

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

930-111
11/10/96

**AVALIAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DO MATERIAL SOLO-
VINHAÇA CONCENTRADA E SUA UTILIZAÇÃO PARA
FINS DE FABRICAÇÃO DE TIJOLOS**

Por

MÁRIO MONTEIRO ROLIM

Orientador:

Prof. Dr. Wesley Jorge Freire

Parecer

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, Área de Concentração: Construções Rurais.

Este exemplar corresponde a re-
dada final da dissertação de
Mestrado defendida por Mário Mon-
teiro Rolim e aprovada pela Co-
missã Julgadora em 05 de
setembro de 1995. Campinas, 02 de
outubro de 1996.

Wesley Jorge Freire
Presidente da Banca

CAMPINAS-SP

Agosto de 1996



UNIVERSIDADE	BC
CHAMADA:	F/UNICAMP
R646a	
Es.	
COMBO BC/	31382
PREC.	28197
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	R. B. 11,00
DATA	14/08/97
N.º CPD	

CM-00099584-1

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

R646a Rolim, Mário Monteiro
Avaliação físico-mecânica do material solo-vinhaça concentrada e sua utilização para fins de fabricação de tijolos / Mário Monteiro Rolim.--Campinas, SP: [s.n.], 1996.

Orientador: Wesley Jorge Freire.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Vinhaça. 2. Tijolos - Fabricação. 3. Solos arenosos. 4. Solos argilosos. I. Freire, Wesley Jorge. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Tecnologia Rural da Universidade Federal Rural de Pernambuco, pela oportunidade de realizar este trabalho.

À Faculdade de Engenharia Agrícola e à UNICAMP, pela aceitação como aluno de pós-graduação.

Ao Prof. Dr. Wesley Jorge Freire pela orientação, ensinamentos, amizade, respeito, apoio, confiança e pela disponibilidade sempre demonstrada.

Aos Professores do DCR, pelo ótimo relacionamento especialmente ao Prof. Dr. Antonio L. Beraldo pela amizade, incentivo e inestimável ajuda e, à Prof^ª. Dr^ª. Irenilza A. Naas pela amizade.

Às secretárias: Vanessa, Deise, Aninha e Marta pela atenção, e aos inúmeros momentos que compartilhamos.

Ao Prof. Dr. João D. Biagi, pela acolhida de meus primeiros dias na FEAGRI.

Aos laboratoristas Paulo, Rosa e Rosália, pelas chaves, estufas, balanças, e ... porque sem estes não teríamos a realização dos ensaios.

Ao Laboratório de Materiais e Estruturas e Mecânica dos Solos da FEC, pelos ensaios realizados, em especial à Prof^ª. Dra. Gládis e ao mestre Marçal.

À CAPES/PICDT pela concessão da bolsa.

À todos funcionários do Campo Experimental da FEAGRI, pela ajuda na confecção dos tijolos, e, em especial, ao Freire, por tantos tijolos que fizemos juntos.

Aos meus colegas de pós, pela amizade e convivência nestes anos, e, em especial, aos meus amigos André e Celina, pelos bons momentos.

À Usina São Martinho pelo fornecimento da vinhaça, e à COPERSUCAR, pela análise química.

À CPG/FEAGRI pelos recursos fornecidos.

A todos que de uma forma ou de outra contribuíram para a realização deste trabalho.

A todos vocês o meu muito obrigado.

CONTEÚDO

	Página
LISTA DE QUADROS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	vii
RESUMO.....	ix
SUMMARY.....	xii
1 . INTRODUÇÃO	01
2 . REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	03
2 . 1 . Vinhaça: generalidades.....	03
2 . 2 . Estabilizadores do solo empregados na fabricação de tijolos de terra crua...11	11
2 . 3 . Tijolos de adobe.....	20
3 . MATERIAIS E MÉTODOS	23
3 . 1 . Materiais.....	23
3 . 1 . 1 . Solo	23
3 . 1 . 1 . 1 . Solo arenoso.....	24
3 . 1 . 1 . 2 . Solo argiloso.....	24
3 . 1 . 2 . Vinhaça Concentrada.....	26
3 . 1 . 3 . Equipamentos.....	27
3 . 1 . 3 . 1 . Prensa.....	27
3 . 1 . 3 . 2 . Máquina de fabricação dos tijolos.....	28
3 . 1 . 3 . 3 . Caixa de secagem do solo.....	28
3 . 1 . 3 . 4 . Outros materiais e equipamentos.....	28
3 . 2 . Métodos	31

3 . 2 . 1 .	Definição e aplicação dos tratamentos	31
3 . 2 . 2 .	Análise química	34
3 . 2 . 3 .	Ensaio de caracterização dos solos	35
3 . 2 . 4 .	Controle da umidade e secagem das amostras.....	38
3 . 2 . 5 .	Determinação dos limites de consistência	38
3 . 2 . 6 .	Peneiramento a seco.....	39
3 . 2 . 7 .	Ensaio de compactação	40
3 . 2 . 8 .	Moldagem de corpos de prova	40
3 . 2 . 9 .	Ensaio de compressão simples de corpos de prova de solo e de solo-vinhaça.....	41
3 . 2 . 10 .	Confecção dos tijolos de solo-vinhaça	42
3 . 2 . 10 . 1 .	Controle da umidade de moldagem dos tijolos.....	42
3 . 2 . 10 . 2 .	Regulagem da prensa.....	45
3 . 2 . 10 . 3 .	Prensagem dos tijolos.....	46
3 . 2 . 11 .	Ensaio de compressão simples dos tijolos de solo-vinhaça.....	50
3 . 2 . 12 .	Ensaio de absorção de água.....	53
3 . 2 . 13 .	Análise estatística dos dados experimentais	53
4 .	RESULTADOS	54
5 .	ANÁLISE E DISCUSSÃO	68
6 .	CONCLUSÕES.....	82
7 .	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84

LISTA DE QUADROS

	página
QUADRO 1 - Características físicas e químicas dos solos estudados.....	25
QUADRO 2 - Massa específica dos grãos dos solos estudados.....	26
QUADRO 3 - Composição química da vinhaça concentrada.....	27
QUADRO 4 - Limites de consistência dos solos estudados sob tratamento com vinhaça concentrada.....	57
QUADRO 5 - Porcentagem acumulada de agregados em peneira n ^o 60 (0,25 mm) para os solos estudados sob tratamento com vinhaça concentrada.....	59
QUADRO 6 - Módulo de Finura dos agregados dos solos estudados sob tratamento com vinhaça concentrada.....	59
QUADRO 7 - Massa específica aparente seca máxima ($\gamma_{m\acute{a}x}$) e umidade ótima (h_{ot}) do ensaio de compactação de solo-vinhaça concentrada.....	62
QUADRO 8 - Resistência à compressão-de-corpos de prova cilíndricos para os solos estudados sob tratamento com vinhaça concentrada (em MPa).....	64
QUADRO 9 - Resistência à compressão simples de tijolos confeccionados com solos tratados com 12% de vinhaça concentrada (em MPa).....	67

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1 - Máquina de fabricação de tijolos de solo-cimento, marca SOLO TEST.....	29
FIGURA 2 - Caixa de secagem de solo.....	30
FIGURA 3 - Fluxograma dos ensaios realizados para caracterização do material solo-vinhaça.....	32
FIGURA 4 - Fluxograma da aplicação dos tratamentos e preparo das amostras.....	33
FIGURA 5 - Amostras de solos arenoso e argiloso tratados com 12% de vinhaça concentrada	36
FIGURA 6 - Preparação das misturas de solo-vinhaça concentrada.....	37
FIGURA 7 - Corpo-de-prova com capeamento de enxofre.....	43
FIGURA 8 - Masseurias contendo solo sob tratamento com vinhaça.....	44
FIGURA 9 - Colocação do solo-vinhaça concentrada nos moldes da prensa	47
FIGURA 10 - Tijolos de solo-vinhaça desmoldados colocados em recipientes apropriados para secagem durante 24 h.....	48
FIGURA 11 - Estocagem de tijolos de solo-vinhaça em local adequado para secagem durante 30 dias.....	49
FIGURA 12 - Preparação dos tijolos de solo-vinhaça concentrada para o ensaio de compressão com cola-branca.....	51
FIGURA 13 - Corpo-de-prova de tijolo de solo-vinhaça concentrada pronto para ser rompido à compressão.....	52
FIGURA 14 - Variação da umidade em função do tempo, em caixa de secagem e ao ar-livre, solos tratados com 16% de vinhaça concentrada.....	56

FIGURA 15 - Limite de liquidez dos solos estudados sob tratamento com vinhaça concentrada.....	57
FIGURA 16 - Limite de plasticidade dos solos estudados sob tratamento com vinhaça concentrada.....	58
FIGURA 17 - Índice de plasticidade dos solo estudados sob tratamento com vinhaça concentrada.....	58
FIGURA 18 - Porcentagem acumulada de agregados em peneira nº 60 (0,25 mm) para os solos estudados sob tratamento com vinhaça.....	60
FIGURA 19 - Módulo de finura dos agregados dos solos estudados sob tratamento com vinhaça.....	61
FIGURA 20 - Massa específica aparente seca máxima ($\gamma_{máx}$) do ensaio de compactação.....	62
FIGURA 21 - Teor de umidade ótima do ensaio de compactação de solo-vinhaça concentrada.....	63
FIGURA 22 - Resistência à compressão simples de corpos de prova cilíndricos de solo-vinhaça, aos 7 dias.....	64
FIGURA 23 - Resistência à compressão simples de corpos de prova cilíndricos de solo-vinhaça, aos 30 dias.....	65
FIGURA 24 - Resistência à compressão simples de corpos de prova cilíndricos de solo-vinhaça, aos 90 dias.....	65
FIGURA 25 - Evolução da resistência à compressão aos 7, 30 e 90 dias para os solos arenoso e argiloso.....	66

RESUMO

Resultante da produção do álcool, a vinhaça, resíduo líquido de destilaria, foi por muito tempo considerada como despejo; soluções alternativas de aproveitamento tornaram-na de poluente indesejável a sub-produto de ampla margem de utilização, tais como na fertirrigação, na produção de biogás, no arração animal e tantas outras. Recentemente, pesquisas têm demonstrado que a vinhaça, na forma concentrada, pode ser utilizada na estabilização de solos, com muito bom resultados.

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de estudar as características físico-mecânica do solo-vinhaça concentrada, a 19% de sólidos totais, e sua possível utilização para a fabricação de tijolos, utilizando-se, para tal, dois tipos de solo, a saber: um solo arenoso $A_{2-4}^{(0)}$ e, outro argiloso $A_{7-5}^{(8)}$, tratados com 0%, 12%, 16% e 20% de vinhaça concentrada.

Os solos foram submetidos a ensaios de caracterização física, sendo, também, realizadas análises químicas dos solos e da vinhaça concentrada. As misturas experimentais de solo e vinhaça concentrada foram, por sua vez, postas a secar em dois ambientes

diferentes, na tentativa de verificar-se qual deles proporcionaria menor tempo de secagem e, assim, maior rapidez de utilização a partir da aplicação dos tratamentos. Ensaio de peneiramento a seco com determinação da porcentagem de agregados em peneira nº 60 (0,25 mm) e do módulo de finura dos agregados dos solos, assim como ensaios de consistência e de compactação, foram, também, realizados. Corpos de prova foram utilizados para a determinação da resistência à compressão simples aos 7, 30 e 90 dias. Posteriormente, baseado nos resultados anteriores, foi escolhida a dose de 12% de vinhaça concentrada para a confecção dos tijolos de solo-vinhaça.

Os dados obtidos, estatisticamente analisados, mostraram, ao nível de 5% de probabilidade, uma redução dos valores dos limites de liquidez e de plasticidade e nenhuma diferença significativa entre o módulo de finura e a porcentagem acumulada de agregados na peneira nº 60 (0,25 mm), índice correntes de estabilidade. Os tratamentos com vinhaça concentrada conduziram a maiores valores de massa específica aparente seca máxima, sendo que, para o solo arenoso, a melhor dose foi 16%, enquanto que para o solo argiloso todos os tratamentos tiveram o mesmo efeito; com relação à umidade ótima do ensaio de compactação, os tratamentos provocaram uma diminuição, tanto para o solo arenoso como para o solo argiloso. A resistência à compressão simples dos corpos de prova, aos 7, 30 e 90 dias, foi muito superior à testemunha, para ambos os solos, em função dos tratamentos.

Os tijolos confeccionados com solo arenoso e argiloso tratados com 12% de vinhaça concentrada, não apresentaram diferenças significativas; no que se refere à resistência à

compressão simples, cujos valores ficaram abaixo daqueles preconizados para tijolos de solo-cimento. Por outro lado, tendo em vista os resultados alcançados, os tijolos podem ser recomendado para uso em ambientes protegidos ou em paredes revestidas e tratadas com produtos hidrofugantes.

SUMMARY

This work was carried out to study the soil physical and mechanical characteristics when vinasse is added in its concentrated form, 19% total solid, and its possible utilization for the fabrication of bricks, by using two types of soil: a sandy soil $A_{2-4(0)}$ and, another clayey one $A_{7-5(8)}$, both treated with concentrated vinasse, in the proportion of 0%, 12%, 16% and 20%.

The soil samples were submitted to an essay of physical characterization. The soil and concentrated vinasse chemical analyses were realized; the mixtures of soil and concentrated vinasse were dried into two different environments, in order to verify which one would show lower time of dry sieving and then the faster period of utilization, to start with the application of the treatments. Essays of 60 mesh dry sieving aggregate percentage and the modulus of fineness of soil aggregates were made, as well as essays of the Atterberg limits and unconfined compressive strength test were determined in 7, 30 and 90 days.

Based on previous results, the dose of 12% concentrated vinasse was chosen to the fabrication of soil-vinasse bricks.

1. INTRODUÇÃO

No processo de obtenção do álcool de cana-de-açúcar resulta, como resíduo, um líquido chamado vinhaça, produzido à razão de 12 a 14 litros para cada litro de álcool. Devido ao grande volume de álcool processado pelas destilarias e, conseqüentemente, grande volume de vinhaça, resta o problema de sua disposição. Atualmente, a descarga de vinhaça nos rios, como solução para o problema dos efluentes das destilarias, não é mais uma proposição válida, sendo que outras soluções vêm sendo desenvolvidas.

A literatura cita o trabalho de ALMEIDA *et al.* (1950), apresentado na cidade de Bruxelas, como o primeiro estudo que discute os efeitos da aplicação da vinhaça no solo, assim como sua caracterização química. Diversos outros estudos foram realizados com o objetivo de avaliar os efeitos da vinhaça sobre as características físicas, químicas e biológicas do solo. A análise química deste resíduo mostra que ele contém produtos de valor comercial que não estão sendo aproveitados.

A vinhaça vem sendo usada “in natura” na fertirrigação, produção de biogás e arração animal. Seu aproveitamento para outras finalidades esbarra em alguns

problemas, tais como a baixa concentração de sólidos totais (5% em média). A concentração da vinhaça, por outro lado, é uma boa alternativa, embora implique em grande consumo de energia. Na forma concentrada, a vinhaça pode ser usada como agente aglutinante do solo, com efeitos positivos sobre sua resistência mecânica.

A busca de novos materiais para a construção civil, sem sombra de dúvida, vem dando aos resíduos agroindustriais, materiais estes considerados como entulho, uma oportunidade de serem utilizados para fins mais nobres, principalmente aqueles voltados para a solução do problema habitacional para as camadas da população de mais baixa renda.

Dentro deste contexto, este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de tijolos de solo-vinhaça concentrada, à semelhança dos tijolos de solo-cimento, como alternativa aos tijolos cerâmicos.

2 . REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2 . 1 . Vinhaça: generalidades

ALMEIDA (1952) divulgou os primeiros dados relativos à composição química da vinhaça, ficando evidenciado, em seu trabalho, tratar-se de um material que contém, em média, mais de 93% de água, representando a matéria orgânica 74,85% dos constituintes sólidos e o restante compreendendo minerais dos quais o potássio constitui 63,47%. De acordo com SILVA e ORLANDO FILHO (1981), além do potássio, são observados teores razoáveis de cálcio e pequenas quantidades de fósforo, nitrogênio, magnésio e enxofre; dos micronutrientes determinados, o ferro aparece em maior concentração, seguido do manganês, cobre e zinco em pequenas concentrações.

Segundo UMBERT (s/d), a vinhaça “in natura”, quando sai do processo de fabricação do álcool, apresenta a seguinte composição: 95% de água e 5% de matéria seca, da qual a orgânica representa 82% e a mineral, 18%.

A tecnologia da concentração da vinhaça surgiu na Áustria, como um imperativo ao melhor aproveitamento de matérias primas e seus resíduos, desenvolvendo-se intensamente após a 2ª Guerra Mundial. As unidades de concentração, denominadas Vogelbusch, encontram-se ainda hoje em pleno funcionamento em vários países europeus, tanto para vinhaça proveniente do melaço de beterraba, como do melaço de cana-de-açúcar importado, bem como para a vinhaça de cereais (ZEZZA NETO, 1977).

HULLET (1980) referiu-se a quatro tipos de soluções com evaporador para concentração de vinhaça, reportando-se principalmente àquele processo que concentraria o resíduo em até 30 Brix, limite que asseguraria o aparecimento mínimo de incrustações na caldeira.

Outros métodos para concentrar a vinhaça são descritos na literatura como, por exemplo, o relatado por RITTNER (1980), destinado a concentrar vinhaça a 60 - 65% de sólidos (vinhaça concentrada líquida) ou a 85 - 88% de sólidos (vinhaça granulada).

BERDAGUER (1979) relatou que a tecnologia empregada consiste em dois processos: a concentração e a secagem da vinhaça. A concentração é obtida mediante processo de evaporação de múltiplo efeito a vácuo, usando como fonte de energia os vapores alcoólicos da própria destilaria. O segundo processo é o da secagem, que transforma a vinhaça concentrada em pó. Neste segundo processo, são utilizados os gases residuais das caldeiras que normalmente são desperdiçados.

Segundo RITTNER (1980), a concentração e eventual secagem da vinhaça para obtenção de nutrientes destinados ao uso em rações balanceadas e adubos, resultará num produto lucrativo, propiciando uma renda adicional para a empresa. Relatou este autor que a forma de processamento adotada compreende a concentração de vinhaça num conjunto de evaporadores de quádruplo efeito, para obtenção de um produto intermediário com 30 a 35% de sólidos; a concentração desse produto num evaporador de contato direto com gases, para obtenção de outro produto intermediário, agora com 60% de sólidos; e a secagem final deste último produto intermediário em secador rotativo a vapor, para obtenção de um produto final com 88% de sólidos aglomerados na forma de “pellets”.

URBAN (1976) afirmou que a vinhaça concentrada pode ser aplicada no canavial, logo após o corte da cana, com tratores equipados com reboque, distribuindo este adubo líquido através de um sistema atomizador. Segundo este mesmo autor, outra grande utilização da vinhaça concentrada, já bem difundida em alguns países europeus, é a sua aplicação em ração para bovinos.

A utilização de vinhaça concentrada em ração balanceada, como componente substituto do melaço, é descrita por Pupo, citado por D'ARCE e MACHADO (1985), que constatou que a adição de vinhaça à ração reduz linearmente o consumo de matéria seca e o ganho de peso, mas não influencia a conversão alimentar, nem a digestibilidade aparente das

matérias seca e orgânica das dietas. Esta redução, de acordo com o autor, deve-se à baixa palatabilidade da vinhaça.

A vinhaça concentrada a 30% de sólidos totais apresenta a seguinte composição química média (FREIRE e AGUIAR, 1993):

pH.....	4,16
Sólidos totais (%).....	0,01
Matéria seca (MS %).....	25,73
Teor de umidade (%).....	74,27
Densidade (g/ml).....	1,11
Matéria orgânica (% MS).....	72,37
Matéria inorgânica (% MS).....	27,63
Nitrogênio-N (kg/m ³).....	3,18
Carbono-C (%).....	7,40
Fósforo-P ₂ O ₅ (kg/m ³).....	0,69
Potássio-K ₂ O (kg/m ³).....	38,20
Cálcio-CaO (kg/m ³).....	8,12
Magnésio-MgO (kg/m ³).....	4,79

Segundo KATZ (1979), a concentração da vinhaça a 60 Brix torna tal resíduo estável em condições inclusive de armazenamento para o período da entre-safra, e habilita também a sua aplicação em rações balanceadas.

Para URBAN (1976), a concentração da vinhaça seria interessante por três motivos:

- aproveitamento da sua riqueza em substâncias orgânicas e minerais;
- proteção dos recursos hídricos regionais contra a poluição;
- obtenção de um xarope estável, que possui aplicações também como fertilizante e componente para ração animal.

A vinhaça concentrada, utilizada como adubo orgânico em cobertura, pode ser aplicada, após o corte da cana, em pequenas quantidades, de acordo com MENEZES e MEDINA (1978), ou seja, cerca de até dez vezes menos se comparada à vinhaça “in natura”.

Das alternativas de aproveitamento da vinhaça, a que mais se destaca é o seu retorno “in natura” como substituto parcial ou total dos fertilizantes convencionais nas culturas; segue-se sua utilização como complemento de ração animal e, finalmente, para a produção de biogás.

RANZANI (1956) foi um dos pioneiros a estudar as consequências da aplicação da vinhaça sobre algumas propriedades físicas e físico-químicas do solo.

CAMARGO *et al.* (1988) verificaram não haver influência dos tratamentos com vinhaça na composição granulométrica de um Latossolo Vermelho Escuro textura média.

Resultados diferentes foram observados por AGUIAR (1992), quando uma dose de vinhaça equivalente a 200 m³/ha foi aplicada em um Latossolo Roxo, promovendo acréscimos ou reduções no teor de argila de forma inversamente proporcional ao teor de areia fina.

Foram verificadas por CAMARGO *et al.* (1988) alterações nos limites de consistência de um Latossolo Vermelho Escuro textura média, devido à aplicação de vinhaça; tais pesquisadores sugeriram que a matéria orgânica da vinhaça seria a responsável pelo deslocamento dos limites de liquidez e de plasticidade. Contrariamente, AGUIAR (1992) não verificou efeitos sobre os limites de consistência de um Latossolo Vermelho Escuro textura média tratado com vinhaça; porém, o mesmo tratamento com vinhaça promoveu uma redução nos valores do limite de plasticidade de um Latossolo Roxo.

Segundo AGUIAR e FREIRE (1993), para o solo areno-argiloso estudado, os tratamentos com vinhaça provocaram acréscimos significativos nos valores do limite de liquidez e índice de plasticidade, sendo que os maiores valores foram atingidos com a dose 11,0% de vinhaça, para o limite de liquidez, e 5,5%, para o índice de plasticidade. No caso do solo argilo-siltoso, os tratamentos com vinhaça provocaram uma redução significativa nos valores do limite de liquidez e índice de plasticidade, sendo que os menores valores foram atingidos com as doses 11,0%, 16,5% e 22,0% de vinhaça. FREIRE e AGUIAR (1993) concluíram também que, para o solo areno-argiloso estudado, a incorporação de vinhaça concentrada aumentou os valores do peso específico aparente seco máximo do ensaio de compactação e os teores de umidade ótima correspondente e aumentou os valores

da resistência à compressão simples, tanto ao 7^o como ao 28^o dias; para o solo argilo-siltoso, os efeitos da incorporação da vinhaça concentrada foram no sentido de reduzir os valores do peso específico aparente seco máximo e da umidade ótima correspondente, e aumentar os valores da resistência à compressão simples aos 7 e 28 dias, neste caso, exceção feita para as doses de 5,5% e 22,0% de vinhaça concentrada.

AGUIAR (1992) concluiu que, de um modo geral, apenas o solo areno-argiloso mostrou-se viável ao tratamento com vinhaça-concentrada.

VALSECCHI e GOMES (1954) verificaram que a adição de vinhaça no solo não apenas aumentava-lhe o pH, mas, também, a capacidade de troca catiônica e a soma de bases. Resultados semelhantes foram encontrados por AGUIAR(1992).

A aplicação da vinhaça ao solo provoca um acréscimo no teor de matéria orgânica, que propicia uma melhor estruturação (a mucilagem excretada pelos microorganismos do solo age como agente cimentante das partículas do solo, formando agregados estáveis), favorecendo com isto uma melhor circulação de água e ar, e reduzindo, também, a susceptibilidade à erosão (FERREIRA e MONTEIRO, 1987).

LONGO (1994) estudou o efeito da vinhaça “in natura” e biodigerida nas propriedades de um Latossolo Vermelho Amarelo, comparando um ecossistema natural e outro cultivado com cana-de-açúcar; a autora constatou que, com a introdução da cultura e

aplicação dos tratamentos, houve melhorias nos atributos do solo estudado, concluindo que, no caso da vinhaça biodigerida, que apresenta teor de matéria orgânica menor que a “in natura”, os seus efeitos foram menos marcantes. O aumento da estabilidade dos agregados foi um dos atributos estudados pela autora nos solos tratados com vinhaça.

O efeito da matéria orgânica no solo, como agente aglutinador, tem sido observado há muito tempo, havendo forte indicação de que a matéria orgânica conduz à formação de agregados estáveis; BAVER et al. (1973) afirmaram que esse efeito é mais notável em solos que contêm pequenas quantidades de argila, menos de 25%, e concluíram que a argila e os colóides orgânicos causam a maior parte da agregação do solo, o que sugere a possibilidade da existência de interação entre a matéria coloidal mineral e a orgânica, formando complexos argilosos orgânicos. A incorporação da matéria orgânica no solo traz à tona a ação dos microrganismos do solo, que se intensifica após sua incorporação.

Como efeito da formação de agregados estáveis tem-se:

- ação de união mecânica das células e os filamentos dos organismos;
- cimentação dos produtos derivados da síntese microbiana;
- ação estabilizadora dos produtos da decomposição que atuam individualmente ou em combinação.

A relação entre a agregação e a matéria orgânica do solo é um processo dinâmico (BAVER et al., 1973); os agentes cimentantes que se formam a partir da degradação da

matéria orgânica, estabilizam os grãos e logo se decompõem, tornando os agregados menos estáveis. Por sua vez, os autores citaram que os polissacarídeos e compostos similares estão sujeitos a uma lenta transformação biológica, diminuindo a taxa de decomposição da matéria orgânica e aumentando o efeito do tempo na estabilidade dos agregados.

2 . 2 . Estabilizadores do solo empregados na fabricação de tijolo de terra crua

Vários produtos químicos vêm sendo empregados como agentes estabilizadores do solo para fins de fabricação de tijolos, dentre os quais pode-se destacar o cimento, a cal, o cloreto de cálcio, etc.

De acordo com SILVEIRA (1967), a estabilização do solo, em seu sentido lato, pode ser compreendida como a alteração de qualquer propriedade do mesmo que melhore seu comportamento, sob o ponto de vista de aplicação à engenharia. Consiste em um tratamento artificial do mesmo, pela adição de material ou processo denominado estabilizante. PINTO (1985) referiu-se à expressão “estabilização de solos”, no sentido amplo, como sendo qualquer processo pelo qual o solo é melhorado, adquirindo as propriedades necessárias para o fim a que se destina.

FREIRE e PIEDADE JR. (1979) pesquisaram os efeitos da aplicação de dois condicionadores, a saber, CMC (carboximetilcelulose), nas dosagens de 0,1% e 0,25%, e silicato de sódio, na dosagens 0,6% e 1,2%, em peso, sobre a resistência relativa dos

agregados à demolição mecânica em função do tempo, de dois solos distintos, um argiloso e outro barro arenoso. A partir do peneiramento a seco, os autores determinaram a porcentagem acumulada de agregados na peneira nº 60 (0,25 mm) e também o módulo de finura, sendo os dados obtidos estatisticamente analisados, após o que os autores propuseram que o módulo de finura fosse usado como índice de estabilidade estrutural dos agregados do solo.

O uso de ácido fosfórico na estabilização de solos visando uma possível aplicação em solos lateríticos, para fins de pavimentação, foi estudado, a nível de laboratório, por GUIDA e MEDINA (1974), que trabalharam com quatro tipos de solo, um deles da região de Campinas, e cinco teores de ácido, a saber: 1, 2, 3, 4 e 5%, para diferentes energias de compactação. A partir dos resultados obtidos, os autores concluíram que solos finos, tratados com ácido fosfórico, desenvolvem elevada resistência à compressão simples, devido à cimentação das partículas, motivo pelo qual os autores sugeriram o emprego deste aditivo como uma possibilidade na estabilização de solos tropicais.

O uso do cimento, como material estabilizador de solos, teve início nos EUA, em 1916, quando o cimento Portland foi empregado, pela primeira vez, para solucionar problemas causados pelo tráfego de veículos de roda não pneumática. No Brasil, o interesse pelo assunto começou em 1936 com a fundação da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP).

A ABCP (1985) descreveu o processo de fabricação de tijolos de solo-cimento como sendo, basicamente, uma mistura constituída de solo, cimento e água, devidamente prensada. A prensagem é feita dentro de moldes e formas variadas que possibilitam a produção de diversos tipos de tijolos. Os tijolos fabricados são estocados para cura e mantidos úmidos, porém não saturados, por um período nunca inferior a sete dias.

Todos os solos endurecem satisfatoriamente após mistura com cimento seguido de adequada compactação, sendo mais indicados os solos arenosos bem graduados e com razoável quantidade de silte e argila (PINTO, 1960).

Os solos mais arenosos estabilizam-se com menores quantidades de cimento. A presença de argila na composição do solo é necessária para dar à mistura coesão suficiente para imediata retirada das formas, quando umedecida e compactada (ABCP, 1985).

A possibilidade de utilização de solos do próprio local constitui uma das grandes vantagens do solo-cimento; no entanto, o CEPED (1984) chama a atenção para o fato de que nem sempre os volumes disponíveis são suficientes para atenderem às necessidades, além do que o solo local pode não ser o mais adequado; neste caso, justifica-se a prática de se misturar o solo local com solos importados, de tal forma a melhorar suas características.

Na mistura solo-cimento, o solo é o elemento que entra em maior proporção, devendo ser selecionado de modo a permitir o uso da menor quantidade possível de

cimento. De maneira geral, os solos mais adequados para fabricação de tijolos de solo-cimento são, de acordo com a ABCP(1985), os que possuem as seguintes características:

% passando na peneira ABNT # 4,8 mm (nº4).....	100%
% passando na peneira ABNT # 0,075mm (nº200)	10% a 50%
limite de liquidez (LL).....	≤45%
índice de plasticidade (IP).....	≤18%.

Davidson, citado por PINTO (1960), pesquisou a aplicação de cinzas volantes, visando a melhoria das características do solo-cimento, concluindo ser a mesma benéfica somente no caso de solos arenosos.

Catton e Felt, citados por PINTO (1960), verificaram ser a adição de cloreto de cálcio, em pequenas quantidades, o meio mais indicado para imobilizar a matéria orgânica, presente nas misturas de solo-cimento. SILVEIRA (1967) afirmou que a ação do cloreto de cálcio no solo provém de reações de caráter coloidal, que reduzem a dupla camada dos colóides e, assim, a perda de resistência de solos que contêm finos; a alteração das características químicas da água do solo e o aumento da atração entre as partículas de solos finos foram, também, verificados pelo autor.

Para reduzir os efeitos negativos da matéria orgânica do solo, presentes na mistura de solo-cimento, recomenda-se o uso de cimento de alta resistência inicial assim como de

cloreto de cálcio; este aditivo químico atua aumentando a coesão do solo e produzindo uma mistura estável e resistente.

FREIRE e HASSEGAWA (1996) estudaram o efeito de impermeabilizantes na absorção de água por corpos de prova de solo-cimento moldados com dois tipos de solo, a saber, um arenoso e outro argiloso, em duas formas de aplicação: via água de amassamento e por pintura superficial, chegando aos seguintes resultados:

- não houve diferença significativa entre os três impermeabilizantes utilizados, quais sejam, Neutrol, Neutrolim T e Vedajá;

- a aplicação por pintura superficial permitiu obter os melhores resultados:

- os piores resultados foram proporcionados pelo tratamentos via água de amassamento para o solo argiloso;

- ambos os solos responderam igualmente aos tratamentos aplicados sobre os corpos de prova de solo-cimento em pintura superficial;

- em relação à resistência à compressão simples dos corpos-de-prova, o melhor resultado foi alcançado pela testemunha do solo arenoso.

Com respeito à resistência à compressão simples de corpos-de-prova de solo-cimento, tratados com aditivos químicos impermeabilizantes aplicados em pintura superficial, observaram os autores que os maus resultados obtidos foram devidos ao ineficaz endurecimento do cimento, uma vez que o tratamento impermeabilizante foi aplicado logo após a desmoldagem, quando a cura ainda era incompleta.

PINTO (1985) citou que a adição de cal ao solo, seguida de compactação, faz com que a mistura apresente maior capacidade de suporte, principalmente para solos finos.

A ABPC (1987), pesquisando tijolos compactados de solo-cal, mostrou que, para cada tipo de solo, há um teor ótimo de cal ao qual corresponde uma máxima resistência à compressão.

No caso do solo-cal, PINTO (1985) mencionou que o efeito aglomerante é predominantemente resultante das reações da cal com os minerais argilosos ou amorfos e que, no caso, depende muito do tipo de solo. Thompson, citado por PINTO (1985), afirmou que os parâmetros, tais como, porcentagem de argila, limite de liquidez e índice de plasticidade, não são indicativos da reatividade da cal.

Segundo a ABPC (1987), resultados com solo-cal na fabricação de componentes construtivos na Índia (1972) e Dinamarca (1987), vêm motivando estudos sobre a produção manual de tijolos destinados à habitação de interesse social. Por outro lado, experimentos realizados no Ceará e em São Paulo, com diferentes tipos de solo, mostraram que a umidade de moldagem e a cura desempenham papéis relevantes na resistência à compressão dos tijolos de solo-cal, apresentando a cal cálcica melhores resultados que a dolomítica. Corpos de prova moldados em laboratório mostraram aumento de resistência à compressão com o aumento da energia de compactação, chegando a um acréscimo de 35% para uma pressão quadruplicada, com o teor de umidade mantido constante. Prensas de maior potência

permitem a produção de tijolos de resistência à compressão superior aos obtidos com prensa manual, uma vez que a energia de compactação é maior.

GUIMARÃES (1985) fabricou tijolos de solo-cal utilizando 10% de cal dolomítica, moldados em prensa manual; os resultados mostraram que o produto obtido é compatível com o seu desempenho nas construções de edifícios, particularmente aqueles de pequeno porte, tipo moradia popular. No aspecto de resistência, o autor ressaltou que os tijolos de solo-cal têm sua resistência aumentada com o decorrer do tempo, em consequência das reações químicas de formação de compostos cimentantes, desenvolvidas entre a cal e o gás carbonico (CO_2) presente na atmosfera.

A ABPC (1987) avaliou o efeito de diferentes tipos de cura na resistência à compressão dos tijolos de solo-cal, ressaltando a influência da temperatura e umidade, parâmetros que influenciam as reações entre os constituintes do solo e da cal.

A URB (1992) utilizou a borra de carbureto, resíduo da fabricação de acetileno, para estabilizar solos utilizados na fabricação de tijolos, destinados à construção de habitações populares.

CHIES et al. (1993) utilizaram cal em misturas com cinzas volantes e cinzas pesadas, que os autores enquadram como materiais pozolânicos sílico-aluminosos, que por si só não

apresentam valor cimentante; a estabilização do material depende, todavia, da qualidade de seus componentes e da energia de compactação empregada.

GUEDERT *et al.* (1989), em experimento utilizando cinzas de casca de arroz como material pozolânico para obtenção de aglomerantes alternativos, concluíram que:

-pode-se aumentar a resistência à compressão das argamassas de cimento Portland comum, pela substituição parcial deste por cinzas de casca de arroz; o aumento é evidenciado a partir do 28^o dia e representa um ganho de resistência de até 14%;

-para uma mesma resistência, o teor de cinzas de casca de arroz admissível no aglomerante tipo cimento/cinzas, é diretamente proporcional à superfície específica das cinzas;

-aglomerantes tipo cal/cinzas desenvolvem resistência predominantemente após os 7 dias de idade;

-proporções diferenciadas de cimento/cal/cinza formam aglomerantes com resistência à compressão apropriada a vários usos, tais como alvenaria, pisos, revestimento, etc.

DA FONSECA (1993), baseado em experimentos com tijolos fabricados com cimento em mistura com materiais silicosos e pozolânicos (cinza mineral e cinza de casca de arroz), concluiu que:

-os tijolos obtidos apresentaram características mecânicas de resistência à compressão simples e absorção de água enquadrados nas normas brasileiras;

-os tijolos de cinza comparados aos tijolos de solo-cimento, confeccionados com o mesmo tipo de solo, apresentaram melhor comportamento mecânico;

-entre os de cinzas de carvão mineral e os de cinzas de casca de arroz, os tijolos de cinzas de carvão mineral apresentaram comportamento mecânico superior.

Em vista disso, DA FONSECA (1993) afirmou que é viável o uso de materiais silicosos e pozolânicos (cinzas de carvão mineral e cinzas de casca de arroz) em mistura com cimento, no processo de estabilização de solos.

As reações que ocorrem em uma mistura de pozolana e cal hidratada são muito complexas e ainda não foram perfeitamente definidas; esta complexidade das reações é realçada pela heterogeneidade das composições física e química da cinza. Provavelmente, a reação crítica ocorra entre o hidróxido de cálcio e os minerais de sílica e alumínio presentes na cinza volante, produzindo silicatos e aluminatos de cálcio. As reações pozolânicas não se verificam se não houver quantidade de água suficiente na mistura. Muitas cinzas não são reativas, enquanto que outras são extremamente reativas; misturas de qualidade são produzidas, de acordo com NARDI (1987), utilizando-se cinzas de boa reatividade. Este autor, trabalhando com cinzas volantes e cal hidratada na estabilização de solos arenosos para construção de bases de pavimento, concluiu que:

-os valores das resistências máximas são crescentes em função dos períodos de cura adotados;

-o ganho de resistência é função do tempo de cura, sendo que, a partir dos noventa dias, este valor tende a se estabilizar.

CHIES *et al.* (1993) estudaram dois processos de cura com tijolos prensados de cinza-cal: a cura em câmara úmida, à temperatura constante, e a auto-clavagem. Para os tijolos curados em câmara úmida, observaram os autores que, à medida que aumenta o tempo de cura, cresce a resistência à compressão dos tijolos, devido às reações de silicatos e aluminatos com o hidróxido de cal; no processo de auto-clavagem, mencionou o autor que fica bem definido, nas comparações entre misturas, que o desenvolvimento das reações entre silicatos e aluminatos das cinzas com o hidróxido de cálcio é a parcela mais significativa da resistência; o tipo de distribuição granulométrica, ao contrário do processo de cura à temperatura constante, é menos significativo na variabilidade da resistência. Na comparação dos dois processos de cura, o de auto-clavagem obteve melhores resultados aos sessenta dias.

2.3. Tijolos de adobe

ALVARENGA (1995) definiu o adobe como sendo técnica construtiva que consiste em moldar o tijolo de terra crua em formas de madeira, sendo o bloco de terra seco ao sol, sem que haja a queima do mesmo; em alguns locais, a autora relatou que, além da terra e água, utiliza-se o capim gordura cortado, como armação, e o estrume de gado fresco, como estabilizador. Os blocos, depois de secos, são assentados com argamassa de terra e areia, e, em alguns casos, terra de cupinzeiro ou de formigueiro.

O efeito da compressão sobre a resistência e estabilização de tijolos de solo-cimento e tijolos de barro, foi estudado por Neubauer e Quintero, citados por FREIRE (1975), que

utilizaram máquinas manuais e aplicaram uma pressão de 8 kg/cm^2 sobre tijolos moldados em formas de aço de $15 \times 30 \text{ cm}^2$.

LAVINSKY *et al.* (1991), trabalhando com três tipos de barros em mistura com diferentes quantidades de areia para a fabricação de adobes, concluíram que o barro, originalmente mais argiloso, apresentou melhores resultados no que diz respeito à erodibilidade a seco do material obtido.

O CEPED (1984) constatou que a fabricação manual de tijolos compactados raramente ultrapassa a produção de trezentos tijolos por dia, contando com dois trabalhadores; assim, em vista da facilidade de operação das máquinas de prensagem e de seus custos relativamente baixos, a solução de fabricar tijolos, compactando-os individualmente em uma forma, torna-se antieconômica para a produção em maior escala, embora seja esta prática ainda muito difundida entre a população de baixa renda.

Com respeito ao ensaio de durabilidade, o CEPED (1984) efetuou modificações a fim de adequá-lo a reproduzir mais coerentemente as condições de uso previstas; deste modo, não empregou escovação dos corpos de prova, pois a condição de abrasão em paredes é muito menos severa que as previstas em estradas.

LAVINSKY *et al.* (1991), testando tijolos de adobe confeccionados com barros argilosos em mistura com areia, concluíram que:

-a mistura de barros mais argilosos com areia permitiu a obtenção de tijolos de adobe mais resistentes à compressão;

-a condição de secagem dos adobes não teve efeito relevante na resistência à compressão;

-os adobes confeccionados manualmente não resistiram ao teste de absorção de água concebido para o solo-cimento.

BARBOSA e MATTONE (1996) utilizaram dois tipos de solos arenosos e um terceiro obtido por mistura de solos locais, na confecção de tijolos de terra crua e de solo-cimento, utilizando dois tipos de prensa e prensando em dois teores de umidade diferentes. Os autores concluíram que, para os tijolos confeccionados unicamente com terra, é necessário um período de quatoze dias de secagem antes da utilização.

3 . MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Mecânica dos Solos e Ensaio de Materiais do Departamento de Construções Rurais e em área coberta do Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola, FEAGRI, da Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, SP.

3 . 1 . Materiais

3 . 1 . 1 . Solo

Foram utilizados dois tipos de solo de classes texturais distintas, a saber: um arenoso e outro argiloso. Procurou-se trabalhar com um tipo de solo que atendesse às condições granulométricas ideais, tais como aquelas preconizadas pela ABCP (1985), para solo-cimento, e outro, do próprio local, que não satisfizer-se aquelas condições. Em ambos os casos, as amostras dos solos foram coletadas a uma profundidade média de 1,50 m.

3.1.1.1. Solo Arenoso

O solo arenoso foi coletado em uma área pertencente ao Assentamento de Sumaré II, município de Sumaré, a 25 km de Campinas, cujas características estão descritas nos Quadros 1 e 2. O valor médio anual de precipitação, característico da região, é de 1297 mm, e a temperatura média anual, de 20,9 °C (IAC, Nova Odessa-SP). O tipo climático é definido como Cwa (mesotérmico de inverno seco), de acordo com a classificação de Köppen, e a altitude média é de 690 m.

Segundo a classificação da AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), o solo é do tipo $A_{2-4(0)}$ e, segundo o Bureau of Public Roads, sua classe textural é arenosa.

3.1.1.2. Solo argiloso

O solo argiloso foi coletado próximo à FEAGRI, UNICAMP, município de Campinas-SP, a sudeste do estado de São Paulo, cujos valores médios anuais de precipitação e temperatura, característicos da região, são, respectivamente, 1364 mm e 20,6 °C; o tipo climático é definido como Cwa (mesotérmico de inverno seco), de acordo com a classificação de Köppen, apresentando relevo suavemente ondulado, numa altitude média de 690 m.

Segundo a classificação da AASHTO, este solo é do tipo $A_{7-5(8)}$, e, de acordo com o Bureau of Public Roads, pertence à classe textural argilosa, estando suas características também apresentadas nos Quadros 1 e 2.

QUADRO 1 - Características físicas e químicas dos solos estudados

Parâmetros		Solo	
		Arenoso	argiloso
.Composição textural (% em peso)	Areia grossa (0,42-2,00mm)	4,0	5,0
	Areia fina (0,05-0,42mm)	68,0	24,0
	Silte (0,005-0,05mm)	11,0	14,0
	Argila (<0,005mm)	17,0	57,0
.Limites de consistência (%)	L. de liquidez	15,3	40,3
	L. de plasticidade	14,4	32,5
	Índice de plasticidade	0,9	7,8
.Classificação	AASHTO	$A_{2-4(0)}$	$A_{7-5(8)}$
	Bureau of Public Roads	Arenoso	Argiloso
.Características químicas	pH (em CaCl_2)	4,40	6,30
	Matéria Orgânica (%)	1,60	1,50
	Soma de Bases (meq/100 cm^3)	1,60	1,70
	Capacidade de Troca Catiônica (meq/100 cm^3)	3,80	3,30
	Saturação de Bases (%)	42,00	52,00

QUADRO 2 - Massa específica dos grãos dos solos estudados

Parâmetros		Solo	
		arenoso	argiloso
(kN/m ³)	A	26,5	29,4
	B	26,3	29,0
	C	26,4	29,2
	X	26,4	29,3

A,B,C = repetições

X = média

3.1.2. Vinhaça concentrada

A vinhaça concentrada a 19% de sólidos totais, foi doada pela Usina São Martinho, localizada no município de Pradópolis-SP.

A opção pela vinhaça concentrada foi devido aos bons resultados de ensaios físicos e mecânicos conseguidos por AGUIAR (1992). No Quadro 3 encontra-se registrada a composição química da vinhaça utilizada, determinada no Laboratório da COPERSUCAR (Cooperativa dos Produtores de Cana, Açúcar e Alcool do Estado de S. Paulo).

A vinhaça concentrada foi acondicionada em tambores de 200 litros, armazenados ao ar livre, em ambiente protegido, durante todo o período experimental, sendo feitas pequenas retiradas conforme as necessidades dos ensaios.

QUADRO 3 - Composição química da vinhaça concentrada

. Brix	19,00
. pH	4,12
. Resíduo total (%)	20,3
. Matéria seca (%)	18,9
. Teor de umidade (%)	81,10
. Densidade aparente (kg/dm ³)	1,08
. Matéria orgânica (kg/m ³)	130,39
. Cinza gravimétrica (%)	3,50
. Nitrogênio - N (kg/m ³)	3,86
. Fósforo - P ₂ O ₅ (kg/m ³)	0,37
. Potássio - K ₂ O (kg/m ³)	1,81
. Magnésio - MgO (kg/m ³)	3,03
. Cálcio - CaO (kg/m ³)	5,80

3.1.3. Equipamentos

No experimento foram utilizados os seguintes equipamentos:

3.1.3.1. Prensa

Os corpos de prova cilíndricos e os tijolos fabricados com solo-vinhaça concentrada foram rompidos no Laboratório de Materiais e Estruturas, da Faculdade de Engenharia Civil da UNICAMP, em prensa de marca VERSA TESTER, com dispositivo hidráulico, capacidade máxima de 15000 kgf e sensibilidade de 25 kg, sendo possível a utilização de outra escala, a saber, de 3000 kgf e sensibilidade de 5 kg. A prensa dispõe de dispositivo de controle de velocidade de carregamento.

3 . 1 . 3 . 2 . Máquina de fabricação dos tijolos

Os tijolos de solo-vinhaça concentrada foram moldados com o auxílio de máquina de fabricação de tijolos marca SOLOTEST, de acionamento manual, para compactação da mistura fresca, máquina esta normalmente utilizada na confecção de tijolos de solo-cimento (Figura 1). Sua capacidade de fabricação é de três tijolos por prensagem, tijolos tipo II, de acordo com a norma NBR-8491.

3 . 1 . 3 . 3 . Caixa de secagem do solo

Construiu-se uma caixa de madeira para secagem acelerada das amostras dos solos sob tratamento com vinhaça, cuja fonte de calor era provida por duas lâmpadas de 100 W. As dimensões da caixa estão mostradas na Figura 2.

3 . 1 . 3 . 4 . Outros materiais e equipamentos

Para a realização dos ensaios foram utilizados outros materiais e equipamentos, tais como: bandejas, espátulas, enxada, estufas, balança de precisão, peneiras, peneirador automático, molde cilíndrico metálico para o ensaio de Proctor normal, etc.

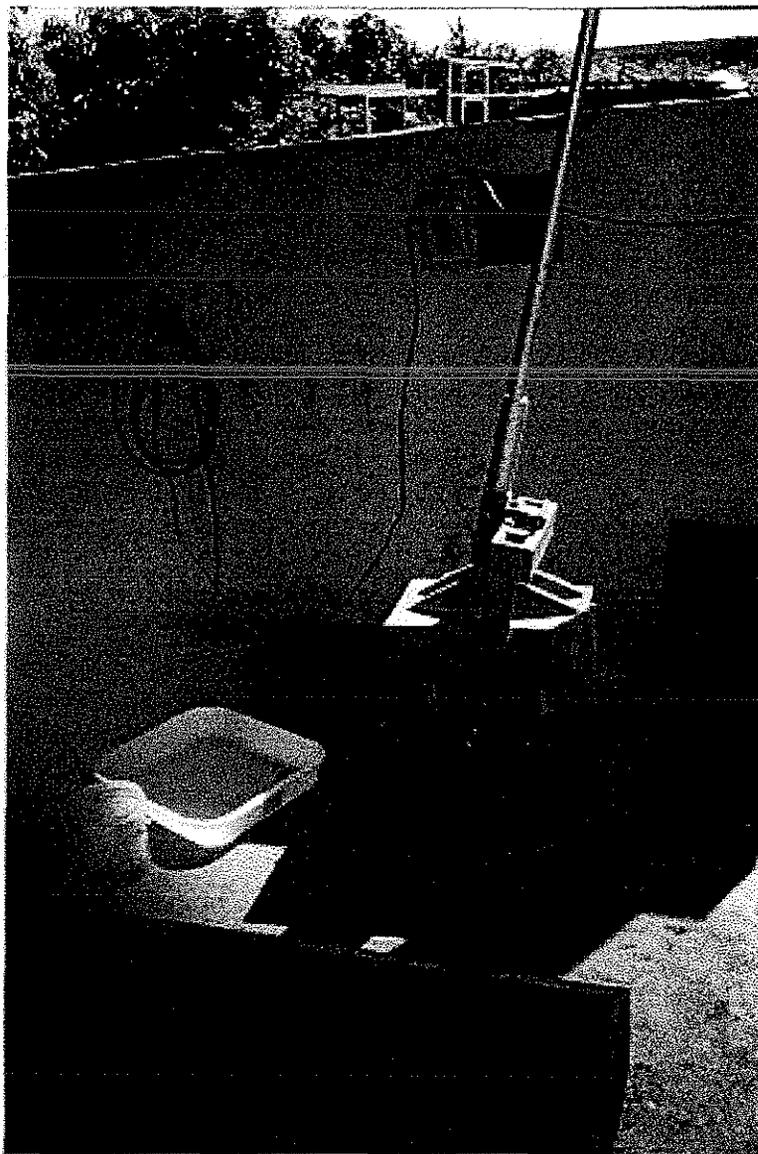


FIGURA 1 - Máquina de fabricação de tijolos de solo-cimento, marca SOLOTEST.

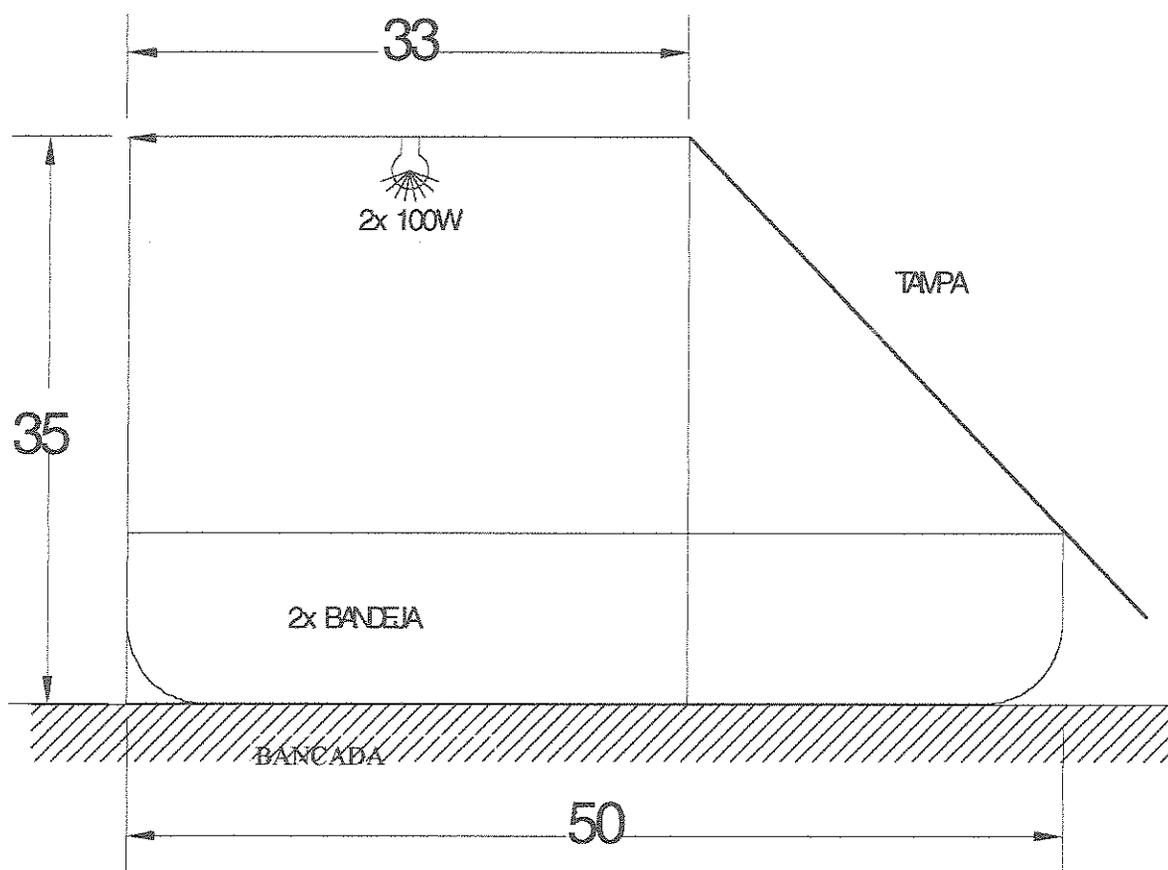


FIGURA 2 - Caixa de secagem de solo

3.2. Métodos

A metodologia adotada no presente parágrafo acompanhou os fluxogramas apresentados nas figuras 3, 4.

3.2.1. Definição e aplicação dos tratamentos

Os tratamentos compreenderam a aplicação de diferentes doses de vinhaça concentrada a 19%, em relação ao peso do solo seco, a saber: 0% (testemunha), 12%, 16% e 20%, aos dois tipos de solos, sendo o experimento conduzido com três repetições. Na escolha dos teores de vinhaça concentrada tomou-se como referência os trabalhos de AGUIAR (1992) e FREIRE e AGUIAR (1993), sendo os tijolos moldados com a dose 12% de vinhaça concentrada, escolhida por ter apresentado os melhores resultados entre as demais, após a realização dos ensaios e análise estatística dos dados obtidos.

Na aplicação dos tratamentos com vinhaça concentrada, em todos os casos, utilizou-se a fração de solo passante na peneira nº 4 (abertura de malha igual a 4,76 mm).

As amostras de solo-vinhaça destinadas aos ensaios foram secas ao sol e peneiradas. Com o auxílio de enxada, colher de pedreiro e espátulas, as misturas foram homogeneizadas e, em seguida, acondicionadas em bandejas por 24 h, ao ar livre e à sombra. Após este

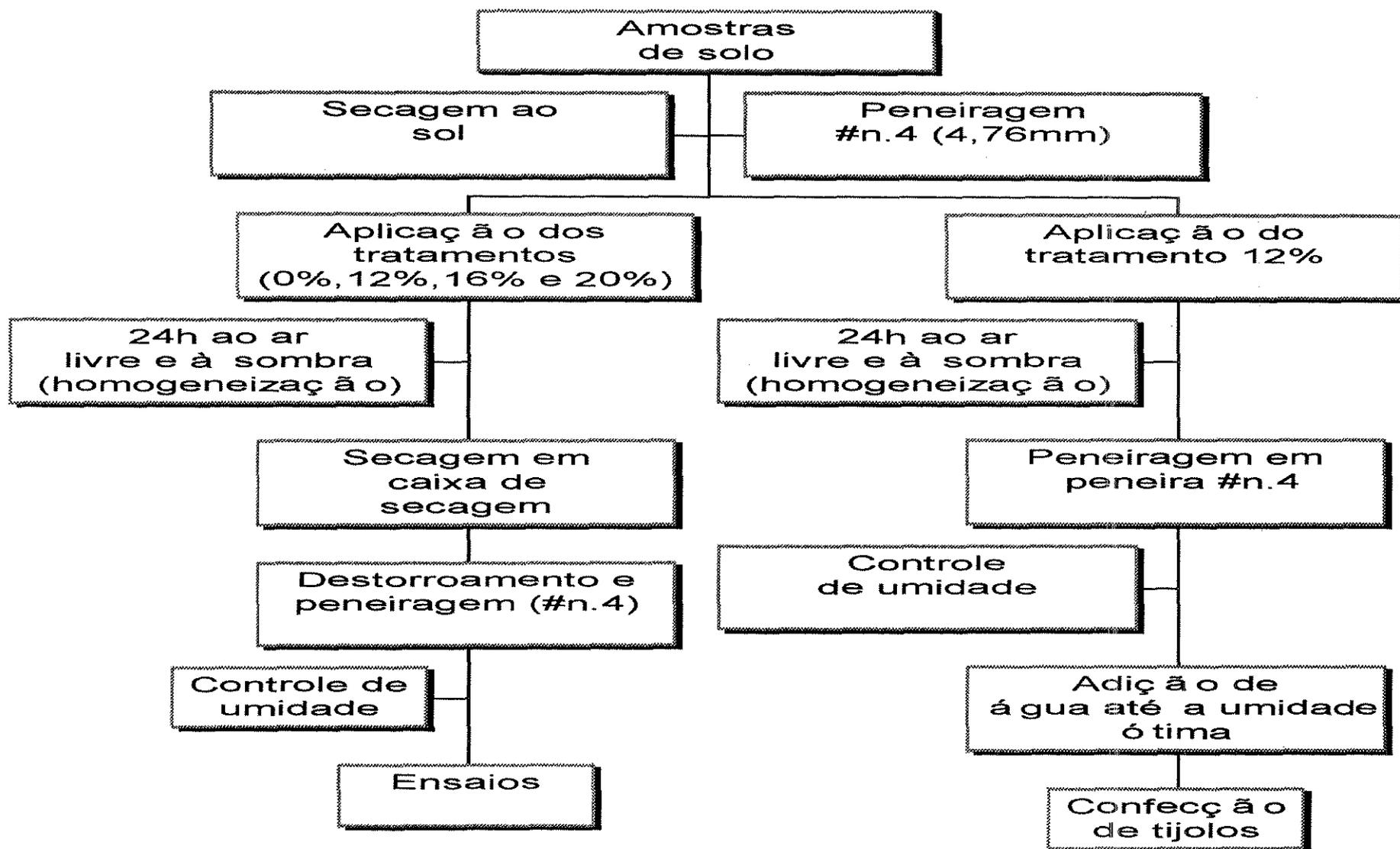


FIGURA 3 - Fluxograma da aplicação dos tratamentos e preparo das amostras

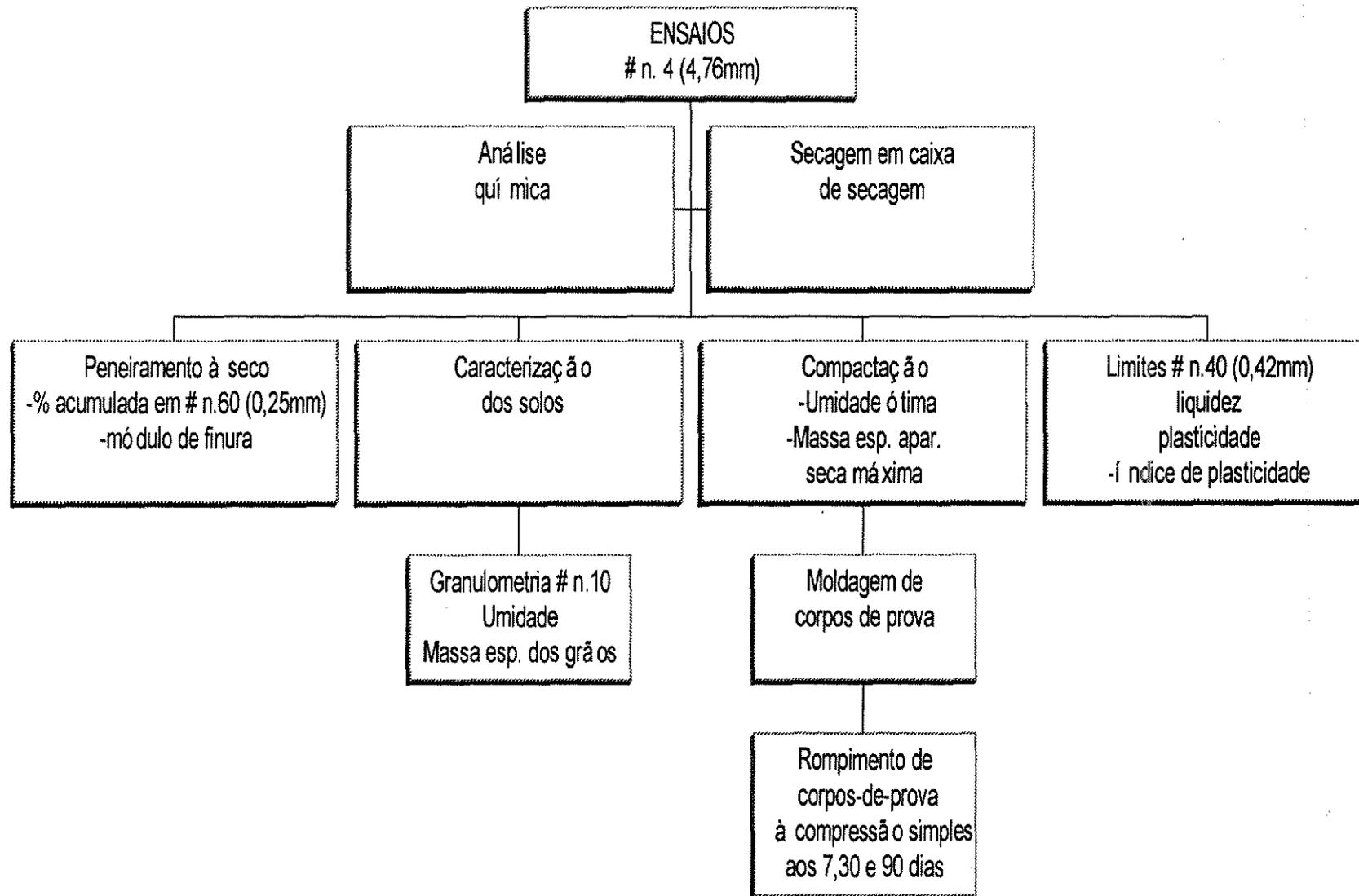


FIGURA 4 - Fluxograma dos ensaios realizados para caracterização do material solo-vinhaça

período, as amostras foram postas a secar na caixa de secagem, descrita no item 3.1.3.3. Após a secagem, foram destorroadas com auxílio de um almofariz e, em seguida, novamente peneiradas na peneira nº 4 (4,76 mm), antes de serem ensaiadas, controlando-se o seu teor de umidade.

Na confecção dos tijolos de solo-vinhaça concentrada, as amostras de solo foram secas ao sol e peneiradas, para então receberem a vinhaça concentrada (12%, em relação ao peso do solo seco). As misturas foram homogeneizadas e deixadas a secarem ao ar livre e à sombra, como mostra a Figura 5, por um período de 24 h, para novamente serem peneiradas na peneira nº 4 (4,76mm de abertura de malha), conforme se vê ilustrado na Figura 6. A homogeneização era considerada satisfatória quando a mistura apresentasse coloração uniforme, após o que tomava-se uma porção de terra para a determinação da umidade, em seguida acrescentando-se a quantidade de água necessária para elevar o teor de umidade até a umidade ótima, antes de serem prensados.

3.2.2. Análise química

As análises químicas dos solos foram feitas no Laboratório de Solos do Departamento de Ciências do Solo, da ESALQ/USP, Piracicaba-SP, utilizando-se metodologia para caracterização pedológica.

3.2.3. Ensaios de caracterização dos solos

A preparação das amostras dos solos, para os ensaios de caracterização e compactação, foi feita de acordo com a norma NBR-6457. A preparação das amostras de solo-vinhaça concentrada para o ensaio de compactação foi feita à semelhança daquela de uso corrente em análise de solo-cimento.

O teor de umidade do solo e do solo-vinhaça concentrada foi determinado pelo método da estufa a 105 °C, durante 24 h.

A massa específica dos grãos de solo foi determinada de acordo com a norma NBR-6508.

A análise granulométrica para caracterização dos solos foi feita pela combinação dos ensaios de sedimentação e de peneiramento, sendo, em ambos os casos, utilizada a fração do material passando na peneira nº 10 (2,0 mm de abertura de malha). A partir do ensaio de sedimentação e de peneiramento, determinou-se o diâmetro das partículas e a distribuição granulométrica, empregando-se o nomograma de Casagrande. Todos os procedimentos foram feitos de acordo com a norma NBR-7181.

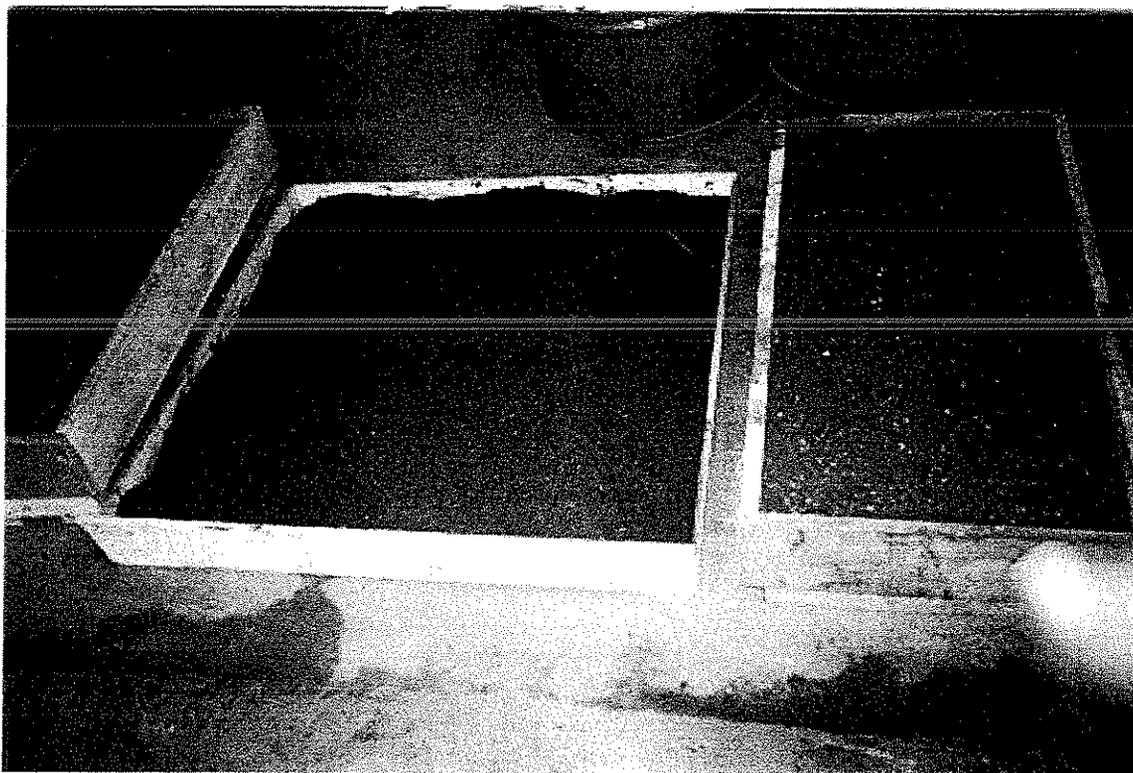


FIGURA 5 - Amostras de solos arenoso e argiloso tratadas com 12% de vinhaça concentrada.



FIGURA 6 - Preparação das misturas de solo-vinhaça concentrada

3 . 2 . 4 . Controle da umidade e secagem das amostras

A variação da umidade ao longo do tempo foi determinada utilizando-se amostras de 2 kg de solo tratado com 16% de vinhaça concentrada, em relação ao peso do solo seco. As amostras dos dois tipos de solo foram acondicionadas em bandejas deixadas a repousar em dois ambientes distintos, a saber: na caixa de secagem e ao ar livre e à sombra. Foram determinados os teores de umidade, para cada ambiente, assim como as temperaturas na superfície do solo, nos diversos dias do experimento, até constância de umidade.

A alternativa de secagem das amostras de solo-vinhaça concentrada na caixa de secagem, foi baseada na Norma NBR-7182 que admite que a secagem seja procedida pela submissão da amostra a fontes de calor, com lâmpadas especiais ou estufas, desde que a temperatura não ultrapasse os 60 °C, limite este observado no experimento realizado.

3 . 2 . 5 . Determinação dos limites de consistência

Os limites de liquidez (LL) do solo e do solo-vinhaça concentrada foram determinados de acordo com a norma NBR-0659, enquanto que o limite de plasticidade (LP) foi, por sua vez, determinado de acordo com a norma NBR-7180. O índice de plasticidade (IP) foi calculado pela diferença numérica entre os valores dos limites de liquidez e de plasticidade, ou seja:

$$\text{IP} = \text{LL} - \text{LP}$$

3 . 2 . 6 . Peneiramento a seco

A técnica de peneiramento a seco, descrita por CHEPIL (1962), consiste no peneiramento de cada amostra, pelo menos por mais de uma vez, para se obter empiricamente a resistência relativa do solo à demolição mecânica. O peneiramento a seco, assim como descrito por FREIRE (1976), consistiu no peneiramento automático de amostras de 200 g de solo e de solo-vinhaça concentrada, por períodos de 10 min, pela utilização de um jogo de peneiras dispostas em ordem decrescente de abertura de suas malhas: peneiras nº 16 (1,19mm), nº 30 (0,59 mm), nº 40 (0,42 mm), nº 60 (0,25 mm), nº 100 (0,149 mm), nº 200 (0,074 mm) e nº 270 (0,053mm). Os pesos das porções retidas de solo e de solo-vinhaça nas respectivas peneiras foram anotados, separando-se uma certa quantidade dos mesmos para determinação do teor de umidade.

Após a primeira operação (1ª peneiragem), a amostra foi recomposta e submetida ao mesmo processo uma segunda vez (2ª peneiragem), e assim ainda uma terceira vez (3ª peneiragem).

Os resultados do peneiramento a seco foram expressos em porcentagem acumulada de agregados em relação ao peso do solo seco. Para comparar o efeito dos tratamentos, utilizou-se a porcentagem acumulada de agregados em peneira nº 60 (0,25 mm), pois, de acordo com Tiulim, citado por BAVER *et al.* (1966), esta é a fração do solo responsável pela estabilidade estrutural dos agregados, quando secos.

A partir dos dados do peneiramento a seco foi, também, determinado o módulo de finura dos agregados do solo, dividindo-se por 100 o somatório das porcentagens retidas acumuladas nas peneiras consideradas. O módulo de finura é considerado índice de estabilidade estrutural dos agregados do solo, tal como proposto por FREIRE e PIEDADE JR. (1979).

3 . 2 . 7 . Ensaio de Compactação

O ensaio de compactação normal de Proctor foi aplicado ao solo de acordo com a norma NBR-7182. Para o ensaio de compactação do solo-vinhaça-concentrada, procedeu-se de forma análoga à do solo-cimento, orientando-se pela norma NBR-12023, no que coubesse.

3 . 2 . 8 . Moldagem de corpos-de-prova

A moldagem dos corpos-de-prova cilíndricos de solo e de solo-vinhaça concentrada foi feita à semelhança da moldagem de corpos-de-prova de solo-cimento, de acordo com a norma NBR-12024, exceção feita à cura, pois AGUIAR (1992) não recomenda cura em câmara úmida ou por imersão em água, devido aos maus resultados obtidos, levando-a a usar apenas a secagem em seus experimentos.

A secagem dos corpos-de-prova de solo e de solo-vinhaça concentrada foi feita em ambiente ao ar livre e à sombra, durante 7, 30 e 90 dias.

3 . 2 . 9 . Ensaio de compressão simples de corpos-de-prova de solo e de solo-vinhaça

O ensaio de corpos-de-prova cilíndricos de solo e de solo-vinhaça concentrada à compressão simples foi realizado de forma semelhante ao ensaio de corpos-de-prova cilíndricos de solo-cimento, de acordo com norma NBR-12025, no que coubesse. Os corpos-de-prova cilíndricos de solo e de solo-vinhaça não foram submetidos à imersão em água, antes do rompimento, baseados nas recomendações de AGUIAR (1992).

Os corpos-de-prova de solo arenoso sob tratamento com vinhaça concentrada foram capeados com enxofre apenas na face superior de trabalho, não havendo necessidade de capeá-los na face inferior, tal como se pode observar na Figura 7. Com relação aos corpos-de-prova de solo argiloso sob tratamento com vinhaça, foram constatadas perdas de material quando os mesmos foram capeados com enxofre, durante a desmoldagem; substituiu-se, então, o capeamento por um suporte de papelão na face de trabalho, procedimento este adotado para os corpos-de-prova de solo sem tratamento com vinhaça (testemunha).

3 . 2 . 10 . Confeção dos tijolos de solo-vinhaça

Após preparado o solo, foi aplicado ao mesmo o tratamento descrito no item 3.2.1, empregando-se a dose de 12% de vinhaça concentrada, em relação ao peso de solo seco (Figura 8), sendo a mistura considerada satisfatória quando apresentasse coloração uniforme; a mistura de solo e vinhaça concentrada foi deixada em repouso em masseiras, por um período de 24 h.

3 . 2 . 10 . 1 . Controle da umidade de moldagem dos tijolos

A umidade adequada de moldagem dos tijolos de solo-vinhaça concentrada foi determinada no campo através do aparelho Speed Moisture Tester. Uma determinada quantidade de solo foi inserida no interior do recipiente metálico que continha certa quantidade de carbureto. A água absorvida pela reação do solo com o carbureto resulta numa pressão que atua em uma membrana deformável, sendo esta pressão correlacionada com a umidade do solo (BUENO e VILAR, 1984). O controle de umidade foi feito de acordo com as recomendações do CEPED (1984), à semelhança do processo utilizado para o solo-cimento.

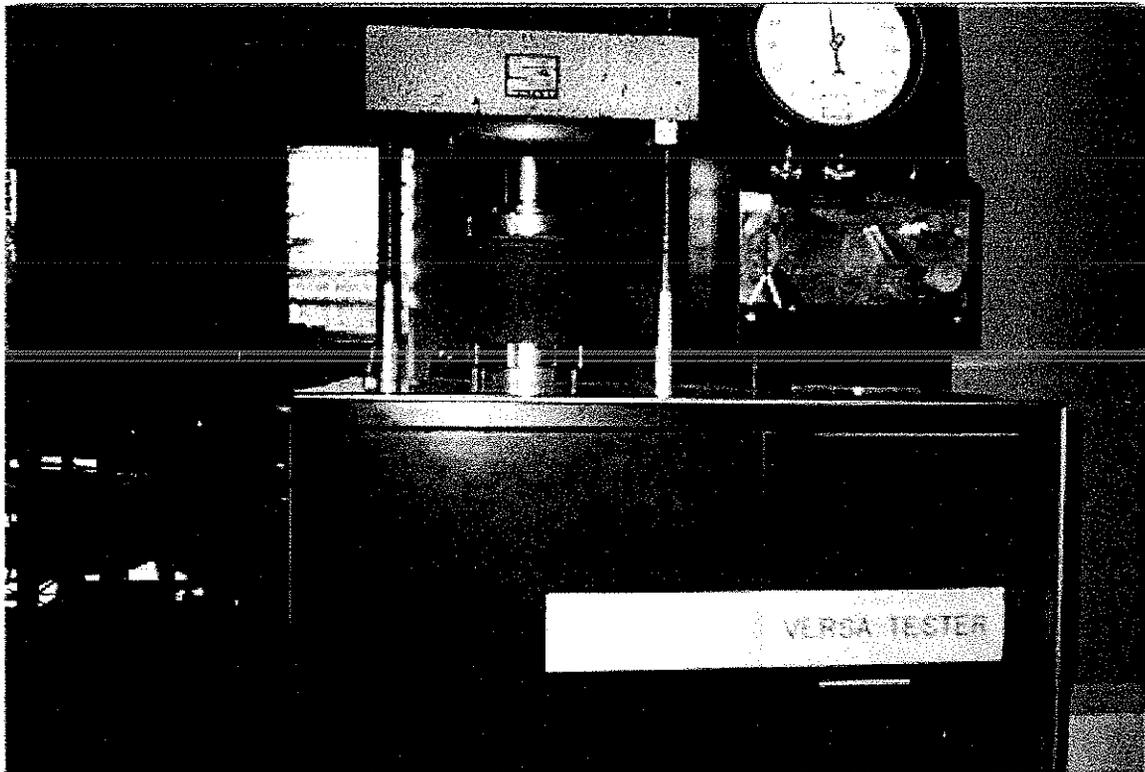


FIGURA 7 - Corpo-de-prova com capeamento de enxofre



FIGURA 8 - Masseiras contendo solo sob tratamento com vinhaça

3.2.10.2. Regulagem da prensa

Antes de ser iniciada a prensagem, foi efetuada a regulagem da prensa a fim de que os tijolos fossem submetidos à pressão de compactação semelhante à do Proctor normal. A regulagem foi realizada correlacionando-se a massa do tijolo e a massa do corpo-de-prova, e admitindo-se que ambos tivessem a mesma massa específica aparente seca máxima e a mesma umidade ótima. Após a realização de uma série de ensaios, com moldagem de corpos-de-prova (Proctor normal) e prensagem de tres tijolos, feitas com a mesma amostra de solo, foram comparadas as massas dos corpos-de-prova e as dos tijolos, individualmente, até se obterem valores que satisfizessem a relação: $M_T = 1,196 M_C$, relação entre os volumes dos tijolos e dos corpos-de-prova, quando então se considerava a prensa regulada,

sendo:

M_T - Massa do tijolo, em (g)

M_C - Massa do corpo de prova cilíndrico, em (g)

Com o auxílio do parafuso de regulagem da prensa e de uma contra-porca, que garantia a fixação, a regulagem foi mantida durante todo o experimento.

O controle de compactação foi baseado no coeficiente de compactação, chamado também de grau de compactação (**GC**), usado no controle de aterro de estrada, que é a relação entre a massa específica do aterro compactado e a massa específica aparente seca máxima obtida no ensaio de compactação normal de Proctor. Na prática, estabelece-se

GC=95% do ensaio de Proctor normal e tolerância de 2% para a umidade ótima (BUENO e VILAR, 1984).

3 . 2 . 10 . 3 . Prensagem dos tijolos

Após peneirados os solos-mistura e feito o controle de umidade, foram eles colocados, com auxílio de pás e colher de pedreiro, nos moldes da máquina (Figura 9), rasados para retirada do excesso, e realizadas as prensagens. Os tijolos foram cuidadosamente extraídos da máquina, colocados em uma forma plana de madeira (Figura 10), e deixados a secar ao ar livre e à sombra, por 24 h, sendo em seguida empilhados e postos a secar durante um total de trinta dias, até serem ensaiados à compressão (Figura 11).

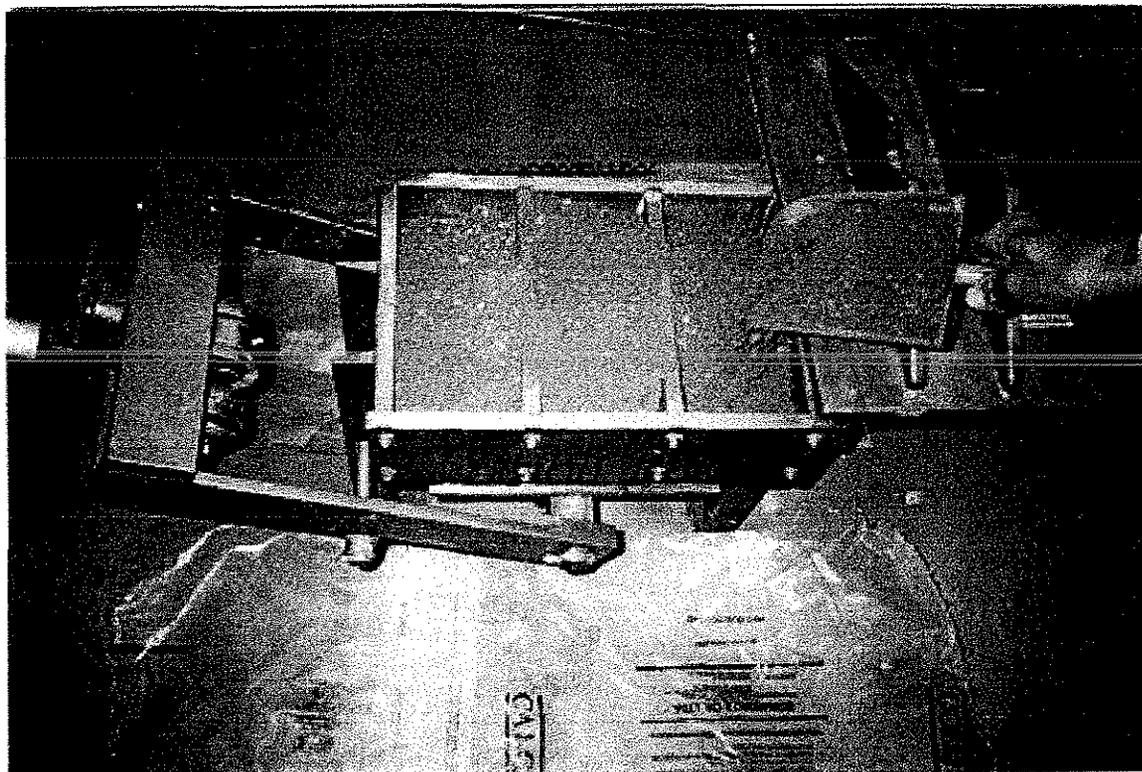


FIGURA 9 - Colocação do solo-vinhaça concentrada nos moldes da prensa

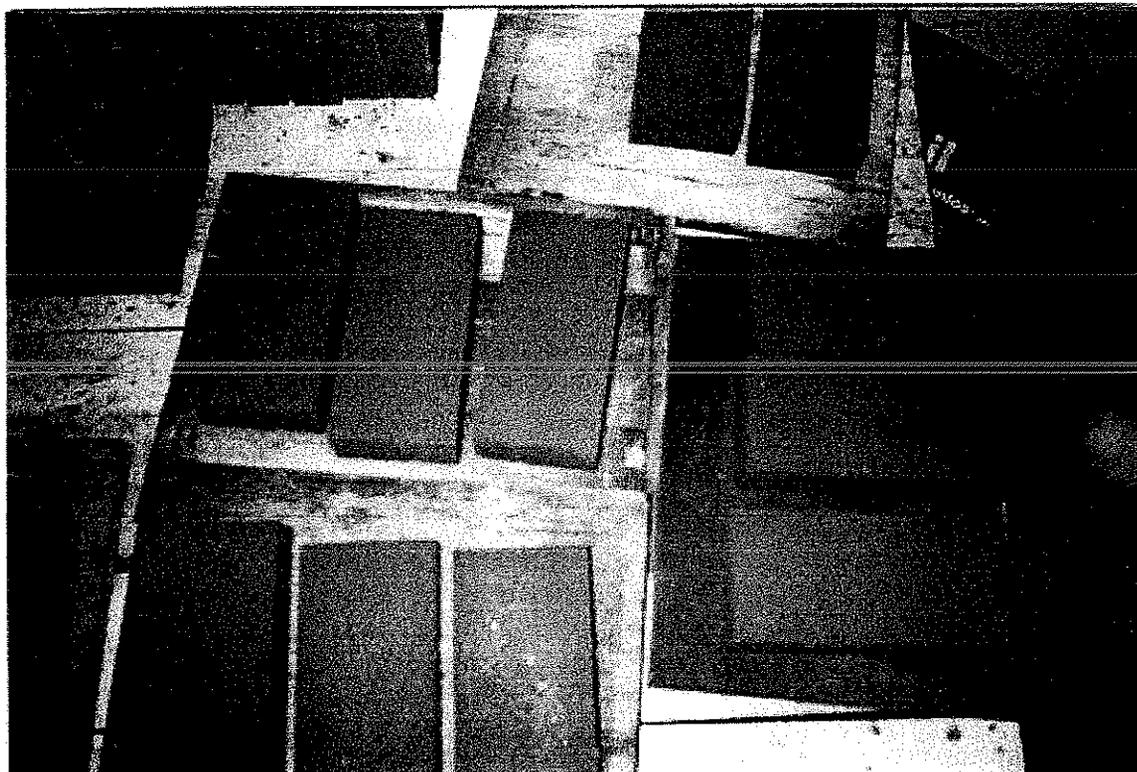


FIGURA 10 - Tijolos de solo-vinhaça desmoldados colocados em recipientes apropriados para secagem durante 24 h.

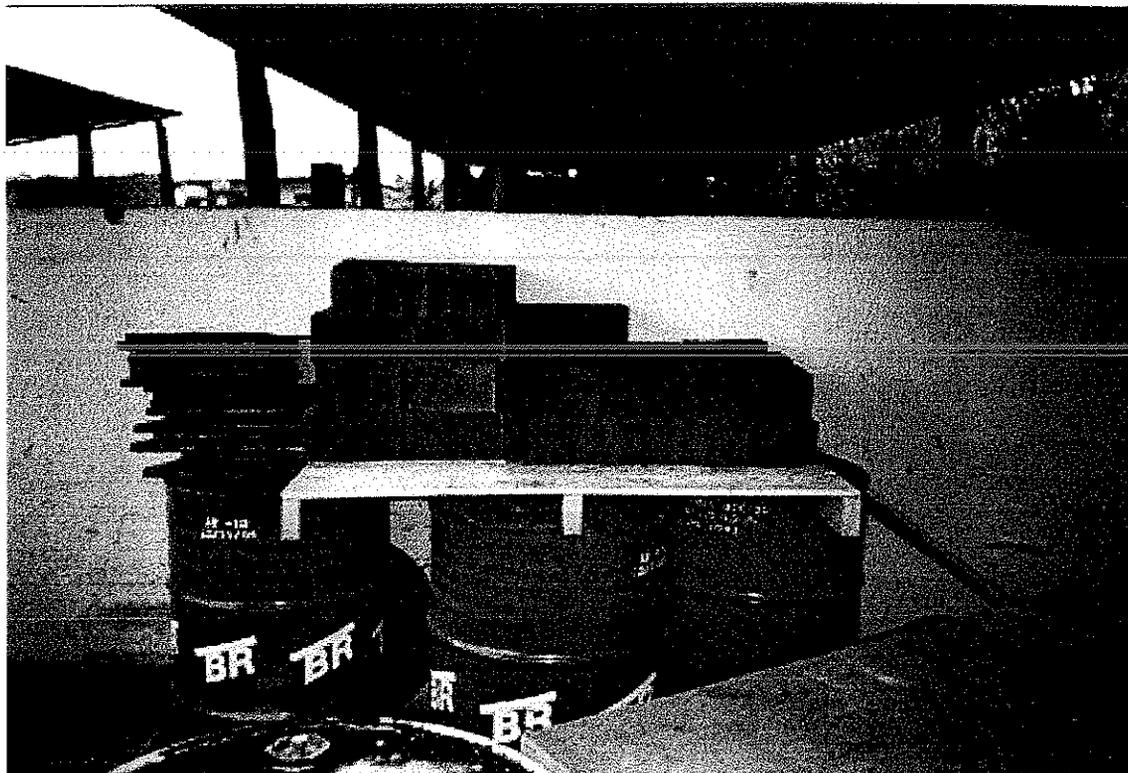


FIGURA 11 - Estocagem de tijolos em local adequado para secagem durante 30 dias.

3.2.11. Ensaio de compressão simples dos tijolos de solo-vinhaça

Foram aleatoriamente escolhidos, identificados e medidos, dezesseis tijolos de solo arenoso e dezesseis de solo argiloso, tratados com vinhaça concentrada, representativos do lote.

Os tijolos foram preparados de forma semelhante aos de solo-cimento, de acordo com a norma NBR-08492, sendo serrados ao meio e superpostos, tendo suas faces ligadas com uma camada fina de cola branca, de 1 a 2 mm de espessura, colocada com auxílio de uma espátula (Figura 12).

A opção pela cola branca deu-se a partir dos resultados preliminares insatisfatórios obtidos com a pasta de cimento Portland CP-II E-320 e cimento CP-V (ARI); nem mesmo a adição de 3% de cloreto de cálcio aos mesmos foi eficiente, devido à ação dos açúcares residuais presentes na vinhaça concentrada, que inibe a hidratação do cimento, indicando incompatibilidade química entre os mesmos (BERALDO, 1994). A partir de ensaios preliminares realizados, optou-se pelo uso da pasta de enxofre para o capeamento das faces inferior e superior, além das reentrâncias; na impossibilidade de capeamento com enxofre, utilizou-se uma camada fina de papelão (Figura 13).



FIGURA 12 - Preparação dos tijolos de solo-vinhaça concentrada para o ensaio de compressão, com cola-branca.

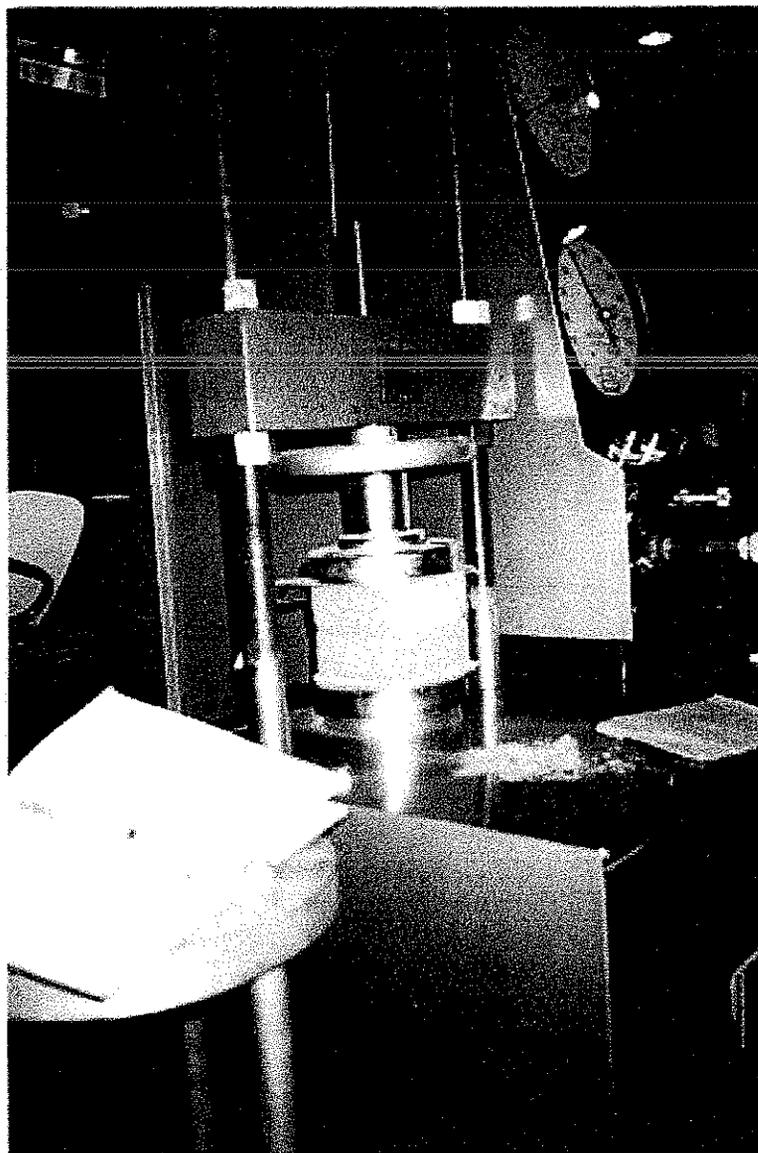


FIGURA 13 - Corpo-de-prova de tijolo de solo-vinhaça concentrada pronto para ser rompido à compressão

3 . 2 . 12 . Ensaio de absorção de água

A partir das conclusões feitas por AGUIAR (1992), com respeito à absorção de água por corpos de prova de solo-vinhaça concentrada, foram escolhidos cinco produtos impermeabilizantes comerciais, a saber: Neutrol, base asfáltica; Silicone, base silicone; Acquilla, base silicone; Vedacil, base acrílica; Pisoplak, base acrílica; em seguida, foi aleatoriamente escolhido um lote de seis tijolos de cada tratamento e aplicados os diversos produtos impermeabilizantes, seguindo as instruções de cada fabricante.

Realizada a impermeabilização, os tijolos, secos ao ar livre e à sombra durante trinta dias, foram pesados e imersos em água, de acordo com a norma NBR-8492, durante 24 h, sendo em seguida feitas as observações necessárias ao ensaio.

3 . 2 . 13 . Análise estatística dos dados experimentais

Os dados obtidos dos ensaios realizados foram analisados estatisticamente, observando-se um delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial $2 \times 4 \times 3$ e $2 \times 4 \times 3 \times 3$, mediante a aplicação do teste de Tukey para a comparação das médias, ao nível de 5% de probabilidade, utilizando-se do programa SANEST disponível para tal fim.

4. RESULTADOS

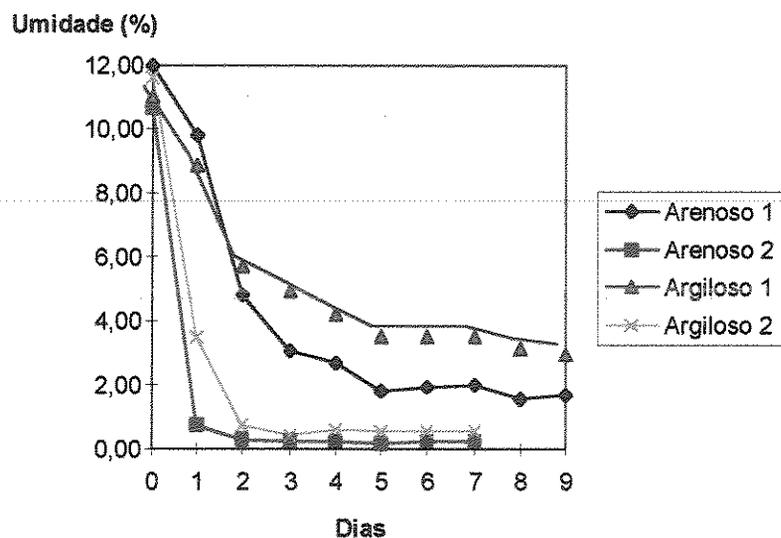
Os resultados do experimento estão apresentados a seguir, na mesma ordem em que foram enumerados no capítulo anterior.

Os resultados obtidos a partir da determinação da variação de umidade ao longo do tempo, para os solos tratados com 16% de vinhaça concentrada, são mostrados na Figura 14, enquanto que os limites de liquidez e de plasticidade, assim como o índice de plasticidade, estão mostrados no Quadro 4 e nas Figuras 15 a 17.

Os resultados da porcentagem acumulada de agregados na peneira nº 60 e do módulo de finura dos agregados do solo e do solo-vinhaça concentrada, obtidos do peneiramento a seco, estão mostrados nos Quadros 5 e 6, como também nas Figuras 18 e 19.

Os resultados da determinação da massa específica aparente seca máxima e da umidade ótima dos solos e dos solos tratados com vinhaça concentrada, obtidos do ensaio de compactação normal de Proctor, estão mostrados no Quadro 7 e nas Figuras 20 e 21.

Os valores da resistência à compressão simples dos corpos de prova cilíndricos aos 7^o, 30^o e 90^o dias, dos solos e dos solos tratados com vinhaça concentrada, são mostrados no Quadro 8 e nas Figuras 22 a 24, e a evolução da resistência à compressão simples na Figura 25. Os resultados do ensaio de compressão simples dos tijolos de solo tratado com 12% de vinhaça concentrada, estão mostrados no Quadro 9.



Ambiente 1 = ao ar-livre e à sombra, temperatura média de 26 °C (arenoso 1 e argiloso 1)

Ambiente 2 = em caixa de secagem, temperatura média de 41 °C (arenoso 2 e argiloso 2)

FIGURA 14 - Variação da umidade em função do tempo, em caixa de secagem e ao ar livre, dos solos tratados com 16% de vinhaça concentrada

QUADRO 4 - Limites de consistência dos solos estudados sob tratamento com vinhaça concentrada

Parâmetros		Doses de vinhaça concentrada aplicadas ao solo arenoso				Doses de vinhaça concentrada aplicadas ao solo argiloso			
		0%	12%	16%	20%	0%	12%	16%	20%
L.L. (%)	A	16,16	14,80	17,32	15,91	40,79	34,50	33,91	37,88
	B	14,95	14,87	17,31	15,98	40,31	36,61	34,42	39,07
	C	14,73	14,55	16,81	15,43	39,74	37,38	34,66	36,54
	X	15,28	14,74	17,15	15,77	40,28	36,16	34,33	37,83
L.P. (%)	A	14,00	9,63	11,07	13,64	31,57	30,60	29,18	17,82
	B	14,73	9,80	10,90	12,62	32,70	29,52	29,42	18,12
	C	14,00	8,60	13,67	14,18	32,90	30,12	29,48	18,78
	X	14,24	9,34	11,88	13,48	32,39	30,08	29,36	18,24
I.P. (%)	A	2,18	5,17	6,25	2,27	9,22	3,90	4,73	20,06
	B	0,22	5,07	6,41	3,36	7,61	7,09	5,00	20,95
	C	0,73	5,95	3,14	1,25	6,84	7,26	5,18	17,76
	X	1,04	5,40	5,27	2,29	7,89	6,08	4,97	19,59

A,B,C = repetições,

X = média

L.L. = Limite de liquidez

L.P. = Limite de plasticidade

I.P. = Índice de plasticidade

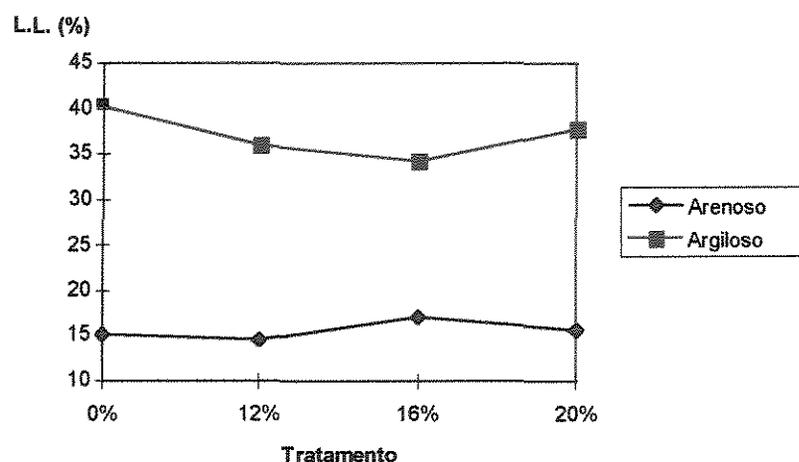


FIGURA 15 - Limite de liquidez dos solos estudados sob tratamento com vinhaça concentrada

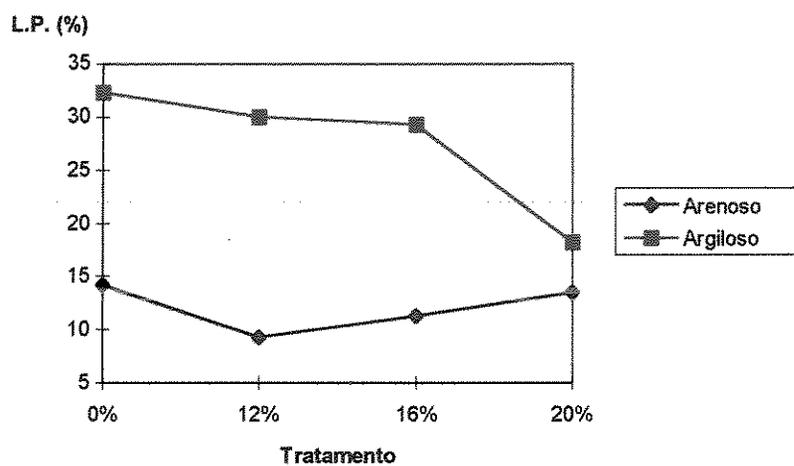


FIGURA 16 - Limite de plasticidade dos solos estudados sob tratamento com vinhaça concentrada

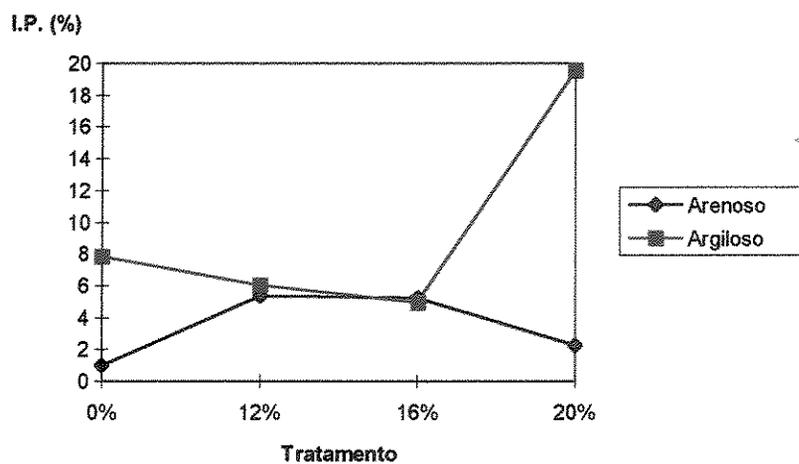


FIGURA 17- Índice de plasticidade dos solo estudados sob tratamento com vinhaça concentrada

QUADRO 5 - Porcentagem acumulada de agregados em peneira nº 60 (0,25mm) para os solos estudados sob tratamento com vinhaça concentrada

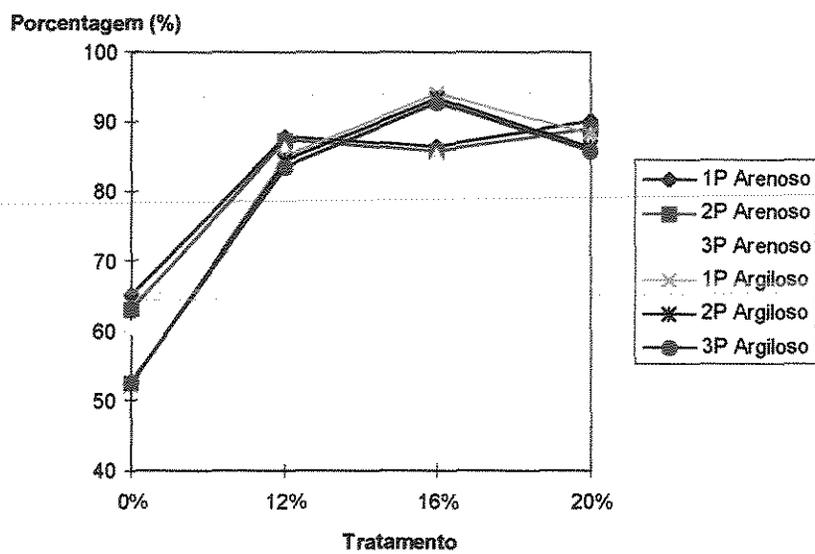
Parâmetros		Doses de vinhaça concentrada aplicadas ao solo arenoso				Doses de vinhaça concentrada aplicadas ao solo argiloso			
		0%	12%	16%	20%	0%	12%	16%	20%
1ª Peneiragem	A	65,07	78,67	93,83	94,03	50,25	90,28	93,17	89,06
	B	63,38	87,73	96,50	84,94	51,40	91,79	94,03	88,06
	C	67,41	97,09	69,15	91,77	55,29	72,27	94,76	87,73
	X	65,29	87,83	86,49	90,25	52,31	85,11	93,99	88,28
2ª Peneiragem	A	66,15	79,17	92,34	92,51	50,97	89,55	92,59	88,37
	B	59,99	87,14	95,14	84,18	51,84	90,72	93,27	87,29
	C	64,35	95,74	69,83	90,30	54,96	73,12	93,94	83,09
	X	63,16	87,35	85,77	89,00	52,59	84,46	93,27	86,25
3ª Peneiragem	A	61,95	78,67	91,42	92,32	50,66	88,58	92,14	88,31
	B	58,44	85,99	94,23	83,75	52,45	89,44	92,59	86,73
	C	61,73	94,39	70,45	88,94	55,67	72,30	93,07	82,59
	X	60,71	86,35	85,37	88,34	52,93	83,44	92,60	85,88

A,B,C = repetições
X = média

QUADRO 6 - Módulo de finura dos agregados dos solos estudados sob tratamento com vinhaça concentrada

Parâmetros		Doses de vinhaça concentrada aplicadas ao solo arenoso				Doses de vinhaça concentrada aplicadas ao solo argiloso			
		0%	12%	16%	20%	0%	12%	16%	20%
1ª Peneiragem	A	4,24	5,11	6,03	6,28	3,69	5,89	6,14	5,71
	B	4,19	5,82	6,46	5,76	3,82	5,88	6,19	5,56
	C	4,37	6,36	4,83	6,37	3,97	4,83	6,32	5,35
	X	4,27	5,76	5,77	6,14	3,83	5,53	6,22	5,54
2ª Peneiragem	A	4,16	5,14	5,94	6,01	3,74	5,83	6,10	5,65
	B	4,01	5,78	6,36	5,77	3,84	5,77	6,16	5,52
	C	4,17	6,26	4,88	6,28	4,01	4,85	6,27	5,31
	X	4,11	5,73	5,73	6,02	3,86	5,48	6,18	5,49
3ª Peneiragem	A	4,05	5,10	5,88	6,00	3,75	5,78	6,06	5,65
	B	3,91	5,73	6,30	5,74	3,90	5,71	6,09	5,49
	C	4,03	6,16	4,88	6,20	4,01	4,83	6,21	5,28
	X	4,00	5,66	5,69	5,98	3,89	5,44	6,12	5,47

A,B,C = repetições
X = média

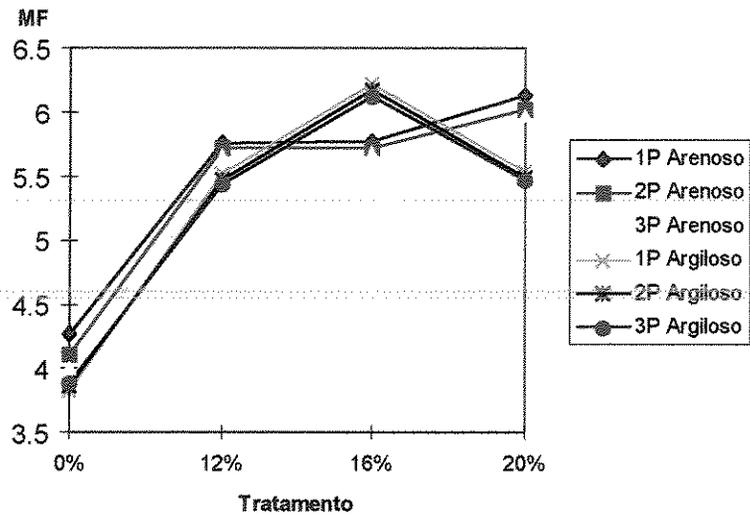


1 P = Primeira peneiragem

2 P = Segunda peneiragem

3 P = Terceira peneiragem

FIGURA 18 - Porcentagem acumulada de agregados em peneira n^o 60 (0,25 mm) para os solos estudados sob tratamento com vinhaça



1 P = Primeira peneiragem

2 P = Segunda peneiragem

3 P = Terceira peneiragem

FIGURA 19 - Módulo de finura dos agregados dos solos estudados sob tratamento com vinhaça

QUADRO 7 - Massa específica aparente seca máxima ($\gamma_{m\acute{a}x}$) e umidade ótima (h_{ot}) do ensaio de compactação de solo-vinhaça concentrada.

Parâmetros		Doses de vinhaça concentrada aplicadas ao solo arenoso				Doses de vinhaça concentrada aplicadas ao solo argiloso			
		0%	12%	16%	20%	0%	12%	16%	20%
$\gamma_{m\acute{a}x}$ (kN/m^3)	A	19,23	19,24	19,62	19,54	15,14	15,62	15,96	15,79
	B	19,14	19,46	19,67	19,54	15,42	15,62	15,39	15,56
	C	19,26	19,67	19,58	19,61	14,84	15,62	15,73	15,68
	X	19,21	19,46	19,62	19,56	15,13	15,62	15,69	15,68
h_{ot} (%)	A	10,69	9,52	8,93	8,66	27,06	26,45	24,14	23,95
	B	11,08	9,31	8,75	9,27	26,64	26,45	25,36	24,65
	C	10,41	9,18	9,26	9,18	27,04	26,45	24,72	24,30
	X	10,73	9,34	8,98	9,04	26,91	26,45	24,74	24,30

A,B,C = repetições

X = média

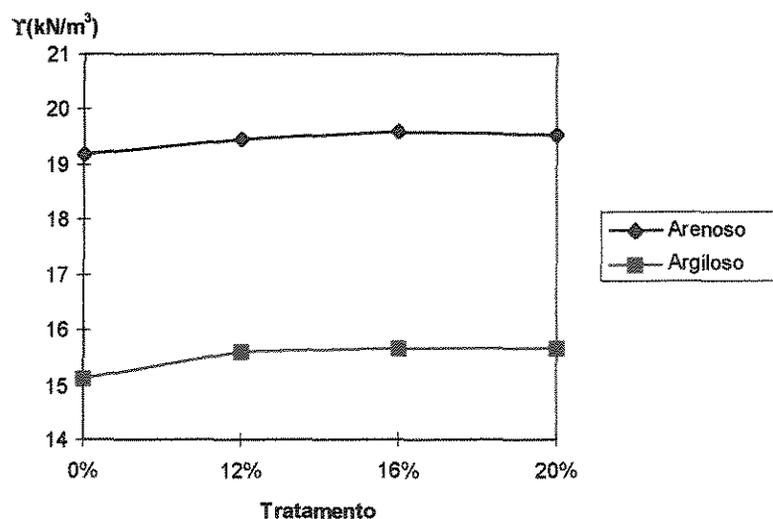


FIGURA 20 - Massa específica aparente seca máxima ($\gamma_{m\acute{a}x}$) do ensaio de compactação

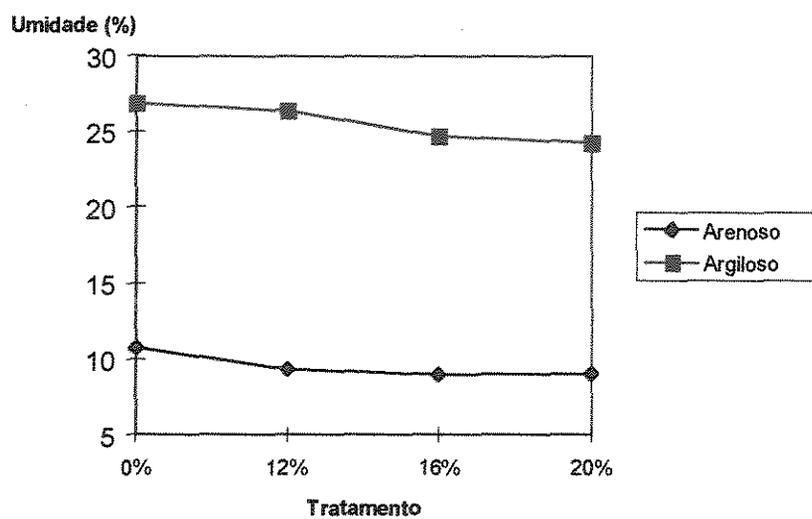


FIGURA 21 - Teor de umidade ótica do ensaio de compactação de solo-vinhaça concentrada

QUADRO 8 - Resistência à compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos para os solos estudados sob tratamento com vinhaça concentrada (em MPa).

Idade de rompimento		Doses de vinhaça concentrada aplicadas ao solo arenoso				Doses de vinhaça concentrada aplicadas ao solo argiloso			
		0%	12%	16%	20%	0%	12%	16%	20%
ao 7 ^o dia	A	1,48	2,16	2,57	2,46	1,61	2,12	2,25	1,77
	B	1,41	2,11	2,41	2,54	1,35	2,57	2,73	1,93
	C	1,41	2,06	2,64	2,50	1,19	2,25	2,09	1,77
	X	1,43	2,11	2,54	2,50	1,38	2,13	2,36	1,82
ao 30 ^o dia	A		2,90	2,99	3,12		1,93	2,25	1,90
	B		3,02	3,22	2,99		1,74	2,38	1,77
	C		2,73	3,15	3,06		2,25	2,25	1,03
	X	1,43	2,88	3,12	3,06	1,38	1,97	2,29	1,57
ao 90 ^o dia	A		2,60	3,12	3,22		2,25	1,99	2,28
	B		2,57	3,15	3,34		1,65	1,93	2,57
	C		2,67	2,80	3,38		2,03	1,70	2,35
	X	1,43	2,61	3,02	3,31	1,38	1,98	1,87	2,40

A,B,C = repetições

X = média

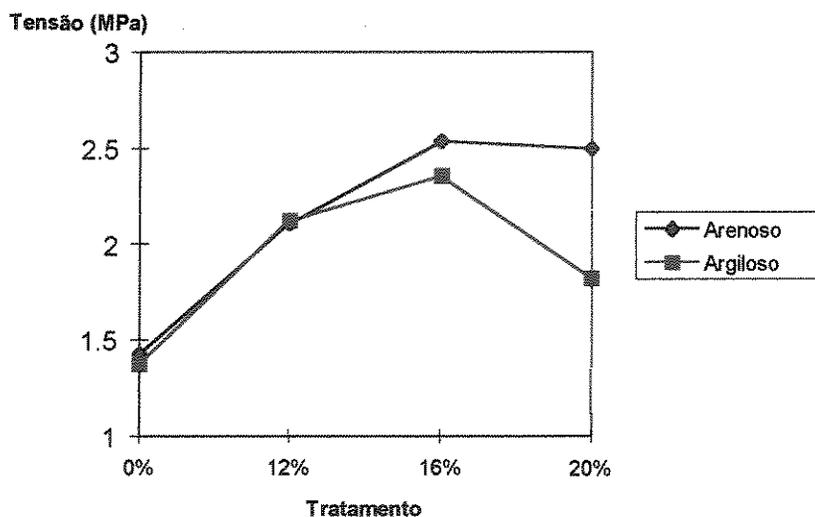


FIGURA 22 - Resistência à compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos de solo-vinhaça, aos 7 dias

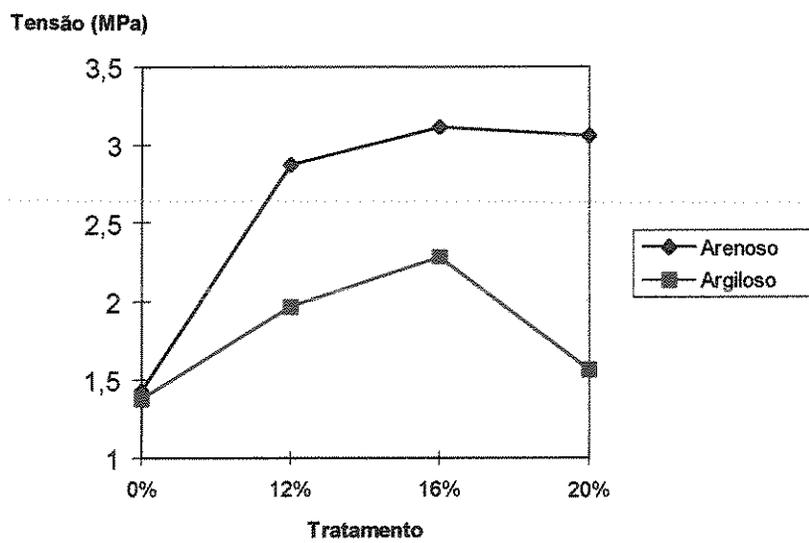


FIGURA 23 - Resistência à compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos de solo-vinhaça, aos 30 dias

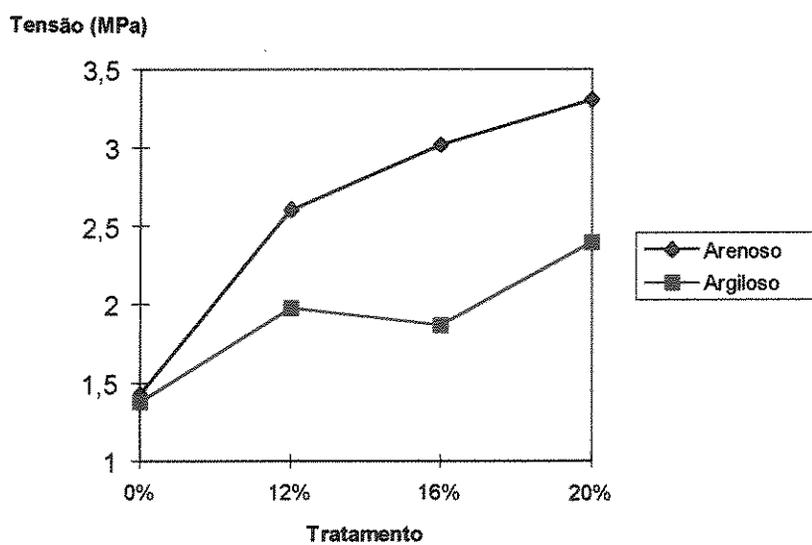
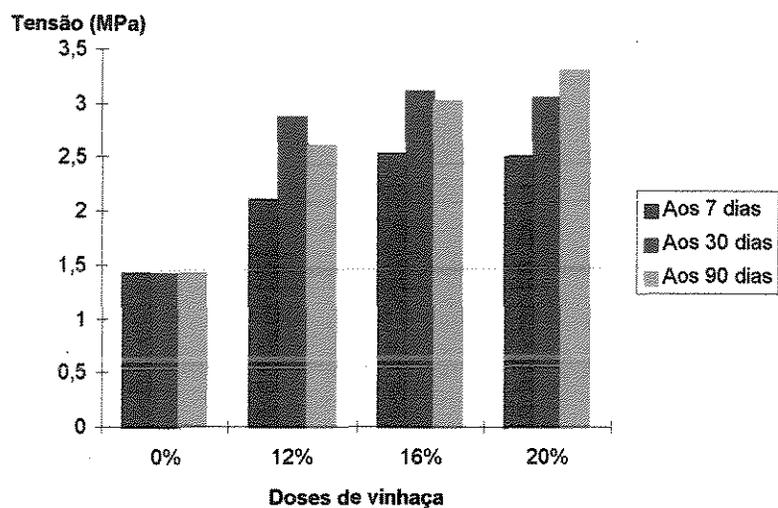
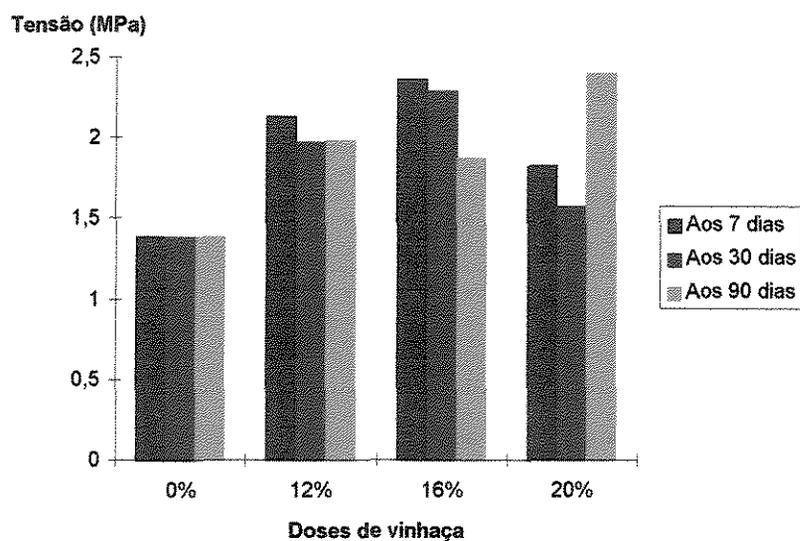


FIGURA 24 - Resistência à compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos de solo-vinhaça, aos 90 dias



(a) solo arenoso



(b) solo-argiloso

FIGURA 25 - Evolução da resistência à compressão simples aos 7, 30 e 90 dias para os solos arenoso (a) e argiloso (b), (em MPa)

QUADRO 9 - Resistência à compressão simples de tijolos confeccionados com solos tratados com 12% de vinhaça concentrada (em MPa).

Amostra	Resistência à compressão	
	Solo arenoso	Solo argiloso
1	2,11	1,45
2	2,02	1,55
3	1,92	1,71
4	1,90	1,96
5	1,76	1,80
6	1,67	1,71
7	1,90	1,86
8	1,65	2,00
9	1,78	1,88
10	1,86	1,96
11	2,13	1,65
12	2,05	2,00
13	2,00	1,96
14	1,65	1,61
15	2,13	1,45
16	2,11	2,09
Média	1,92	1,79
Desvio	0,17	0,21
CV(%)	9,01	11,52

CV(%) = Coeficiente de variação, em porcentagem

ANÁLISE E DISCUSSÃO

Os resultados do ensaio de variação da umidade ao longo do tempo, comparando os dois processos de secagem em caixa de secagem e secagem ao ar livre e à sombra, dos solos sob tratamento com vinhaça, mostraram a predominância do primeiro sobre o segundo, permitindo observar, na Figura 14, que o tempo requerido de secagem, que em condições normais de secagem ao ar livre variava de 8 a 10 dias, foi reduzido consideravelmente, implicando em vantagem favor da secagem em caixa apropriada para tal fim.

Baseado na norma NBR-12023, que permite a secagem das amostras por fontes artificiais, a utilização da caixa de secagem cumpriu o seu objetivo, permitindo a utilização dos solos sob tratamento com vinhaça, a partir do segundo dia de aplicação dos tratamento.

A temperatura média no interior da caixa foi de 41 °C, enquanto que na superfície do solo, no ambiente ao ar livre e à sombra, foi de 26 °C.

Para o ambiente 2, ou seja, secagem em caixa, o comportamento de ambos os solos foi semelhante, notando-se que, no primeiro dia de secagem, a umidade do solo arenoso

reduziu-se a aproximadamente 1%, estabilizando-se em um valor abaixo deste, enquanto que, para o solo argiloso, a umidade situou-se abaixo de 4%, estabilizando-se em um valor próximo de 1%, no segundo dia. A partir do terceiro dia, o comportamento do solo argiloso foi semelhante ao do solo arenoso.

No ambiente 1, ou seja, secagem ao ar livre e à sombra, a temperatura dos solos tratados com a dose de 16% de vinhaça, foi de aproximadamente 26 °C, muito próxima da temperatura ambiental. Os solos tiveram comportamento semelhante unicamente a partir do terceiro dia, estando o solo argiloso sempre com valores de umidade superiores ao solo arenoso.

No primeiro dia de secagem, o solo arenoso teve seu teor de umidade reduzido a valor próximo de 10%, e, no segundo dia, a um valor próximo de 5%, tendendo a estabilizar-se a partir do terceiro dia. No caso do solo argiloso, no primeiro dia de ensaio, o teor de umidade foi reduzido a 9%, com ligeiras perdas nos dias seguintes, estabilizando-se após ao quinto dia, com uma umidade próxima de 3%.

A partir da simples observação na figura 14, verifica-se que o solo arenoso tratado com 16% de vinhaça concentrada perdeu água mais facilmente que o solo argiloso, sendo que, a partir do sétimo ou oitavo dias, ambos os solos podem ser utilizados, pois seus teores de umidade, por quaisquer processos de secagem, estão reduzidos a valores inferiores a 4%.

Considerando-se a média de ambos os solos estudados, pode-se observar, no Quadro 4 e Figuras 15 a 17, que todos os tratamentos com vinhaça concentrada reduziram os valores dos limites de liquidez e de plasticidade em relação à testemunha. Maiores reduções foram conseguidas pelas doses 12% (para o limite de liquidez) e 20% (para o limite de plasticidade).

No caso específico do solo arenoso, o tratamento do solo com 16% e 20% de vinhaça concentrada aumentou os valores do limite de liquidez em relação à testemunha e à dose 12%, que não diferiram entre si. Com relação ao limite de plasticidade, os tratamentos com vinhaça concentrada reduziram os valores dos limites de plasticidade a níveis estatisticamente diferentes da testemunha, maior redução provocada pela dose 12%, seguido das doses 16% e 20%.

No caso do solo argiloso, todos os tratamentos com vinhaça concentrada reduziram os valores dos limites de liquidez e de plasticidade, maiores reduções provocadas pelo tratamento com 16% (limite de liquidez) e 20% (limite de plasticidade).

Para quaisquer doses de vinhaça concentrada consideradas, o solo argiloso apresentou sempre maiores valores de limites de liquidez e de plasticidade.

Com relação ao índice de plasticidade, diferença numérica entre os limites de liquidez e de plasticidade, independentemente do tipo de solo considerado, somente a dose 20% de

vinhaça concentrada levou a aumentos estatisticamente diferentes da testemunha e dos demais tratamentos, iguais entre si, considerados ao nível de 5% de probabilidade.

No caso do solo arenoso, todos os tratamentos com vinhaça concentrada aumentaram os valores do índice de plasticidade em relação à testemunha, sendo o maior valor alcançado pela dose 12% seguido das doses 16% e 20%. No caso do solo argiloso, somente a dose 20% aumentou o índice de plasticidade em relação aos demais tratamentos, iguais entre si.

De um modo geral, o solo argiloso apresentou maiores valores de índice de plasticidade para as doses 0% e 20%, em relação ao solo arenoso, não diferindo deste para as doses 12% e 16%.

Os resultados obtidos para o limite de liquidez, para o solo arenoso corroboram aqueles encontrados por AGUIAR (1992). No caso do limite de plasticidade, os resultados obtidos são discordantes dos de AGUIAR (1992), que também relatou acréscimos para esse parâmetro. Para o solo argiloso, os valores obtidos dos limite de liquidez e de plasticidade confirmaram os resultados obtidos por AGUIAR (1992).

Tanto em termos de porcentagem acumulada de agregados em peneira de 0,25 mm como em termos de módulo de finura, salvo raras exceções, o comportamento de ambos os solos foi o mesmo, tal como está apresentado nos Quadros 5 e 6 e Figuras 18 e 19.

Assim é que todos os tratamentos com vinhaça concentrada aumentaram os valores da percentagem acumulada e do módulo de finura de ambos os solos, em relação à testemunha, sem diferirem entre si, principalmente no caso do solo arenoso; no caso do solo argiloso, embora todos os tratamentos tenham sido superiores à testemunha, o maior valor foi alcançado pela dose 16%.

Em todas as peneiragens e independentemente do tipo de solo, as diferenças não foram significativas entre os tratamentos com vinhaça sendo que, em todos os casos, seus valores foram superiores aos da testemunha.

Tanto o solo arenoso como o argiloso apresentaram maiores valores de percentagem acumulada e de módulo de finura dos agregados quando tratados com 16% de vinhaça concentrada. Para a dose 0% do solo arenoso, a percentagem acumulada de agregados foi maior do que a do solo argiloso, com a dose 20% levando a maiores valores de módulo de finura.

De um modo geral, pode-se observar que o tratamento com vinhaça concentrada teve efeito significativo, ao nível de 5% de probabilidade estatística, sobre os valores da percentagem acumuladas de agregados e módulo de finura de ambos os solos pesquisados.

O peneiramento a seco revelou a existência de agregados estáveis em ambos os solos, formados em consequência da aplicação de vinhaça concentrada; tais agregados, de maior tamanho do que aqueles presentes no solo sem tratamento com vinhaça, mostraram-se resistentes às sucessivas peneiragens, indicando, dessa forma, grande estabilidade frente à demolição mecânica.

Não houve diferença alguma entre as doses de vinhaça concentrada empregadas, quanto ao seu efeito sobre a agregação do solo, tendo a vinhaça produzido, em média, aumentos de 38,65% e 67,53% nos valores da porcentagem acumulada dos solos arenoso e argiloso, respectivamente, e aumentos de 41,16% e 48,19% nos valores do módulo de finura dos mesmos solos, em relação à testemunha, respectivamente.

Não foram constatadas, também, diferenças significativas entre as peneiragens, qualquer que fosse a dose de vinhaça concentrada empregada.

A grande correspondência de valores entre a porcentagem de agregados em peneira de 0,25 mm e o módulo de finura, demonstra ser este parâmetro um eficiente índice de estabilidade estrutural do solo (FREIRE, 1976), permitindo observar e comparar a formação de agregados maiores, responsáveis pela garantia de estabilidade estrutural (BAVER *et al.*, 1966), quanto maior for o seu valor.

A matéria orgânica, fração sólida predominante na composição da vinhaça, é tida como agente de cimentação das partículas do solo, havendo indicações de que ela conduz à formação de agregado estáveis (BAVER *et al.*, 1973), embora seu efeito dependa do tempo de incubação e do grau de humificação.

Embora rica em nutrientes minerais, credita-se aos produtos de decomposição da fração orgânica da vinhaça o favorecimento da agregação dos solos aos quais é incorporada, tal como sugerido por CAMARGO *et al.* (1983) e CAMARGO *et al.* (1988).

Em se tratando da massa específica aparente seca máxima do ensaio de compactação, a análise de variância mostrou altos níveis de significância estatística para as causas de variação Tratamento e Solo, mas não para sua interação (Quadro 7 e Figura 20 e 21).

O teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, indicou que o tratamento do solo com vinhaça concentrada a 19%, independentemente da dose aplicada, aumentou significativamente o valor da massa específica aparente seca máxima. Para o caso do solo arenoso, o melhor tratamento foi aquele correspondente à dose de 16% de vinhaça concentrada, seguido dos tratamentos com 12% e 20%, iguais entre si, e todos superiores à testemunha (0%); no caso do solo argiloso, todos os tratamentos foram iguais entre si e superiores à testemunha.

No que se refere à massa específica aparente seca máxima, os tratamentos com vinhaça concentrada, qualquer que fosse a dosagem, foram mais eficientes para o solo arenoso.

Em termos de umidade ótima do ensaio de compactação, a análise estatística aplicada aos dados do Quadro 7 mostrou que houve diferença significativa para as causas de variação tratamento, solo e sua interação.

O tratamento com vinhaça concentrada indicou que menores valores de umidade ótima, em relação à testemunha, foram alcançados pela aplicação das doses 16% e 20%, iguais entre si, seguido da dose 12%.

No caso específico do solo arenoso, o tratamento com vinhaça concentrada provocou uma diminuição no teor de umidade ótima, em relação à testemunha, independentemente da dose empregada, enquanto que, no caso do solo argiloso, maiores reduções dos teores de umidade ótima foram alcançadas com os tratamentos 20% e 16% de vinhaça concentrada, iguais entre si e inferiores aos tratamentos 12% e testemunha.

O solo argiloso, quaisquer que fossem as doses de vinhaça concentrada empregadas, levou a maiores valores de umidade ótima do que o solo arenoso.

De um modo geral, o tratamento de ambos os solos com vinhaça concentrada aumentou os valores da massa específica aparente seca máxima e reduziu os valores da umidade ótima, em relação à testemunha.

Com relação à massa específica seca máxima e umidade ótima do ensaio de compactação, os valores obtidos são contrários aos de AGUIAR (1992), mostrando os resultados a não dependência entre doses aplicadas e seus efeitos sobre os parâmetros de compactação.

Em se tratando da resistência à compressão simples de corpos de prova de solo-vinhaça concentrada, a análise de variância mostrou altos níveis de significância estatística para as causas de variação tratamento, solo, e suas interações (Quadro 8 e Figuras 22 a 25).

O teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade estatística, mostrou que o tratamento de ambos os solos com vinhaça concentrada, independentemente da dose aplicada, aumentou significativamente o valor da resistência à compressão simples em relação à testemunha, aos 7, 30 e 90 dias. Os melhores resultados foram alcançados com a dose 16%, seguido das doses 20% e 12%, todas superiores à testemunha.

No caso específico do solo arenoso, o tratamento do solo com vinhaça concentrada levou a resultados de resistência superiores à testemunha, sendo os maiores valores alcançados com as doses 20% e 16%, iguais entre si, seguido da dose 12%. Para o solo

argiloso, os tratamentos foram diferentes entre si, sendo o melhor resultado alcançado com a dose 16%, seguido da dose 12% e da dose 20%, todas superiores à testemunha.

Ao 7^o dia, o valor da resistência à compressão simples dos corpos-de-prova de solo arenoso tratados com vinhaça concentrada foi superior à testemunha, sendo o maior valor alcançado com a dose 16%, seguido da dose 20% e 12%. No caso do solo argiloso, maiores resistências foram conferidas pelas doses 16% e 12%, iguais entre si, seguido da dose 20%, todas superiores à testemunha.

Ao 30^o dia, o tratamento do solo arenoso com vinhaça concentrada produziu, também, valores de resistência à compressão simples superiores aos da testemunha, não havendo diferença estatística entre as doses empregadas. No caso do solo argiloso, a dose de 16% teve o melhor efeito, seguida da dose de 12% e da dose de 20%, todas superiores à testemunha. No caso específico da dose 12%, o solo arenoso respondeu melhor ao tratamento que o solo argiloso.

No que se refere à resistência à compressão simples aos 90^o dia, para o solo arenoso tratado com vinhaça concentrada, os melhores resultados foram alcançados com as doses 20% e 16%, que não diferiram entre si, seguido da dose 12%, todas superiores à testemunha. No caso específico do solo argiloso, o maior valor foi alcançado com a dose 20%, seguido das doses 12% e 16%, que não diferiram entre si, e todas superiores à testemunha.

De um modo geral, o solo arenoso respondeu melhor ao tratamento com vinhaça concentrada que o solo argiloso, independentemente da dose aplicada, com relação à idade de rompimento dos corpos de prova à compressão simples.

Com relação à testemunha (0%), não houve diferença significativa entre os valores de resistência à compressão simples de corpos-de-prova de solo arenoso ou argiloso, sendo os mesmos rompidos apenas ao 7^o dia, juntamente com os demais dessa mesma idade.

No que diz respeito à época de rompimento dos corpos-de-prova à compressão simples, não se constatou diferenças significativas entre as épocas sete, trinta e noventa dias, exceção feita para a dose 20%, aos noventa dias. No caso do solo arenoso, os maiores valores de resistência foram alcançados com as idades de trinta e noventa dias, que foram estatisticamente iguais entre si, seguido da idade de sete dias, levando a supor que o maior valor de resistência à compressão simples alcançado é favorecido pelo maior tempo de secagem e endurecimento do material.

A análise de variância aplicada aos dados de resistência à compressão simples de tijolos confeccionados com solos tratados com 12% de vinhaça concentrada, indicou não haver significância estatística, ao nível de 5% de probabilidade (Quadro 9), por sua vez, o teste de Tukey revelou não haver diferenças significativas entre os tijolos de solo confeccionados com solo arenoso ou argiloso.

Os tijolos confeccionados com solo arenoso apresentaram melhores valores de resistência e menores desvio padrão e coeficiente de variação, do que aqueles fabricados com solo argiloso. Além do mais, os tijolos de solo arenoso, no que se refere-se à trabalhabilidade, caracterizaram-se por apresentar mais fácil moldagem e desmoldagem e, conseqüentemente, menores relações hora/máquina e homem/hora.

Para os tijolos confeccionados com solo argiloso, sob tratamento com 12 % de vinhaça concentrada, no que se refere à trabalhabilidade os tijolos tiveram grandes dificuldades para serem moldados, especialmente no que se refere ao controle de umidade e desmoldagem

Os valores médios de resistência à compressão simples, obtidos para os tijolos de solo arenoso (1,92 MPa) e para os de solo argiloso (1,7 MPa), estão abaixo do especificado para o solo-cimento, que segundo a NBR-8491, é de 2,00 MPa. Todavia, embora inexistam especificações para tijolos de solo-vinhaça concentrada, os valores obtidos podem ser considerados satisfatórios, pois estão muito próximos dos valores atribuídos ao solo-cimento, material obtido de solo estabilizado com cimento Portland, o aglomerante mais nobre da construção civil.

Confrontando a resistência à compressão simples dos tijolos com a dos corpo-de-prova de solo-vinhaça concentrada, moldados com a mesma dose (12%) e rompidos aos

trinta dias, pode-se observar que os tijolos de solo arenoso alcançaram apenas 67% do valor da resistência dos corpos-de-prova equivalentes, enquanto que os de solo argiloso, 91%, ou seja, melhor resposta ao tratamento embora, por outro lado, apresentassem, também, maior variabilidade.

Alguns fatores podem ser considerados responsáveis por esta variabilidade, especialmente quando da confecção dos tijolos, a saber: o controle de umidade na confecção dos tijolos o qual procurou-se manter próximo da umidade ótima; a energia de compactação da máquina manual de prensagem dos tijolos, que não é a mesma da energia normal de Proctor, podendo até mesmo a força aplicada variar de um operador para outro; a desigual distribuição de força na prensa, diferente conforme a posição do molde; o capeamento dos tijolos, que, ao contrário dos tijolos de solo-cimento, no presente caso, foi diferente do usual.

Dentre os fatores possíveis de causa de variação, o teor de umidade é o principal, seguindo-se a variação da energia de compactação de molde para molde, consequência de uma falha de fabricação da prensa.

Não foi possível aplicar o ensaio de absorção de água aos tijolos de solo-vinhaça concentrada pois os mesmos se desmanchavam poucas horas após sua imersão total em água, ainda que tratados com produtos impermeabilizantes aplicados em pintura superficial. Seu emprego, em ambientes protegidos ou em paredes revestidas e tratadas com produtos

hidrofugantes, pode, ser recomendado, até mesmo porque, no caso, a ação da água é menos agressiva, se comparada com a imersão total preconizada pelas normas para os ensaios de absorção de água.

6 . CONCLUSÕES

Os resultados obtidos, analisados e interpretados estatisticamente, permitiram que se tirassem as seguintes conclusões:

- independentemente do tipo de solo estudado, todos os tratamentos com vinhaça concentrada reduziram os valores dos limites de liquidez e de plasticidade, em relação à testemunha, sendo que o solo argiloso apresentou sempre maiores valores de limites de liquidez e de plasticidade que o solo arenoso;
- independentemente do tipo de solo estudado, todos os tratamentos com vinhaça concentrada aumentaram os valores da porcentagem acumulada de agregados e do módulo de finura, em relação à testemunha, não se constatando diferença estatística entre ambos, assim como entre as doses de vinhaça aplicadas, qualquer que fosse o tipo de solo empregado;
- o tratamento com vinhaça concentrada promoveu intensa agregação das partículas e agregados primários de ambos os solos, conferindo-lhes estabilidade e resistência à demolição mecânica, expressa através da porcentagem acumulada de agregados em peneira de 0,25 mm e do módulo de finura;

- independentemente da dose de vinhaça concentrada aplicada aos solos, todos os tratamentos conduziram a maiores valores de massa específica aparente seca máxima;
- o tratamento de ambos os solos com vinhaça concentrada, independentemente da dose empregada, aumentou significativamente o valor da resistência à compressão simples do material solo-vinhaça, aos 7, 30 e 90 dias de idade;
- o solo arenoso respondeu melhor ao tratamento com vinhaça concentrada do que o solo argiloso, no que se refere à resistência à compressão simples;
- independentemente do tipo de solo utilizado na confecção de tijolos com 12% de vinhaça concentrada, os resultados de resistência à compressão simples não diferiram estatisticamente entre si;
- os tijolos confeccionados com solo arenoso apresentaram maiores valores de resistência à compressão simples e menores desvio padrão e coeficiente de variação, sendo também, mais facilmente moldados e desmoldados que os de solo argiloso;
- os valores de resistência à compressão simples obtidos para os tijolos de solo-vinhaça concentrada com solo arenoso (1,92 MPa) e solo argiloso (1,72 MPa) estão abaixo dos valores especificados para o solo-cimento (2,00 MPa);
- a aplicação de produtos impermeabilizantes em pintura superficial não foi suficiente para garantir aos tijolos de solo-vinhaça total impermeabilização;
- o uso de tijolos de solo-vinhaça concentrada pode ser recomendado no caso de ambientes protegidos ou paredes revestidas e tratadas com produtos hidrofugantes.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP. - Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais. São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland, 1985. 8p. (BT-111).

_____ - NBR-0659: Solo-determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984. 1p.

ABNT - NBR-06457: Preparação de amostras de solo para ensaio normal de compactação e ensaio de caracterização. Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984. 1p.

_____ - NBR-6508: Solo-determinação da massa específica dos grãos do solo. Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984. 2p.

_____ - NBR-07180: Solo-determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984. 1p.

_____ - NBR-7181: Solo-análise granulométrica. Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984. 13p.

_____ - NBR-07182: Solo-ensaio normal de compactação. Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984. 2p.

_____ - NBR-08492: Solo-Cimento-tijolos maciços de solo-cimento: determinação da resistência à compressão e da absorção de água. Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984. 5p.

_____ - NBR-12023: Solo-Cimento-ensaio de compactação. Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1990. 9p.

____ - NBR-12024: Solo-Cimento-moldagem e cura de corpos-de-prova_cilindrico. Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1990. 8p.

____ - NBR-12025: Solo-Cimento-ensaio de compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1990. 3p.

ABPC. - Tijolos solo-cal - uma opção para a construção civil. São Paulo, Associação Brasileira dos Produtores da Cal, 1987. 25p. (Nota Técnica nº 80).

AGUIAR, M.A. - Incorporação de vinhaça ao solo: efeitos sobre as características de resistência do material obtido. Campinas, FEAGRI/UNICAMP, 1992. 74p.(Dissertação Mestrado).

AGUIAR, M.A. e FREIRE, W.J. - Tratamento de um solo areno-argiloso com vinhaça concentrada e seus efeitos sobre as características físicas da mistura obtida. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRICOLA, XXIII, 1993, Ilhéus-BA. Anais, 1993. v.5, p.3096-3107.

ALMEIDA, J.R.; RANZANI, G. e VALSECCHI, O. - La vinasse dans l'agriculture. Boletim do Instituto Zimotécnico, Piracicaba, n. 1, p. 1-21, 1950.

ALMEIDA, J.R. - O problema da vinhaça em São Paulo. Boletim do Instituto Zimotécnico, Piracicaba, n. 3, p. 1-9, 1952.

ALVARENGA, M.A.A. - Arquitetura de terra como instrumento de desenvolvimento social. In: Workshop Arquitetura de Terra. 1995, São Paulo FAU/USP, p. 107-113.

BARBOSA, N.P. e MATTONE, R. - Estudo sobre tijolos de terra crua desenvolvidos na Universidade Federal da Paraíba e Politecnico di Torino. In: CONGRESSO DE ENGENHARIA CIVIL, II, 1996, Juiz de Fora-MG. Anais, v.1, p. 21-30.

BAVER, L.D.; GARDNER, W.H. e GARDNER, W. R. - Soil Physics. 4 ed, New York, John Wiley & Sons, Inc. 1966. 489p.

- BAVER, L.D.; GARDNER, W.H. e GARDNER, W. R. - Física de Suelos, 4 ed, CRAT (AID), Mexico/Buenos Aires, 1973. 529p.
- BERALDO, A.L. - Généralisation et optimisation de la fabrication d'un composite biomasse végétale-ciment à variation dimensionnelles limitées vis à vis des variations de l'humidité. Nancy: Université de Nancy I, 1994. 223p. Thèse (Docteur en Sciences du Bois). Université de Nancy I, 1994.
- BERDAGUER, B. - A Borag concentra a vinhaça sem consumo adicional de energia. Saccharum, II, n. 4, 1979.
- BUENO, B.S. e VILAR, O. M. - Mecânica dos solos. EESC-USP, São Paulo, 1984. v. 1, Publicação n. 62/94, 131p.
- CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S. e GERARDI, R.N. - Características químicas e físicas de um solo que recebeu vinhaça por longo tempo. Campinas, IAC. 1983. 30p (Boletim Científico, 76).
- CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S; BERTON, R.S.; TEÓFILO SOBRINHO, e J. MENK, J.R.- Alteração das características químicas de um Latossolo Vermelho Escuro distrófico causada pela aplicação de vinhaça. Campinas, IAC. 1987. 23p (Boletim Científico, 9).
- CAMARGO, O.A.; BERTON, R.S.; VALADARES, J.M.A.S. e TEÓFILO SOBRINHO, J. - Características físicas de solo que recebeu vinhaça. Campinas, IAC. 1988. 12p (Boletim Científico, 14).
- CEPED - Manual de construção de solo-cimento. Centro de Pesquisa e Desenvolvimento, Camaçari-BA Convênio CEPED/BNH/URBIS/CONDER/PMC/OEA/CEBRACE, 3ª ed. São Paulo, 1984. 147p.
- CHIES, F.; MALLMANN, J.E. e ZWONOK, O. - Características dos tijolos cinza/cal. In: ENTAC 93-ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1993, São Paulo, Anais EPUSP/ANTAC, 1993, v. 1, p.161-170.

- CHEPIL, W. S. - A compact rotary sieve and the importance of dry sieving in physical soil analysis. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 26, p 4-6. 1962.
- DA FONSECA, M.G. - Tijolos de cinzas. Cinza de carvão mineral e cinza de casca de arroz: alternativas tecnológicas na fabricação de novos elementos construtivos para alvenarias. In: ENTAC 93 - ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. 1993, São Paulo. Anais, EPUSP/ANTAC, 1993, v. 1, p.153-160.
- D'ARCE, R.D e MACHADO, P.F. - Resíduos agroindustriais da cana-de-açúcar na alimentação de ruminantes. In: D'ARCE, R.D., BOIN, C., MATTOS, W.R.S. (coord.). Utilização de Resíduos de Cana-de-açúcar na Alimentação de Ruminantes. Piracicaba, Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiróz, 1985, p. 1-17.
- FERREIRA, E.S e MONTEIRO, A.O. - Efeito da aplicação da vinhaça nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. Bol. Téc. COOPERSUCAR, Piracicaba, n. 37 Jan/1987. p. 3-7.
- FREIRE, W.J. - O solo-cimento e sua avaliação, como material de construção, na engenharia agrícola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 1975, Lavras-MG. Anais, 1975, p. 19-29.
- FREIRE, W.J - Tratamento prévio com aditivos químicos e seu efeito sobre a qualidade do solo-cimento. Piracicaba, ESALQ/USP, 1976. 142p. (Tese DS).
- FREIRE, W.J. e AGUIAR, M.A. - Incorporação de vinhaça concentrada em dois solos distintos: características químicas, físicas e mecânicas da mistura obtida. ENGENHARIA AGRÍCOLA, V, Campinas, v.13, p. 85-96. 1993.
- FREIRE, W.J. e PIEDADE JR., C. - O Módulo de Finura como um índice de estabilidade estrutural. ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2, Botucatu, v.3, p. 29-36. 1979.
- FREIRE, W.J. e HASSEGAWA, J.- Impermeabilização do solo-cimento com aditivos químicos. In: XXV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E I CONGRESSO LATINOAMERICANO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. Bauru-SP Resumo, p.337. 1996.

- GUIDA, H. e MEDINA, J. - Estabilização de solos lateríticos com ácido fosfórico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS, V, 1974, São Paulo, vol. II, Anais, p. 1-67.
- GUEDERT, L.O.; DAMO, N.B. e PRUDÊNCIO JUNIOR, L.R. - Utilização da casca de arroz como material pozolânico para a obtenção de aglomerantes alternativos. In: SIMPÓSIO DE DESEMPENHO DE MATERIAIS E COMPONENTES DE CONSTRUÇÃO CIVIL, II, 1989, Florianópolis-SC. Anais, 1989, p. 152-170.
- GUIMARÃES, J.E.P. - Tijolos solo-cal. In: REUNIÃO ABERTA DA INDÚSTRIA DA CAL-USO DA CAL NA ENGENHARIA CIVIL, 1985, São Paulo. Anais, p. 121-130.
- HULETT, D. - Concentração do vinhoto. Sugar y Azúcar do Brasil, São Paulo, n. 1, p. 35-36. 1980.
- KATZ, G.M. - Concentração de vinhaça até 60^o Brix. Revista de Química Industrial, 48 (572), p 390-392. 1979.
- LAVINSKY, E.C.A.; SERÔDIO, R.S.; FERREIRA FILHO, E. M. e CUNHA, J. - Fabrico manual de adobes no sul da Bahia. 1. Definição, técnica, forma e solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, XX, 1991, Londrina-PR, Anais, v.1, p. 165-179.
- LONGO, R.M. - Efeito da vinhaça in natura e biodigerida em propriedades de um solo cultivado com cana-de-açúcar. Campinas-SP, FEAGRI/UNICAMP, 1994. 98 p. (Dissertação Mestrado).
- MENEZES, T.B. e MEDINA, J.C. - O estado atual sobre o tratamento e aproveitamento da vinhaça e perspectivas futuras. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1978. 10p.
- NARDI, J. V. - Cinza volante e cal hidratada na estabilização de solos arenosos para construção de sub-base e base de pavimento. Rio de Janeiro, DNER/IPR/DITC, 1987. 93p (Publicação, 695).

- PINTO, C. S. - Evolução das pesquisas de laboratório sobre solo-cimento. São Paulo, ABCP, 1960. 19p.
- PINTO, C. S. - Estabilização de pavimentos com cal. In: REUNIÃO ABERTA DA INDÚSTRIA DA CAL-USO DA CAL NA ENGENHARIA CIVIL, V, 1985, São Paulo, Anais, p. 79-112.
- RANZANI, G. - Consequências da aplicação do restilo ao solo. Anais da ESALQ/USP, Piracicaba, n. 12, p. 56-68, 1956.
- RITTNER, H. - Vinhoto: O velho problema vai dar lucro. Química e Derivados. n. 167, p. 28-32, 1980.
- SILVA, E.T. - Solo-cimento e solo-vinhaça no revestimento de canais de irrigação: adequação física e parâmetros hidráulicos. Campinas-SP, FEAGRI/ UNICAMP, 1992. 74p. (Dissertação Mestrado).
- SILVA, G.M. e ORLANDO FILHO, J. - Caracterização da composição química dos diferentes tipos de vinhaça no Brasil. Bol. Téc. PLANALSUCAR, Piracicaba, n. 8, p. 5-22, 1981.
- SILVEIRA, E.B.S. - Estabilização do solo. EESC-USP, São Paulo, 1967. Publicação n. 129, 50p.
- UMBERT, J. - Processo para a combustão da vinhaça. PESIA ENERGY do Brasil, (Boletim) p. 475-487.
- URB - Cabo, PE, desenvolve bloco econômico para moradias populares. Empresa de Urbanização e Desenvolvimento Integrado, Cabo, PE. CONSTRUÇÃO Norte Nordeste, 17 (228), Maio 1992 .
- URBAN, E. - Concentração de vinhaça. In: Seminário Internacional sobre Tratamento de Vinhotos, 1976, Rio de Janeiro. Anais, p. 45-51.

VALSECHI, O. e GOMES, F.P. - Solos incorporados com vinhaça e seu teor de bases. Anais da ESALQ. Piracicaba, (11): p 136-58, 1954.

ZEZZA NETO, L.- Contribuição para o estudo do "Imperativo"-aproveitamento da vinhaça. São Paulo, Banespa, 12p. 1977.