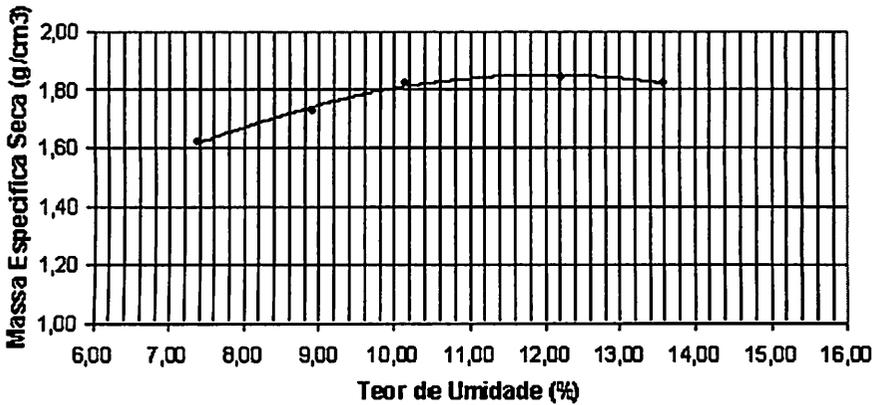


GRÁFICO 05: Curva de compactação da mistura de solo-cimento traço 1:10

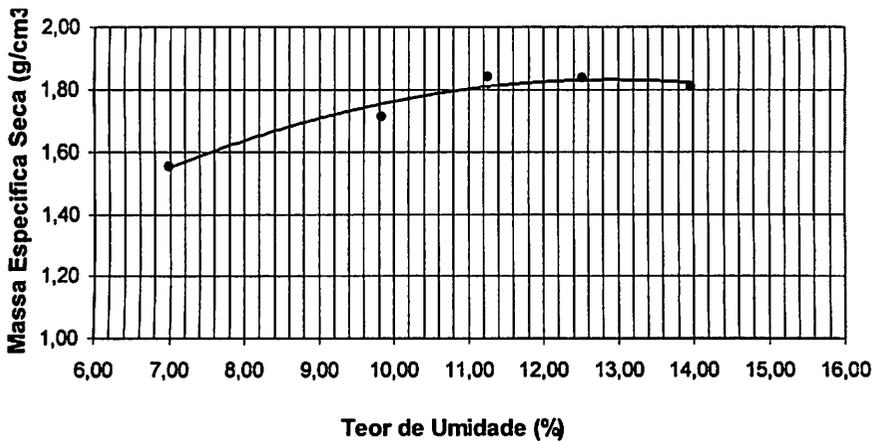
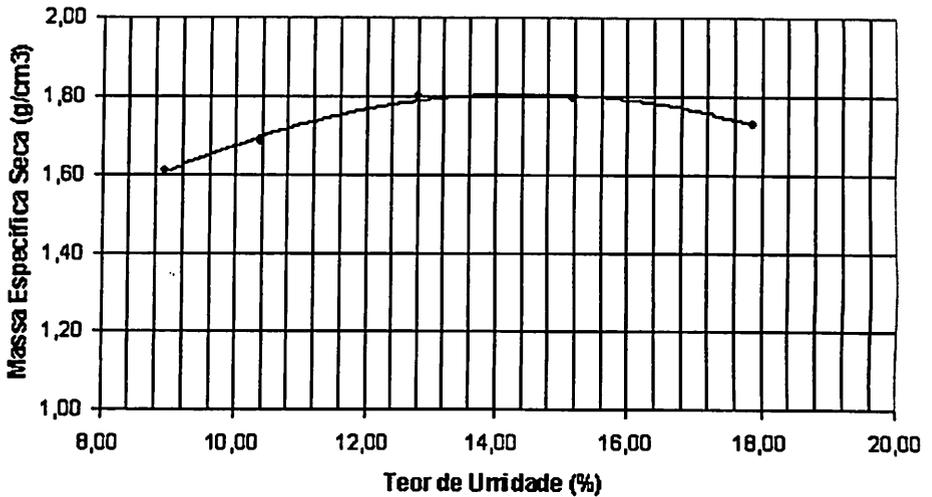


GRÁFICO 06: Curva de compactação da mistura de solo-cimento traço 1:12



**GRÁFICO 07:** Curva de compactação da mistura de solo-cimento traço 1:14

Observando o Gráfico 08, verifica-se que à medida que se diminui a quantidade de cimento na mistura, o teor de umidade aumenta. Isso pode ser explicado tendo em vista que a granulometria do cimento é menor que a do solo; com isso, ao acrescentar cimento na mistura, os vazios do solo passam a ser ocupados por cimento, diminuindo, assim, o espaço a ser ocupado por água.

Os resultados obtidos dos ensaios de compressão realizados para se medir a resistência oferecida aos 7 dias de cura são mostrados na Tabela 02. Pode-se observar que todos os valores da resistência dos três traços estudados foram superiores ao recomendado pela ABCP (1986b). Para o Latossolo Vermelho Amarelo, que apresenta uma porcentagem de silte mais argila de 31%, conforme Gráfico 09, a resistência mínima à compressão admissível aos sete dias de cura é de 2160 kPa. Esse valor nos leva a assegurar que todos os traços estudados podem ser utilizados em construções de solo-cimento.

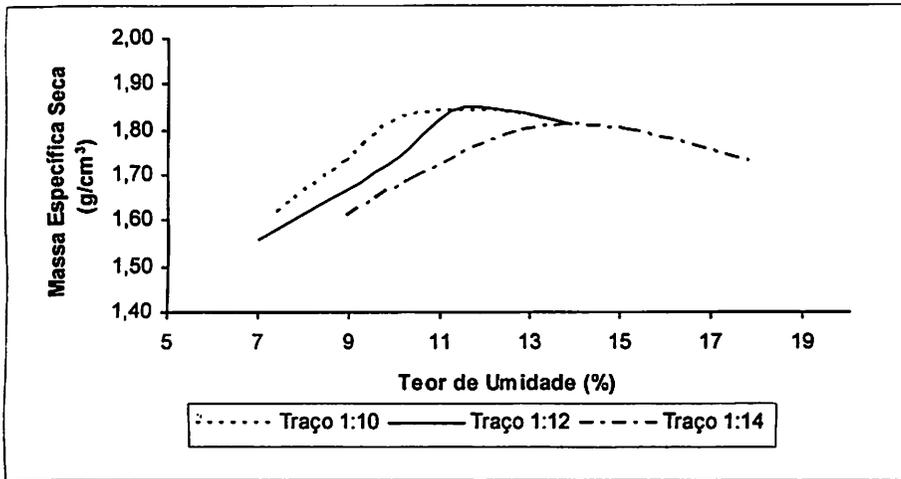


GRÁFICO 08: Curvas de compactação das misturas de solo-cimento traços 1:10, 1:12 e 1:14.

TABELA 02: Resistência à compressão aos sete dias de cura

Média da ruptura a compressão (kPa)	
Traço	Média
1:10	5116
1:12	4133
1:14	3965

Os resultados dos ensaios à compressão realizados com os três traços estudados e os três tempos de cura (7, 14 e 28 dias) são mostrados na Tabela 1B (anexo B). Pelos resultados, pode-se observar que houve uma interação significativa entre o tempo de cura e os diferentes traços, como mostra a Tabela 03.

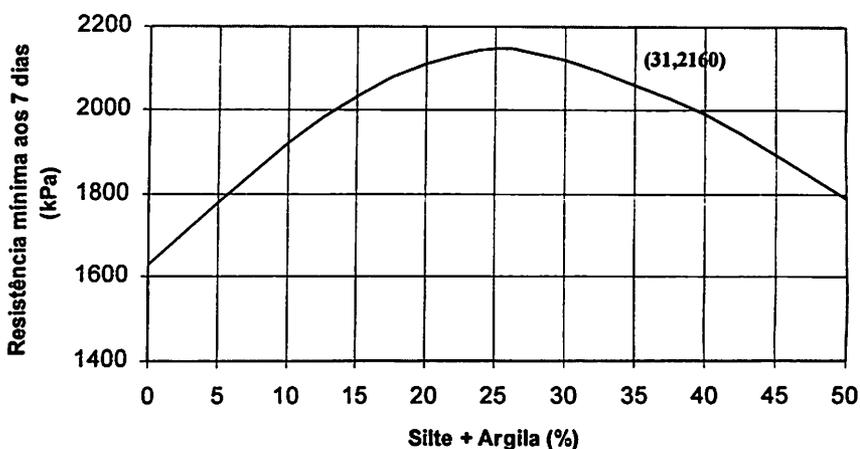


GRÁFICO 09: Curva de resistência à compressão mínima admissível para corpos de prova de solo-cimento, aos sete dias.

TABELA 03: Tabela de análise de variância para os ensaios à compressão

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tempo de cura	2	3855.712289	1927.856144	427.020	0.0000*
Traço	2	367.831022	183.915511	40.737	0.0000*
Tempo de cura* Traço	4	61.388822	15.347206	3.399	0.0308*
erro	18	81.264067	4.514670		
Total corrigido	26	4366.196200			
CV (%) =	3.79				
Média geral:	56.1166667		Número de observações:	27	

\* Diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Na Tabela 04 verifica-se o desdobramento dos tempos de cura dentro de cada traço. Na mesma tabela, pode ser observado que houve diferença significativa dos tempos de cura em todos os traços analisados.

**TABELA 04:** Tabela de análise do desdobramento do tempo de cura dentro de cada traço.

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
<b>Tempo de cura dentro do traço 1:10</b>	2	975.059289	487.529644	107.988	0.0000*
<b>Tempo de cura dentro do traço 1:12</b>	2	1615.986867	807.993433	178.971	0.0000*
<b>Tempo de cura dentro do traço 1:14</b>	2	1326.054956	663.027478	146.861	0.0000*
<b>Residuo</b>	18	81.264067	4.514670		

\* Diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Considerando que o tempo de cura é uma variável quantitativa e que existiu uma diferença significativa entre eles, dentro de cada traço estudado (Tabela 04) houve a necessidade de se fazer uma análise de regressão do tempo de cura para cada um dos traços analisados. A regressão que melhor se ajustou para todas as três análises realizadas foi a regressão linear, o que é mostrado nos Gráficos 10, 11, 12 e 13, para os traços 1:10, 1:12 e 1:14, respectivamente.

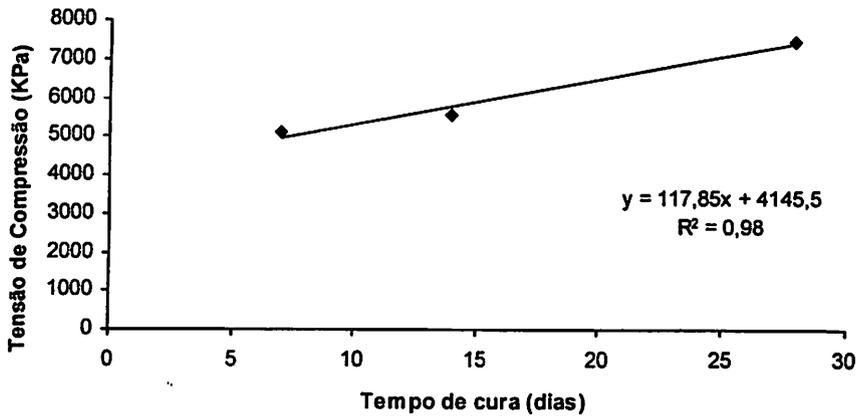


GRÁFICO 10: Regressão do tempo de cura para o traço 1:10

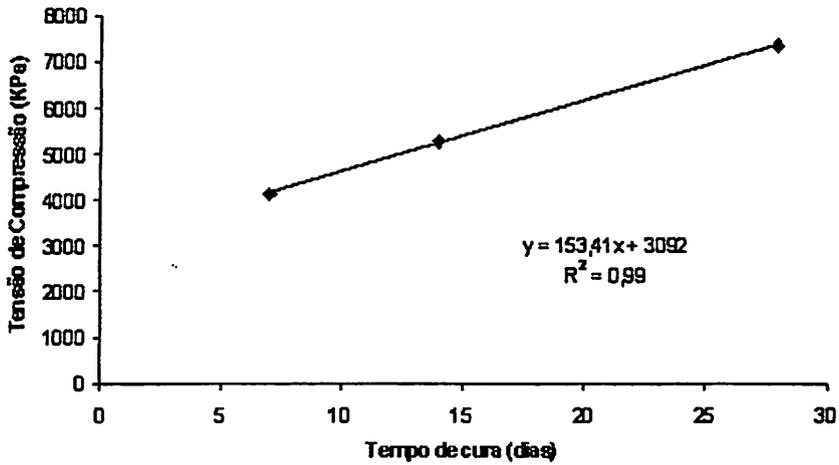


GRÁFICO 11: Regressão do tempo de cura para o traço 1:12

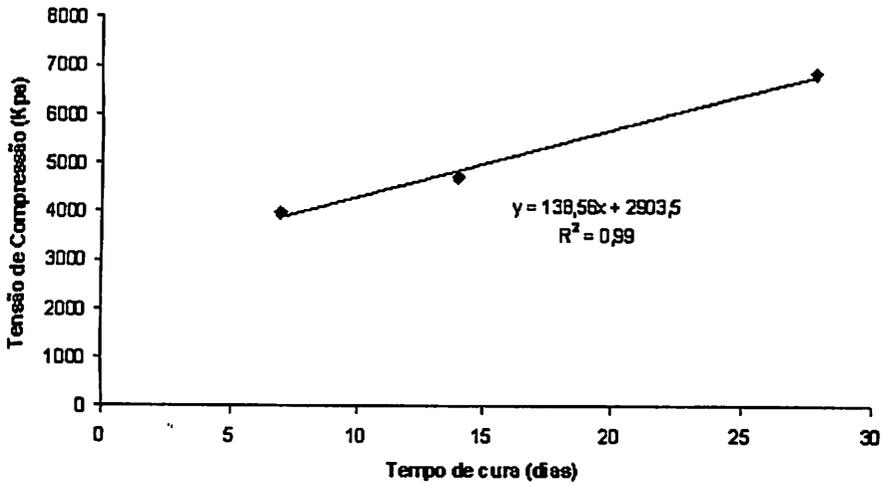
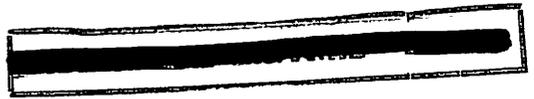


GRÁFICO 12: Regressão do tempo de cura para o traço 1:14

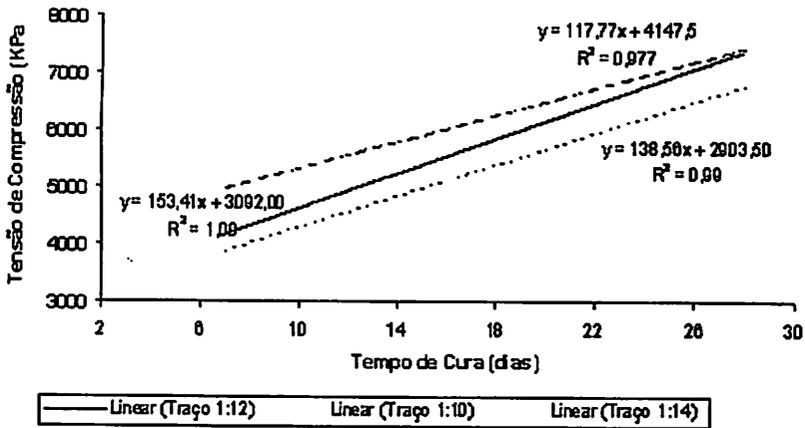


GRÁFICO 13: Regressão do tempo de cura para os traços 1:10, 1:12 e 1:14

O aumento da resistência do material solo-cimento com os três traços estudados em função do tempo de cura pode ser explicado pelo comportamento do cimento, que aumenta sua resistência em função desse período.

Os cimentos apresentam, em função do tempo de cura, um endurecimento que pode ser considerado, em média, de 50% da dureza final aos 3 dias, 70% aos 7 dias, 85% aos 14 dias e 100% aos 28 dias ( NBR 5732).

#### 4.2.2. Ensaio de flexão das placas de solo-cimento

Os resultados obtidos das placas ensaiadas à flexão estão na Tabela 2B (anexo B).

Pode-se observar na Tabela 05 que a interação entre a espessura das placas e os traços não foi significativa, inferindo-se que a espessura das placas independe do traço usado, necessitando, assim, de se estudar individualmente cada uma das variáveis analisadas.

TABELA 05: Tabela de análise de variância para a variável força nos ensaios à flexão.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
<b>Espessura</b>	2	16265.507341	8132.753670	46.328	0.0000*
<b>Traço</b>	2	13501.817363	6750.908681	38.456	0.0000*
<b>Espessura* Traço</b>	4	834.663437	208.665859	1.189	0.3494
<b>erro</b>	18	3159.876400	175.548689		

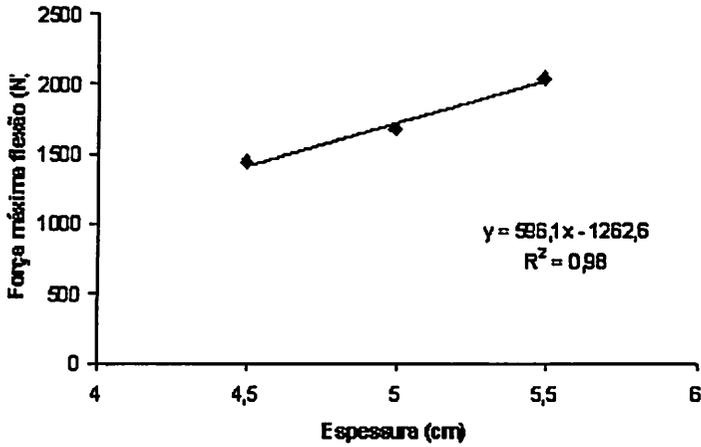


GRÁFICO 14: Regressão da espessura para a força máxima à flexão

---

<b>erro</b>	18	3159.876400	175.548689
<b>Total corrigido</b>	26	33761.864541	
<b>CV (%) =</b>	7,71		
<b>Média geral:</b>	171.7914815	<b>Número de observações:</b>	27

---

\* Diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Considerando que a espessura das placas é uma variável quantitativa, foi necessário efetuar uma análise de regressão dessa variável, como mostra o Gráfico 14. A regressão que melhor se ajusta aos valores encontrados é a regressão linear.

Pelos resultados obtidos nas resistências à flexão (Tabela 2B), as placas de 5,5 cm apresentaram uma resistência proporcionalmente maior que as demais

espessuras; ou seja, com o aumento de 20% na espessura, a força de ruptura aumentou, em média, 40%.

Em se tratando da variável traço, optou-se por fazer uma análise qualitativa, uma vez que havia somente o interesse em se comparar as diferentes misturas. As diferenças entre os traços estudados podem ser vistas na Tabela 06.

Avaliando a tensão de flexão, pode ser observado que o seu valor não se altera em função da espessura da placa. No entanto, analisando-se os diferentes traços, houve uma diferença significativa, como mostra a Tabela 07.

TABELA 06: Média das forças de ruptura (N) nos ensaios à flexão.

Traços	Médias	
1:10	1963,1	a
1:12	1768,1	b
1:14	1422,3	c

Letras diferentes mostraram a diferenciação dos valores ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

TABELA 07: Análise de variância para a variável tensão nos ensaios à flexão.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Espessura	2	1.937274	0.968637	1.843	0.1870
Traço	2	41.092363	20.546181	39.090	0.0000*
Espessura* Traço	4	3.513348	0.878337	1.671	0.2004
erro	18	9.461133	0.525619		
Total corrigido	26	56.004119			
CV (%) =	7,81				
Média geral:	9.2874074			Número de observações: 27	

\* Diferença Significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Sendo o traço uma variável qualitativa, optou-se por fazer um teste de Tukey para analisar a diferença entre a tensão para cada traço estudado, como mostrado na Tabela 08.

**TABELA 08: Média das tensões de ruptura (kPa) nos ensaios à flexão.**

<b>Traços</b>	<b>Médias</b>	
<b>1:10</b>	<b>10,67</b>	<b>a</b>
<b>1:12</b>	<b>9,51</b>	<b>b</b>
<b>1:14</b>	<b>7,67</b>	<b>c</b>

Letras diferentes mostraram a diferenciação dos valores ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

## 5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos nos ensaios, pode-se concluir que:

1. O Latossolo Vermelho Amarelo (LVm) pode, devido às suas propriedades físicas (granulometria, retração e Limites de Atterberg), ser utilizado em construções de solo - cimento.
2. Os três traços analisados (1:10, 1:12 e 1:14) podem ser empregados como material para construções de solo-cimento.
3. O melhor traço a ser usado é 1:14. A utilização de traços com maior teor de cimento dependerá da necessidade de cada caso específico.
4. Quanto à espessura, deve ser utilizada a placa de 5,5 cm, tendo em vista que sua força de ruptura à flexão é proporcionalmente maior que a relação entre as espessuras de 4,5 cm e 5,0 cm.

## **6 – SUGESTÕES**

Como sugestões para futuras pesquisas com o Latossolo Vermelho Amarelo (LVm) utilizado na confecção de placas pré-moldadas de solo-cimento, pode-se citar:

1. Avaliação da resistência à flexão em placas onduladas, uma vez que as placas avaliadas neste trabalho foram de superfície plana.
2. As saliências e os rebaixos nos topos das placas para encaixes foram de 1,0 cm de altura. Verificar a melhoria desses encaixes usando saliências e rebaixos maiores.
3. Construir painéis com placas e avaliar a estabilidade desses como alvenaria.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - **Aplicação de solo-cimento em pequenas áreas urbanas.** São Paulo, 1986a. 12p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - **Construção de paredes monolíticas com solo-cimento compactado.** São Paulo, 1985a. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - **Dosagem das misturas de solo-cimento; normas de dosagem e métodos de ensaio.** 3º Edição. São Paulo, 1986b. 57 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - **Fabricação de tijolos de solo-cimento com utilização de prensas manuais.** São Paulo, 1985b. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - **Paredes monolíticas de solo-cimento: hospital Adriano Jorge, Manaus.** 4 Ed. São Paulo, 1984. 44p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - **Solo-cimento na habitação popular.** São Paulo, 1985c. 14p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 5732. **Cimento Portland comum.** Rio de Janeiro, 1991.

CAPUTO, H. P. – **Mecânica dos solos e suas aplicações.** 6 Ed. Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científicos. 1988. 234p.

CEPED - CENTRO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO CAMAÇARI - BA- **Manual de construção com solo-cimento.** São Paulo, 1984. 147p.

CORRÊA, A. A. R. - **Avaliação das Propriedades Físicas e Mecânicas do Adobe (Tijolo de Terra Crua).** Lavras. UFLA, 2003. 62p. (Dissertação de Mestrado).

FREIRE, W.J. e HASSEGAWA, J.- **Impermeabilização de solo-cimento com aditivos químicos.** XXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Bauru, 1996. p.337.

**FREITAS, E.DAS G.A.- Utilização da cinza do bagaço da cana em tijolos tipo solo-cimento para construção civil. XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Viçosa, 1995.p.109.**

**PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI,L.R.; SENTELHAS, P.R. – Agrometeorologia, Fundamentos e aplicações práticas. Livraria e Editora Agropecuária Ltda. Guaíba, R.S. 2002, 478 p.**

**SEGANTINI, A. A.DA S.; ALCÂNTARA, M.A.DE M.; SILVA, S.A.M.DA – Aplicação de solo-cimento-cal na fabricação de tijolos prensados. XXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Bauru, 1996. p.323.**

## **ANEXOS**

### **ANEXO A**

#### **TABELA 1A**

Ensaio de compactação do Latossolo Vermelho Amarelo (LVm).....43

#### **TABELA 2A**

Ensaio de compactação da mistura de solo-cimento para o traço 1:10.....44

#### **TABELA 3A**

Ensaio de compactação da mistura de solo-cimento para o traço 1:12.....45

#### **TABELA 4A**

Ensaio de compactação da mistura de solo-cimento para o traço 1:14.....46

### **ANEXO B**

#### **TABELA 1B**

Média das resistências à compressão (kPa) aos 7, 14 e 28 dias de cura  
para os traços 1:10, 1:12 e 1:14.....47

#### **TABELA 2B**

Médias das resistências à flexão das placas nas espessuras de 4,5; 5,0 e  
5,5 cm para os traços 1:10, 1:12 e 1:14.....47

TABELA 1A: Ensaio de compactação do Latossolo Vermelho Amarelo (LVm).

Determinação	1			2			3			4			5		
Massa da Amostra + Tara do Cilindro (g)	3551			3850			4002			4023			3967		
Massa da Amostra (g)	1509			1808			1960			1981			1925		
Massa Específica Úmida (g/cm <sup>3</sup> )	1,51			1,81			1,96			1,98			1,93		
Cápsula número	26	209	2	66	243	7	26	7	165	244	156	204	243	200	137
Massa Bruta Úmid. (g)	39,40	39,40	49,75	48,09	50,47	45,47	47,79	51,59	43,39	59,56	48,58	50,63	50,68	52,63	44,74
Massa Bruta Seca (g)	37,81	37,81	47,40	45,29	47,43	42,89	44,12	47,55	40,28	54,47	44,78	46,62	46,05	47,81	40,99
Tara da Cápsula (g)	16,47	17,38	17,00	17,37	17,11	17,20	16,47	17,20	17,00	17,61	17,47	17,22	17,11	16,83	17,44
Massa da Água (g)	1,59	1,59	2,35	2,80	3,04	2,58	3,67	4,04	3,11	5,09	3,80	4,01	4,63	4,82	3,75
Massa do Solo Se. (g)	21,34	20,43	30,40	27,92	30,32	25,69	27,65	30,35	23,28	36,86	27,31	29,40	28,94	30,98	23,55
Teor de Umidade (%)	7,45	7,78	7,73	10,03	10,03	10,04	13,27	13,31	13,36	13,81	13,91	13,64	16,00	15,56	15,92
Teor de Umidade Médio (%)	7,65			10,03			13,31			13,79			15,83		
Massa Específica Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,40			1,64			1,73			1,74			1,66		

TABELA 2A: Ensaio de compactação da mistura de solo-cimento para o traço 1:10.

Determinação	1			2			3			4			5		
Massa da Amostra + Tara do Cilindro (g)	4259,8			4407,4			4536			4593,9			4596,1		
Massa da Amostra (g)	1735,3			1882,9			2011,5			2069,4			2071,6		
Massa Específica Úmida (g/cm <sup>3</sup> )	1,74			1,88			2,01			2,07			2,07		
Cápsula número	240	13	139	69	7	115	122	153	59	54	53	52	103	60	109
Massa Bruta Úmid. (g)	42,60	44,80	45,20	41,82	38,55	39,57	43,10	50,70	45,50	43,80	49,70	50,30	42,10	48,10	43,30
Massa Bruta Seca (g)	40,90	42,90	43,27	39,77	36,88	37,70	40,67	47,65	42,96	41,01	46,12	46,56	39,09	44,34	40,24
Tara da Cápsula (g)	17,46	16,92	17,01	17,25	17,16	17,21	17,32	17,52	17,39	17,66	16,83	16,49	16,88	17,18	17,38
Massa da Água (g)	1,70	1,90	1,93	2,05	1,67	1,87	2,43	3,05	2,54	2,79	3,58	3,74	3,01	3,76	3,06
Massa do Solo Se. (g)	23,44	25,17	26,26	22,52	19,72	20,49	23,35	30,13	25,57	23,35	29,29	30,07	22,21	27,16	22,86
Teor de Umidade (%)	7,25	7,55	7,35	9,10	8,47	9,13	10,41	10,12	9,93	11,95	12,22	12,44	13,55	13,84	13,39
Teor de Umidade Médio (%)	7,38			8,90			10,15			12,20			13,59		
Massa Específica Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,62			1,73			1,83			1,84			1,82		

TABELA 3A: Ensaio de compactação da mistura de solo-cimento para o traço 1:12.

Determinação	1			2			3			4			5		
Massa da Amostra + Tara do Cilindro (g)	4190,6			4409,2			4573,2			4595,4			4587,6		
Massa da Amostra (g)	1666,1			1884,7			2048,7			2070,9			2063,1		
Massa Especifica Úmida (g/cm <sup>3</sup> )	1,67			1,88			2,05			2,07			2,06		
Cápsula número	215	41	104	23	107	142	46	11	85	138	188	5	25	74	189
Massa Bruta Umid. (g)	40,10	40,77	33,15	41,00	44,10	48,60	47,16	45,31	49,61	45,49	47,54	45,82	42,88	45,82	46,41
Massa Bruta Seca (g)	38,45	39,28	32,18	38,83	41,67	45,87	44,06	42,34	46,47	42,31	44,18	42,58	39,68	42,30	42,80
Tara da Cápsula (g)	17,28	16,34	17,58	16,77	17,32	17,59	16,52	16,95	17,43	17,11	17,26	16,56	16,34	17,19	17,28
Massa da Água (g)	1,65	1,49	0,97	2,17	2,43	2,73	3,10	2,97	3,14	3,18	3,36	3,24	3,20	3,52	3,61
Massa do Solo Se. (g)	21,17	22,94	14,60	22,06	24,35	28,28	27,54	25,39	29,04	25,20	26,92	26,02	23,34	25,11	25,52
Teor de Umidade (%)	7,79	6,50	6,64	9,84	9,98	9,65	11,26	11,70	10,81	12,62	12,48	12,45	13,71	14,02	14,15
Teor de Umidade Médio (%)	6,98			9,82			11,26			12,52			13,96		
Massa Especifica Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,56			1,72			1,84			1,84			1,81		

TABELA 4A: Ensaio de compactação da mistura de solo-cimento para o traço 1:14.

Determinação	1			2			3			4			5		
Massa da Amostra + Tara do Cilindro (g)	4276,6			4386,5			4553,6			4592			4563,8		
Massa da Amostra (g)	1752,1			1862			2029,1			2067,5			2039,3		
Massa Específica Úmida (g/cm <sup>3</sup> )	1,75			1,86			2,03			2,07			2,04		
Cápsula número	39	125	66	204	156	89	82	187	55	219	28	243	216	35	116
Massa Bruta Úmid. (g)	46,10	55,10	49,40	45,46	50,96	52,80	55,90	61,30	53,50	54,70	51,60	54,60	55,60	56,00	56,40
Massa Bruta Seca (g)	43,66	52,04	46,75	42,83	47,82	49,44	51,53	56,23	49,43	49,72	47,07	49,72	49,90	49,98	50,46
Tara da Cápsula (g)	16,48	17,16	17,34	17,22	17,49	17,57	17,52	17,29	17,07	17,31	17,23	17,11	17,62	16,50	17,28
Massa da Água (g)	2,44	3,09	2,65	2,63	3,14	3,36	4,37	5,07	4,07	4,98	4,53	4,88	5,70	6,02	5,94
Massa do Solo Se. (g)	27,18	34,88	29,41	25,61	30,33	31,87	34,01	38,94	32,36	32,41	29,84	32,61	32,28	33,48	33,18
Teor de Umidade (%)	8,98	8,86	9,01	10,27	10,35	10,54	12,85	13,02	12,58	15,37	15,18	14,96	17,66	17,98	17,90
Teor de Umidade Médio (%)	8,95			10,39			12,82			15,17			17,85		
Massa Específica Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,61			1,69			1,80			1,80			1,73		

TABELA 1B: Média das resistências à compressão (kPa) aos 7, 14 e 28 dias de cura, para os traços 1:10, 1:12 e 1:14.

Traço	Tempo de cura (dias)		
	07	14	28
1:10	5116	5577	7518
1:12	4133	5289	7371
1:14	3965	4706	6829

TABELA 2B: Médias das resistências à flexão das placas nas espessuras de 4,5; 5,0 e 5,5 cm, para os traços 1:10, 1:12 e 1:14.

Traços	Variáveis	Espessuras (cm)		
		4,5	5,0	5,5
1:10	Força (N)	1718	1952	2219
	Tensão (KPa)	1150	1054	998
1:12	Força (N)	1402	1763	2140
	Tensão (KPa)	939	952	963
1:14	Força (N)	1206	1304	1757
	Tensão (KPa)	808	704	790