

Barce

Este exemplar corresponde a redação final da dissertação de Mestrado
feita por Mônica Aparecida Aguiar e aprovada pela Comissão Julgadora
em 23 de dezembro de 1992. Campinas, 15 de abril de 1993

Wesley Jorge Freire
Presidente da Banca

INCORPORAÇÃO DE VINHAÇA AO SOLO: EFEITOS SOBRE AS
CARACTERÍSTICAS DE RESISTÊNCIA DO MATERIAL OBTIDO 063

Mônica Aparecida Aguiar 93
Engenheiro Agrônomo

Orientador Prof. Dr. Wesley Jorge Freire

Dissertação apresentada a Faculdade de
Engenharia Agrícola da Universidade
Estadual de Campinas, para obtenção do
Título de Mestre em Engenharia Agrícola
Área de Concentração: Construções Rurais

Campinas, dezembro de 1992

AOS MEUS PAIS,

OFEREÇO.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Wesley Jorge Freire, orientador e amigo, pelo carinho e dedicação;

ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) pela bolsa concedida, sem a qual seria impossível a realização deste trabalho;

ao Prof. Dr. David de Carvalho, pelos valiosos ensinamentos e irrestrita colaboração;

ao Prof. Dr. Carlos Roberto Espindola, pelas conversas informais que sempre me trouxeram otimismo e forças para retomar minhas tarefas;

aos colegas Ednaldo Carvalho Guimarães, Keila Viana Sydenstricker, Eliane Marta Quinões, Jean Paulo Silva Ramos e Eduardo Teixeira da Silva, pelo incentivo constante;

ao técnico Paulo José Rocha de Albuquerque pelos primeiros passos no laboratório de Mecânica de Solos;

aos demais colegas e funcionários das Faculdades de Engenharia Agrícola e Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas, que de uma ou de outra forma, colaboraram para a concretização deste trabalho,

a autora consigna seus agradecimentos.

Monica Aparecida Aguiar

CONTEUDO

RESUMO	vi
SUMMARY	viii
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA	04
<hr/>	
3. MATERIAL E METODOS	18
3.1. Material	18
3.1.1. Solos Estudados	18
3.1.1.1. Solo areno-argiloso	18
3.1.1.2. Solo argilo-siltoso	20
3.1.2. Vinhaça concentrada	21
3.1.3. Equipamentos	22
3.2. Métodos	23
3.2.1. Aplicação dos tratamentos	23
3.2.2. Análise Química.....	25
3.2.3. Índices Físicos	25
3.2.4. Análise Granulométrica	27
3.2.5. Limites de Consistência	27
3.2.6. Peneiramento à seco	28
3.2.7. Compactação	30
3.2.8. Moldagem de corpos de prova de solo vinhaça.....	30
3.2.9. Ensaio à Compressão Simples de corpos de prova de solo-vinhaça	31

3.2.10. Análise estatística	32
4. RESULTADOS	33
5. ANALISE E DISCUSSÃO	48
6. CONCLUSÕES	62
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	66

RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de caracterizar as propriedades físico-mecânicas do solo sob tratamento com vinhaça (esta na forma concentrada), em condições de laboratório, como forma de aproveitamento deste subproduto, visando a obtenção de um material solo-aditivo de múltiplas possibilidades de uso em construções agrícolas.

Para tal, foram pesquisados dois solos, a saber, um areno-argiloso A₂₋₄ (10), e um argilo-siltoso A₇₋₈ (12), e vinhaça com uma concentração de 30% em sólidos totais, nas dosagens 5,5; 11,0; 16,5 e 22,0%.

Uma vez tratados, os solos foram submetidos ao peneiramento a seco e determinados a estabilidade estrutural e Módulo de Finura dos agregados formados; foram determinados, também, os índices físicos, a composição e distribuição granulométrica, além dos limites de consistência, cujos resultados, juntamente com os ensaios de compactação e resistência à compressão simples, permitiram caracterizar os efeitos dos tratamentos.

Os dados obtidos, estatisticamente analisados, mostraram redução nos valores do peso específico aparente

seco e acréscimos no índice de vazios e porosidade de ambos os solos.

Resultados positivos com relação à estabilidade estrutural dos solos estudados foram alcançados pela aplicação dos tratamentos com vinhaça, expressos através da porcentagem acumulada de agregados em peneira de 0,25 mm e do Módulo de Finura.

A dose 16,5% de vinhaça promoveu o maior acréscimo nos valores de resistência à compressão simples para o solo areno-argiloso, tendo este solo se apresentado como o mais viável para fins de tratamento com vinhaça concentrada.

SUMMARY

The objective of this research was to identify the soil physical and mechanical properties being added vinasse in its concentrated form as a treatment, under laboratory conditions, as an alternative use of this by-product. The main goal was to obtain a soil additive material of multiple application in rural constructions.

Two soil types were surveyed: a sand-clayey $A_{2-4}(0)$ and a clay-silty $A_{7-8}(12)$ and 30% total solids concentrated vinasse with the dosages of 5.5, 11.0, 16.5 e 22.0%.

After adding vinasse, the soils were dried, sieved, and the aggregate Modulus of Finesse were determined; the physical indexes as well as the grain size distribution were also determined. The Atterberg limits associated with the essays of the soil moisture-density tests and unconfined compressive strength tests, allowed characterizing the vinasse treatment effects.

Data were statistically analyzed and the vinasse added soil caused a reduction on the apparent dry unit weight values and increment in void ratio and porosity of

the two studied soils.

Positive results in relation to the soils structural stability were achieved due to the vinasse treatment application, expressed through the percentage of accumulated aggregate in the 0.25 mm sieve and Modulus of Finesse.

The 16.5% vinasse added dosage promoted the highest increase in strength values after unconfined compression test of sand-clayey soil which was considered the most feasible soil for the concentrated vinasse treatment.

1. INTRODUÇÃO

A rápida expansão da agroindústria canavieira no Brasil, a partir de 1975, se deve à aplicação do Programa Nacional do Alcool (PROALCOOL), com a finalidade de acelerar o crescimento da produção de álcool e viabilizar seu uso como combustível e matéria-prima para a indústria química.

O processo de obtenção de álcool de cana resulta num subproduto, a vinhaça, produzida na proporção de 10 a 14 vezes o volume de álcool, que de alguma forma necessita ser descartado. Sua elevada DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), variando entre 20000 e 35000 mg/l, se por um lado inviabiliza o lançamento do resíduo nos cursos d'água, por outro justifica quaisquer esforços visando seu aproveitamento para os mais diversos fins.

Muito se tem pesquisado e escrito sobre os efeitos da aplicação da vinhaça sobre as características e propriedades químicas do solo, tais como o pH, a

disponibilidade de nutrientes, a solubilização de fosfatos, os teores de sais solúveis e a capacidade de troca catiônica, viabilizando seu emprego como fertilizante nas mais diversas culturas, sempre com resultados favoráveis.

A extensa literatura sobre o assunto ressalta, ainda, aspectos quanto à sua natureza e composição química, quanto ao seu valor energético, quanto as diferentes formas de tratamento e disposição, quanto ao seu uso para fins de arração animal e obtenção de proteína alimentar e principalmente quanto ao seu alto poder poluente.

Outros trabalhos trazem informações sobre a variação de propriedades físicas do solo tratado com doses contínuas de vinhaça.

Todavia, pesquisas sobre os efeitos mecânicos advindos da aplicação de vinhaça ao solo são ainda, incipientes ou simplesmente inexistentes, necessitando de maior atenção.

Dentro deste contexto se insere o presente trabalho, cujo objetivo é caracterizar as propriedades físico-mecânicas do solo sob tratamento com vinhaça (esta na forma concentrada), em condições de laboratório, como

forma de aproveitamento deste subproduto, visando obter um material solo-aditivo de múltiplas possibilidades de uso em construções agrícolas.

2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

Subproduto gerado a partir da produção de álcool, a vinhaça pode ser definida como um resíduo líquido, orgânico, de coloração clara e pH baixo (entre 4,0 e 5,0) devido ao ácido sulfúrico utilizado nas dornas de fermentação.

São de ALMEIDA (1952) os primeiros dados relativos à composição química da vinhaça, ficando evidenciado naquela oportunidade, tratar-se de um material que continha, em média, mais de 93% de água, compreendendo a matéria orgânica 74,85% dos constituintes sólidos, e o restante compreendendo minerais dos quais o potássio representa 63,47%. De acordo com SILVA & 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.

GLORIA (1976) verificou, através de resultados

das análises químicas de três tipos de vinhaça, a saber, aquela proveniente de mosto de melaço, de caldo ou mista (melaço diluído com caldo), que este material apresenta, dependendo de sua origem e processo de fabricação empregados, uma composição quantitativamente variável, mas qualitativamente semelhante, podendo-se afirmar que, qualquer que seja o tipo de vinhaça, trata-se de um material contendo entre seus sólidos alta porcentagem de matéria orgânica e potássio. Entretanto, quantitativamente, nota-se que a vinhaça de mosto de melaço, ou seja, aquela do chamado álcool residual, é bem mais rica em sólidos do que a vinhaça de caldo ou oriunda de álcool direto.

Mais recentemente, DELGADO et al. (1990), comparando a composição química da vinhaça de mosto, produzida de melaço oriunda da produção de açúcar branco e de açúcar demerara, observaram que a segunda é expressivamente mais rica, quantitativamente, em sólidos totais, matéria orgânica, cinzas, fósforo, potássio, magnésio e cobre.

As perspectivas de aumento da produção de álcool no Brasil fazem crescer a preocupação com o destino a ser dado ao resíduo da destilação.

Pesquisadores buscam alternativas para a sua

utilização de maneira econômica, tecnologicamente adequada e sem acrescentar o risco de poluição produzido por sua descarga descontrolada (CAMHI, 1979).

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 para animais e, finalmente, para a produção de biogás.

Resultados significativamente positivos foram verificados por alguns pesquisadores (RANZANI et al., 1953 e HAAG et al., 1980) quando da aplicação da vinhaça, em substituição à adubação mineral convencional, na própria cultura da cana-de-açúcar e outras, como o feijão, milho, algodão e gergelim.

MAGRO & GLORIA (1977), estudando a adubação de soqueira de cana-de-açúcar, através da aplicação de vinhaça complementada com nitrogênio e fósforo, verificaram não haver efeito favorável à complementação, constatado através do não crescimento na produção de cana-de-açúcar.

Outros, porém, como MARINHO et al. (1982), verificaram que a aplicação de vinhaça e adubação mineral

complementar com N e P não apresentou efeitos significativos, porém, na ausência de adubação mineral, as doses de vinhaça testadas foram insuficientes para promover um máximo de produção de cana.

Apesar de contraditórios os resultados, é fundamental, para que se possa estabelecer um programa de fertirrigação, um controle eficiente na qualidade do resíduo, devido a acentuada variabilidade nos teores de seus componentes, obtendo-se, desta forma, a dose mais indicada a ser empregada, que resultaria em máxima produção (RODELLA & FERRARI, 1977 e BITTENCOURT et al., 1978).

Entretanto, embora os efeitos da aplicação de vinhaça sobre a produção de cana-de-açúcar sejam muito atraentes, efeitos depreciativos em sua qualidade, tais como a queda de pol da cana, pol e brix do caldo e grau de pureza, bem como aumento nos teores de açúcares redutores e nas porcentagens de cinzas do caldo e brix, também foram observados, recomendando-se cautela em sua utilização (STUPIELLO et al., 1977 e GLORIA & ORLANDO FILHO, 1984).

SILVA & ORLANDO FILHO (1981) propõem uma alternativa de tratamento para a vinhaça, consumindo um mínimo em energia, através da clarificação e decantação

continua da mesma, com aproveitamento do clarificado na lavagem da cana e do lodo resultante da decantação, este aplicado na soqueira ou, posteriormente, no plantio da cana-de-açúcar.

Segundo 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 vinhaça concentrada, xarope estável, que possui aplicações também como fertilizante e componente para ração animal.

A vinhaça concentrada pode ser aplicada, após o corte da cana, em pequenas quantidades, segundo MENEZES & MEDINA (1978), cerca de dez vezes menos se comparada com a vinhaça "in natura" (de acordo com a concentração).

HULETT (1980) descreve um processo de concentração da vinhaça através de um evaporador, que concentraria o resíduo em até 30 brix, limite que asseguraria o aparecimento mínimo de incrustações.

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).

A utilização de vinhaça concentrada em ração balanceada, como componente substituto do melão, é descrito por Pupo et al. (1982), citados por D'ARCE & MACHADO (1985), que afirmam 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 da matéria seca e orgânica das dietas. Esta redução acredita-se dever à baixa palatabilidade da vinhaça.

Segundo CAMHI (1979), as lagoas de oxidação biológica para tratamento de vinhaça envolvem um processo de decomposição da matéria orgânica que consiste na atividade biológica combinada de diferentes espécies microbianas, funcionando aeróbia e anaeróbiamente. O produto gerado pode ser usado como ração animal, com elevado valor biológico.

ARAÚJO et al. (1976) constataram que a cepa de

Aspergillus orizae é a responsável pela mais rápida oxidação da vinhaça, produzindo quantidades elevadas de biomassa, sem sofrer danos com as variações de temperatura, pH, nutrientes e aeração.

VENTURINI FILHO & CAMARGO (1987) verificaram que, para a produção de proteína fúngica, a vinhaça não deve ser misturada com flegmaça, evitando, assim, a diluição de seus nutrientes.

KIYAN (1988) também obteve resultados favoráveis à utilização de vinhaça como substrato para produção de biomassa e, paralelamente, uma redução no índice poluidor desse resíduo. As maiores produções de biomassa foram obtidas com Aspergillus orizae.

A fermentação anaeróbia da vinhaça também é uma forma de tratamento bastante interessante pois, além de reduzir a DBO em 70 a 90%, o gás metano produzido (0,3 a 0,5 m³ por kg de DBO) servirá como fonte adicional de combustível (MENEZES & MEDINA, 1978).

CAMPOS & GONÇALVES (1981) desenvolveram um biodigestor industrial, visando o aproveitamento da vinhaça para produção de biogás, obtendo, ainda, como resíduo final do processo, um biofertilizante que tem em sua composição

0,03% N, 0,01% P_2O_5 e relação C/N igual a 10.

Segundo MENEZES & MEDINA (1978), existem ainda, outras formas de tratamento da vinhaça, tais como sua reciclagem, incineração e tratamento químico, processos pouco utilizados por exigirem maiores investimentos.

São mais frequentes os trabalhos que analisam os efeitos da vinhaça sobre as propriedades químicas do solo quando comparados ao número de trabalhos que estudam a influência da vinhaça sobre as propriedades físicas do solo; e por outro lado, inexistem trabalhos que analisam os efeitos mecânicos, advindos da aplicação de vinhaça sobre o solo.

Os primeiros estudos sobre o aproveitamento da vinhaça como fertilizante agrícola foram apresentados no início da década de 50. Antes, porém, a vinhaça era considerada inadequada para esse uso devido a sua elevada acidez; era escoada para os rios ou despejada em terrenos ou fossas sem qualquer aproveitamento.

ALMEIDA et al. (1950) foram os primeiros a demonstrar que, quando doses de vinhaça variáveis entre 50 e 1000 m^3/ha eram aplicadas ao solo, observava-se de imediato acréscimos no pH e no seu poder de embebição.

VALSECCHI & GOMES (1954) verificaram que a adiçãõ de vinhaça no solo não apenas aumentava-lhe o pH, mas, também, a capacidade de troca catiônica e a soma de bases.

Pesquisas posteriores vieram confirmar o efeito direto da adiçãõ de vinhaça no pH do solo (NEVES et al., 1983; MAZZA, 1985; CAMBUIM & CORDEIRO, 1986 e CAMARGO et al., 1987). Entretanto, FONTES (1989), também trabalhando com um Latossolo Vermelho Escuro textura argilosa, verificou efeito semelhante apenas nas profundidades de 0 a 10 cm e de 10 a 20 cm; nas demais profundidades ou seja, de 20 a 40 cm e de 40 a 60 cm, os mesmos não se mostraram consistentes. Da mesma forma, os resultados referentes aos teores de alumínio trocável não mostraram efeito definido com relação a adiçãõ de vinhaça no solo. Em função desses resultados, percebe-se uma relação inversa entre os valores de pH e os teores de alumínio trocável. Entretanto, parece não haver relação entre os teores de alumínio trocável e vinhaça, já que a testemunha, que não recebeu o resíduo, apresentou os mais baixos teores de alumínio trocável nas profundidades de 20 a 40 cm e de 40 a 60 cm. Estes resultados, porém, diferem dos observados por CAMARGO et al. (1987) que verificaram queda nos teores de alumínio trocável em Latossolo Vermelho Escuro textura média, tratado com vinhaça.

De maneira geral a vinhaça, aplicada ao solo promove elevação nos teores de potássio, cálcio e magnésio, fato este comprovado através de vários trabalhos (COLLETI et al., 1983; CAMBUIM & CORDEIRO, 1986; ANDRIOLI, 1986 e CAMARGO, 1987). Porém, as relações entre esses cátions devem ser acompanhadas com cuidado, pela importância da sua disponibilidade no solo, da sua absorção e do seu aproveitamento pelas plantas (CAMARGO et al., 1987). As alterações nas relações desses cátions parecem, segundo FONTES (1989), terem sido compensadas pela sua distribuição no perfil; desta forma, maior aprofundamento de cátions no perfil, visando a obtenção de maior desenvolvimento radicular das culturas e conseqüentemente maior resistência a seca, pode ser obtido pela aplicação de vinhaça. Alterações nas relações entre cálcio, magnésio e potássio, provocadas pela adição de vinhaça no solo, também foram observadas por outros pesquisadores (CAMARGO et al., 1983; CAMARGO et al., 1987 e SENGIK et al., 1988).

O efeito positivo da aplicação da vinhaça na soma e saturação de bases e na capacidade de troca catiônica do solo foi verificado por alguns pesquisadores (CAMARGO et al., 1983; COLLETI et al., 1983 e MAZZA, 1985). Particularmente em relação à CTC (capacidade de troca catiônica), FONTES (1989) verificou que o efeito positivo da adição de vinhaça deve-se principalmente à elevação do

teor de matéria orgânica e aos aumentos nos teores de cálcio, magnésio e potássio. Entretanto, CAMARGO et al. (1987), em pesquisa posterior, não conseguiram evidenciar efeito positivo da vinhaça na CTC do solo.

Através, da análise dos resultados obtidos, FONTES (1989) observou aumento no ponto de carga zero (PCZ) com a profundidade, efeito este relacionado com os teores de matéria orgânica, decrescentes com a profundidade. CAMARGO et al. (1987), estudando a variação no ponto de carga zero (PCZ) em solo irrigado com vinhaça, constataram reduções apenas na camada de 10 a 40 cm de profundidade, num Latossolo Vermelho Escuro distrófico. MAZZA (1985) também verificou o efeito da adição de vinhaça na redução do PCZ em um Latossolo Roxo irrigado com vinhaça.

FONTES (1989) verificou que a adição de vinhaça no solo promove uma redução do potencial redox. Leal et al. (1983), citados por FONTES (1989), atribuíram este efeito à alta demanda de oxigênio do solo, tornando o ambiente progressivamente redutor.

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

experimento conduzido em vasos, com doses de vinhaça variando entre 0 a 1000 m³/ha, mostrou um aumento na retenção de umidade e na porosidade do solo enquanto que a densidade aparente diminuiu; a condutibilidade hidráulica específica aumentou, ocorrendo um aumento de até 210 vezes na porcentagem de sais solúveis.

CAMARGO et al. (1983) verificaram não haver influência dos tratamentos com vinhaça na composição granulométrica de um Latossolo Vermelho Escuro textura média. Resultados diferenciados foram observados por AGUIAR et al. (1992) quando uma dose de vinhaça igual 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.

SENGIK et al. (1988) não conseguiram observar os efeitos da vinhaça na dispersão da fração argila, sugerindo, portanto, que os efeitos imediatos em sua dispersão teriam sido anulados por uma agregação de partículas, devido a maior atividade microbiológica no período de incubação dos solos com vinhaça. CAMARGO et al. (1988) também não observaram alterações no teor de argila dispersa na camada superficial do solo, em função da aplicação de vinhaça, provavelmente pela influência da

matéria orgânica nela contida. Nas camadas entre 10 a 40 cm e 40 a 80 cm, o efeito dos tratamentos já pode ser notado através da diminuição no teor de argila dispersa em água, em relação à testemunha. Os pesquisadores suspeitam que este efeito seja transitório, cessando com a lixiviação dos cátions ou sais livres no período de chuvas.

Segundo FONTES (1989), a aplicação de vinhaça afetou a condutibilidade elétrica nos diferentes tratamentos, apresentando valores mais elevados que os da testemunha. Essa alteração, como sugere CAMARGO et al. (1983), se deve ao aumento da saturação de potássio, relacionado com a riqueza do resíduo nesse elemento.

CAMARGO et al. (1988) não verificaram alterações na densidade aparente e porosidade do solo. Estes resultados não conferem com os verificados por FONTES (1989) que encontrou reduções na densidade aparente e aumentos na porosidade total de solos que receberam vinhaça. Resultados semelhantes foram obtidos por MAZZA (1985). Possivelmente estes efeitos seriam decorrentes da adição de matéria orgânica contida na vinhaça.

CAMARGO et al. (1983) verificaram aumentos na estabilidade dos agregados justificada pela maior atividade

microbiana, acompanhada de um aumento na produção de mucilagem, que favoreceria a agregação dos solos tratados com vinhaça. Esta justificativa encontra respaldo em trabalhos desenvolvidos por CAMARGO et al. (1988) algum tempo depois.

Foram verificados, por CAMARGO et al. (1983), alterações nos limites de consistência de um Latossolo Vermelho Escuro textura média, devido a aplicação de vinhaça. Pesquisadores sugerem que a matéria orgânica da vinhaça mais uma vez seja responsável pelo deslocamento dos limites de liquidez e de plasticidade. Contrariamente, AGUIAR et al. (1992) não verificaram efeitos sobre os limites de consistência em um Latossolo Vermelho Escuro textura média, tratado com vinhaça, porém o mesmo tratamento com vinhaça promoveu uma redução nos valores do limite de plasticidade em um Latossolo Roxo.

3. MATERIAL E METODOS

Para a realização deste trabalho foram empregados os seguintes materiais e métodos:

3.1. Material

3.1.1. Solos Estudados

Trabalhou-se com dois solos, representativos para o cultivo de cana-de-açúcar, de duas classes texturais distintas, tomados ao acaso, os quais foram submetidos a diferentes tratamentos com vinhaça concentrada, com a finalidade de se avaliar seus efeitos sobre as propriedades físicas e mecânicas do material obtido. Em ambos os casos, as amostras dos solos, foram coletadas à profundidade média de 0,20 a 0,40 m.

3.1.1.1. Solo areno-argiloso

Este solo, cujas propriedades estão descritas no

Quadro 1, foi coletado em uma área pertencente à Usina Ester, no Município de Cosmópolis, situado a sudeste do Estado de São Paulo.

De acordo com ESPINDOLA & MILLER (1979) os valores médios anuais de precipitação e temperatura, característicos da região em questão, são, respectivamente, 1364 mm e 20,6 °C; o tipo climático é definido como Cwa (mesotérmico de inverno seco), pela classificação de Köppen, apresentando-se o relevo suavemente ondulado, numa altitude média de 690 m.

De acordo com a COMISSÃO DE SOLOS (1960), este solo, denominado Latossolo Vermelho Escuro textura média, apresenta as seguintes características: "profundos, arenosos, acentuadamente drenados, de cor geralmente vermelho a vermelho escuro, originados do arenito Bauru sem cimento calcário; pequena variação textural ao longo do perfil, observando-se, porém, ligeiro aumento do teor de argila à medida que o perfil se aprofunda; e em quase todo o perfil, observa-se mosqueado devido a pontos de areia lavada de cor esbranquiçada e rósea, sendo mais notório no horizonte A".

Segundo a AASHO (American Association of State

Highway Officials) este solo é classificado como A₂₋₄(0), areno-argiloso de comportamento excelente a bom como base de pavimento em estradas de rodagem.

3.1.1.2. Solo argilo-siltoso

Este solo foi coletado em uma área pertencente à Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, no Município de mesmo nome, situado a sudeste do Estado de São Paulo, cujos tipos e características climáticas são os mesmos já citados para o Município de Cosmópolis.

Segundo a COMISSÃO DE SOLOS (1960), este solo, denominado Latossolo Roxo textura argilosa, apresenta as seguintes características: "muito profundos, argilosos, bem drenados e de coloração arroxeada, formados a partir de rochas eruptivas básicas; textura "clay" tanto no horizonte A como no B; grande estabilidade dos agregados do horizonte A; presença abundante de poros, o grau de coesão que une os pequeninos agregados no horizonte B é bastante fraca, apresenta teores relativamente elevados de manganês, e abundância de minerais pesados, muitos dos quais facilmente atraídos por um ímã comum".

E classificado como solo argilo-siltoso, A₇₋₅(12)

de acordo com a classificação da AASHO, apresentando comportamento regular a ruim como base de pavimento em estradas de rodagem.

No Quadro 1, estão também descritas as principais propriedades deste solo.

QUADRO 1 - CARACTERISTICAS DOS SOLOS ESTUDADOS

Solos		areno- argiloso	argilo- siltoso
Composição textural (% em peso)	Areia média	3,0	3,0
	Areia fina	63,0	17,0
	Silte	16,0	23,0
	Argila	18,0	57,0
Limites de consistência (%)	L. de liquidez	24,7	47,4
	L. de plasticidade	17,7	32,2
	I. de plasticidade	7,0	15,2
Classificação	AASHO	A2-4(0)	A7-5(12)
	Pedológica	LVE(1)	LR(2)
Características químicas	CTC, e.mg/100g	8,6	5,0
	Soma de Bases, e.mg/100g	2,8	3,4
	Matéria orgânica, %	3,2	1,3
	pH	4,4	6,3

<x> Latossolo Vermelho Escuro textura média

<z> Latossolo Roxo

3.1.2. Vinhaça concentrada

Com uma concentração de 30% em sólidos totais, a vinhaça utilizada foi doada pela Usina São Martinho,

localizada no Município de Pradópolis, região nordeste do Estado de São Paulo.

A opção pelo uso de vinhaça concentrada foi feita após a conclusão de um trabalho experimental prévio com vinhaça natural (7% de sólidos totais) cujos resultados, segundo AGUIAR et al. (1992), indicaram pouco ou nenhum efeito sobre as características físicas dos solos pesquisados.

No Quadro 2 encontra-se descrita a composição química da vinhaça concentrada, antes de ser incorporada aos solos e iniciados os ensaios laboratoriais.

QUADRO 2 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA VINHAÇA CONCENTRADA

pH	4,16
Sólidos Totais (%)	30,01
Matéria Seca (%)	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)	0,59
Potássio - K ₂ O (kg/m ³)	38,20
Cálcio - CaO (kg/m ³)	8,12
Magnésio - MgO (kg/m ³)	4,79

3.1.3. Equipamentos

Os corpos de prova de solo-vinhaça foram rompidos

em prensa de procedência alemã, marca LOSENHAUSENWERK, com capacidade máxima de 6 toneladas e sensibilidade de 20 kg. A mesma prensa é dotada ainda de duas outras escalas de menor capacidade, uma de 3,0 toneladas e sensibilidade de 10 kg e outra de 1,2 toneladas e sensibilidade de 5 kg, utilizadas conforme a necessidade. O equipamento dispõe, também, de um dispositivo para regulagem da velocidade de carregamento.

No desenvolvimento dos ensaios, foram utilizados, ainda, equipamentos como peneirador automático, bomba de vácuo, balanças, estufa, etc.

3.2. Métodos

3.2.1. Aplicação dos tratamentos

Os tratamentos com vinhaça concentrada foram aplicados aos solos que, em todos os casos, compreendeu a fração menor que 4,76 mm (100% passando em peneira n: 4), no seu teor de umidade natural.

As doses de vinhaça concentrada foram definidas a partir de referências encontradas em literatura, para vinhaça "in natura", quando doses iguais a 0, 50, 100, 150,

200 e 500 m³/ ha foram estudadas (AGUIAR et al., 1992), estabelecendo-se, desta forma, que as doses a serem testadas seriam: 0, 100, 200, 300 e 400 m³/ha. Considerando-se uma penetração intensa da vinhaça nos primeiros 0,20 m do perfil do solo, ter-se-ia um volume de solo banhado pela vinhaça de 2000 m³/ha, equivalendo a dose de 100 m³/ha a 50 ml/dm³ de solo seco. Expressos em termos de porcentagem, em relação ao peso de solo seco, as doses de vinhaça concentrada empregadas foram, respectivamente, 0; 5,5; 11,0; 16,5; 22,0%.

Quanto a incorporação e homogeneização da vinhaça concentrada ao solo, esta foi possível repartindo-se uma quantidade igual a 250 kg de cada um dos solos em estudo, secos e peneirados, em quantidades menores e iguais a 50 kg, suficientes para a realização de todos os ensaios laboratoriais. A seguir, de acordo com as doses pré-estabelecidas, a vinhaça concentrada foi misturada ao solo, com o auxílio de enxada e colher de pedreiro.

Logo após a aplicação dos tratamentos e por indicação de ensaios preliminares, as misturas foram deixadas em repouso, em condições ambientais, pelo período de 30 dias, antes de serem ensaiadas.

3.2.2. Análise química

Amostras de 200g de cada um dos tratamentos foram submetidas à análise química de laboratório, em duas épocas distintas, ou seja, no início e final da fase experimental do trabalho, a fim de se verificar possíveis alterações na composição química do solo, devido à incorporação de vinhaça. As análises químicas foram realizadas pela Pirasolo - Laboratório Agrotécnico Piracicaba S/C Ltda.

3.2.3. Índices físicos

O peso específico natural do solo foi determinado a partir de amostras indeformadas, utilizando-se o método do anel volumétrico, descrito por KIEHL (1979).

O teor de umidade natural do solo, definido como a relação entre o peso de água e peso de sólidos, existente em um mesmo volume de solo, foi determinado através do método da estufa; uma pequena porção do solo foi pesada e levada à estufa à temperatura de 105 a 110° C, até constância de peso, sendo então retirada e pesada novamente. O teor de umidade natural do solo é calculado utilizando-se a seguinte fórmula:

$$w = \frac{(M_s + M_c + M_w) - (M_s + M_c)}{(M_s + M_c) - M_c} = \frac{M_w}{M_c}$$

onde:

M_w = peso de água

M_s = peso de sólidos

M_c = peso da capsula (tara)

O peso específico aparente seco foi obtido vertendo-se o solo peneirado (fração menor que 4,76 mm) em recipiente cilíndrico de volume conhecido e adensando-o, a custa de golpes laterais com um bastão de borracha, até que, aparentemente, não se notasse mais variação de volume; após eliminação do excesso de solo mediante nivelamento da borda superior do cilindro com o auxílio de uma régua, anotou-se o peso do solo úmido e determinou-se seu teor de umidade. O peso específico aparente seco expressa o peso de um determinado volume unitário de solo. Esta metodologia foi proposta pela COMISSÃO DE SOLOS (1960) e utilizada por FREIRE (1976).

O peso específico dos sólidos foi determinado pelo método do picnômetro, descrito por STANCATI et al. (1981), utilizando-se o material que passa na peneira de n: 10 (2,00 mm).

O índice de vazios e a porosidade do solo foram

10/10/10

calculados através de fórmulas de correlação, admitindo-se conhecido o peso específico aparente seco e o peso específico dos sólidos.

3.2.4. Análise Granulométrica

A análise granulométrica do solo foi feita de acordo com a Norma Brasileira NBR 7181, da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), através da combinação de análise por sedimentação e por peneiramento; esta análise foi determinada na fração de solo menor que 2,00 mm (peneira n: 10), sendo o diâmetro das partículas, no ensaio de sedimentação, calculado através do nomograma de Casagrande.

3.2.5. Limites de Consistência

A determinação do limite de liquidez (LL) do solo foi feita de acordo com a Norma Brasileira NBR 6459 da ABNT, empregando-se o aparelho de Casagrande.

O limite de plasticidade (LP) foi determinado através da técnica prescrita pela Norma Brasileira NBR 7180.

Ambos os limites de consistência foram

determinados na fração de solo menor que 0,42 mm (peneira n° 40).

A partir dos limites de consistência, foi possível determinar-se o índice de plasticidade (IP), que é definido como a diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade, ou seja:

$$IP = LL - LP$$

3.2.6. Peneiramento à seco

A técnica do peneiramento a seco constitui-se em peneirar uma amostra de 200 g de solo, compreendendo a fração menor do que 4,76 mm (peneira n° 4), durante 10 minutos, em peneirador automático, através de um jogo de seis peneiras, dispostas em ordem decrescentes de abertura de suas malhas, a saber, peneira n° 10 (2,00 mm), n° 18 (1,00 mm), n° 35 (0,50 mm), n° 60 (0,25 mm), n° 140 (0.105 mm) e n° 270 (0.053 mm), anotando-se o peso de solo retido em cada uma delas e separando-se simultaneamente uma certa quantidade de solo, para posterior determinação do teor de umidade.

Após esta primeira operação, a amostra era recomposta e submetida novamente ao processo de

peneiramento descrito anteriormente, ainda por mais duas vezes.

Através desta técnica de peneiramento, determinou-se, simultaneamente, a distribuição em tamanho e a estabilidade mecânica dos agregados, tal como pressuposto por Chepil (1962), citado por FREIRE (1976).

Os resultados do peneiramento a seco são expressos em porcentagem, em peso seco, utilizando-se, para comparar o efeito dos tratamentos, somente a porcentagem acumulada de agregados em peneira n° 60 (0,25 mm), pois de acordo com Tiulin (1928), citado por BAVER et al. (1972), esta é a fração responsável pela estabilidade estrutural dos agregados do solo.

De acordo com as recomendações de FREIRE (1976), determinou-se também, o Módulo de Finura dos agregados do solo, a partir dos dados do peneiramento a seco, para avaliar e comparar o efeito dos tratamentos sobre a agregação do solo. A fórmula utilizada para calcular o Módulo de Finura foi a seguinte:

$$M F = \frac{\%acumulada}{100}$$

onde: % acumulada indica o somatório das porcentagens de agregados acumulados nas peneiras utilizadas no peneiramento a seco.

3.2.7. Compactação

O ensaio normal de Proctor, padronizado pela ABNT em sua Norma Brasileira NBR 7182, permitiu traçar-se a curva de compactação do solo, função da variação do peso específico seco e da umidade do solo para uma mesma energia de compactação, obtendo-se ao final, o peso específico aparente máximo e a umidade ótima.

Também nos ensaios de compactação do solo-vinhaça, foram utilizados os mesmos equipamentos e mesma energia de compactação do ensaio normal de Proctor, referido anteriormente.

3.2.8. Moldagem de corpos de prova de solo-vinhaça

A moldagem de corpos de prova de solo vinhaça foi feita de maneira semelhante a moldagem de corpos de prova de solo-cimento, de acordo com o Método SC-2, da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (1986), que fixa o modo pelo qual se moldam corpos de prova de solo cimento a serem submetidos a ensaios de compressão simples.

A aparelhagem utilizada foi a mesma indicada para o ensaio normal de Proctor, referido no item anterior.

3.2.9. Ensaio à Compressão Simples de corpos de prova de solo-vinhaça

O ensaio à compressão simples foi feito de maneira semelhante aos ensaios com corpos de prova de solo-cimento, utilizando-se para tanto o Método SC-4, da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (1986), que fixa o modo pelo qual devem ser rompidos à compressão os corpos de prova de solo-cimento.

Os corpos de prova foram mantidos em cura ao ar livre até o momento de serem submetidos aos ensaios de compressão simples, aos 7 e 28 dias. A cura em câmara úmida estimulava o desenvolvimento superficial de fungos e leveduras, enquanto que a cura por imersão em água levava os corpos de prova a se desfazerem.

Adotou-se uma velocidade de carregamento constante de 1,5 kgf/cm²/segundo, de acordo com recomendação da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (1986), correspondendo, essa velocidade, à fase dos primeiros carregamentos, pois, próximo da ruptura, ela se

torna praticamente incontrolável.

3.2.10. Análise estatística

O efeito da aplicação dos tratamentos, sob seus diversos aspectos, foi analisado estatisticamente através do delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial $2 \times 5 \times 3$, considerando-se, em todos os casos, um nível de significância igual a 5%, e utilizando-se o teste de Tukey para comparação das médias.

4. RESULTADOS

Os dados fornecidos pelo experimento são apresentados a seguir, segundo a disposição dos assuntos enumerados no item 3.2.

Nos Quadros 3 e 4 estão registrados os resultados das análises químicas.

Com relação aos índices físicos do solo, o Quadro 5 apresenta os valores encontrados para o peso específico aparente seco e peso específico dos sólidos dos solos areno-argiloso e argilo-siltoso, respectivamente, juntamente com os tratamentos a eles aplicados, enquanto que os valores do índice de vazios e da porosidade, calculados através de fórmulas deduzidas a partir de correlações entre os referidos índices, estão registrados no Quadro 6. No Quadro 7 encontram-se relatados os valores para o peso específico natural e teor de umidade natural de amostras indeformadas dos solos areno-argiloso e argilo-siltoso respectivamente, anterior à aplicação dos

tratamentos.

Nos Quadros 8 e 9 estão registrados os resultados das análises granulométricas.

O efeito da aplicação dos tratamentos sobre os limites de liquidez e plasticidade dos solos foi pesquisado e os resultados acham-se relatados, juntamente com os índices de plasticidade correspondentes nos Quadros 10 e 11.

O Quadro 12 mostra o efeito dos tratamentos sobre a classificação dos solos, de acordo com sistemas baseados em sua granulometria e plasticidade.

A porcentagem acumulada de agregados em peneira n^o 60 (0,25 mm) está registrada no Quadro 13, assim como os valores do Módulo de Finura dos agregados de ambos os solos.

Com relação ao ensaio de compactação o Quadro 14, apresenta os resultados encontrados para ambos os solos, enquanto que no Quadro 15 encontram-se os resultados dos ensaios de compressão simples dos corpos de prova de solo-vinhaça, aos 7 e 28 dias.

QUADRO 3 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS SOLOS SOB TRATAMENTO COM DIFERENTES DOSES DE VINHAÇA, 45 DIAS APÓS SUA APLICAÇÃO

Tratamentos	pH CaCl ₂	MO (%)	P resina (ppm)	e.mg/100ml							V (%)
				K	Ca	Mg	H + Al	Al	S	CTC	
Solo areno-argiloso	4,4	3,2	40,0	0,5	1,6	0,7	5,8	0,7	2,8	8,6	32,5
+ 5,5% vinhaça	5,4	3,8	14,0	4,6	2,4	1,7	3,4	0,2	8,7	12,1	71,9
+ 11,0% vinhaça	5,7	4,6	3,0	10,0	4,0	3,2	2,8	0,3	17,2	20,0	86,0
+ 16,5% vinhaça	6,0	5,2	3,0	0,3	4,7	4,3	2,5	0,4	9,3	11,8	78,8
+ 22,0% vinhaça	5,8	5,9	3,0	0,4	5,3	4,8	5,1	0,6	10,5	15,6	67,3
Solo argilo-siltoso	6,3	1,3	6,0	0,2	2,7	0,5	1,6	0,0	3,4	5,0	68,0
+ 5,5% vinhaça	6,5	1,6	2,0	0,3	3,4	1,5	1,5	0,0	13,2	14,7	89,8
+ 11,0% vinhaça	7,0	2,1	2,0	8,3	4,0	2,0	1,1	0,0	14,3	15,4	92,8
+ 16,5% vinhaça	7,3	3,0	1,0	10,2	5,3	3,1	1,1	0,0	18,6	19,7	94,4
+ 22,0% vinhaça	6,2	4,3	1,0	0,3	7,5	5,3	2,0	0,5	13,1	15,1	86,7

MO: matéria orgânica

S: soma de bases

P: fósforo

CTC: capacidade de troca catiônica

K: potássio

V: saturação em bases

Ca: cálcio

H: hidrogênio

Al: alumínio

QUADRO 4 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS SOLOS SOB TRATAMENTO COM DIFERENTES DOSES DE VINHAÇA, 225 DIAS APÓS SUA APLICAÇÃO

Tratamentos	pH CaCl ₂	NO (%)	P resina (ppm)	K	Ca	Mg	H + Al	Al	S	CTC	V (%)
Solo areno-argiloso	4,3	3,0	35,0	0,4	1,9	0,6	6,2	0,6	2,5	8,7	28,7
+ 5,5% vinhaça	5,0	4,2	15,0	4,7	2,6	1,7	4,7	0,2	9,0	13,7	65,7
+ 11,0% vinhaça	5,4	4,4	7,0	8,9	3,8	2,6	3,0	0,3	18,3	19,1	95,8
+ 16,5% vinhaça	6,0	4,6	5,0	11,6	4,4	3,5	2,8	0,0	19,5	22,3	87,4
+ 22,0% vinhaça	5,9	4,8	4,0	16,6	4,4	3,9	3,4	0,3	24,9	28,3	88,0
Solo argilo-siltoso	6,2	1,1	5,0	0,1	2,9	0,7	1,6	0,0	3,7	5,3	69,8
+ 5,5% vinhaça	6,4	1,6	3,0	3,8	3,5	1,3	2,0	0,0	8,6	10,6	81,1
+ 11,0% vinhaça	6,9	1,9	2,0	7,3	4,2	1,8	1,2	0,0	13,3	14,5	91,7
+ 16,5% vinhaça	7,3	2,5	2,0	11,6	4,4	2,1	1,2	0,0	18,1	19,3	93,8
+ 22,0% vinhaça	6,9	3,7	2,0	13,9	6,0	3,3	1,6	0,0	23,2	24,8	93,5

NO: matéria orgânica

S: soma de bases

P: fósforo

CTC: capacidade de troca catiônica

K: potássio

V: saturação de bases

Ca: cálcio

H: hidrogênio

Al: alumínio

QUADRO 5 - PESO ESPECIFICO APARENTE SECO E PESO ESPECIFICO APARENTE DOS SOLIDOS DOS SOLOS ESTUDADOS

Índices Físicos	Tratamentos					
	test	5,5%	11,0%	16,5%	22,0%	
Solo areno-argiloso						
ρ_s (KN/m^3)	A	12,33	11,19	11,01	11,64	11,90
	B	12,22	10,99	11,04	11,66	11,83
	C	12,23	11,17	11,26	11,70	12,01
	x	12,26a	11,12c	11,10c	11,67b	11,91b
ρ_s (KN/m^3)	A	26,20	26,00	26,00	24,70	24,40
	B	26,20	26,00	25,90	24,60	24,45
	C	26,20	26,00	25,90	24,60	24,40
	x	26,20a	26,00a	25,93a	24,63b	24,43b
Solo argilo-siltoso						
ρ_s (KN/m^3)	A	10,20	9,55	8,54	10,10	9,42
	B	10,49	9,46	8,71	10,24	9,20
	C	10,60	9,62	8,77	10,09	9,38
	x	10,43a	9,54c	8,67d	10,14b	9,33c
ρ_s (KN/m^3)	A	30,20	30,20	29,70	29,80	28,50
	B	30,30	29,80	29,60	28,60	28,60
	C	29,90	30,00	30,00	29,80	28,30
	x	30,13a	29,93ab	29,83ab	29,73b	29,17c

médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância de 5%

ρ_s : peso específico aparente seco 5,5%; 22,0% : % de vinhaça em relação ao peso seco de solo

ρ_s : peso específico dos sólidos A; B; C : repetições

1 g/cm^3 ; 10 KN/m^3 x : média aritmética

test : testemunha

QUADRO 6 - INDICE DE VAZIOS E POROSIDADE DOS SOLOS ESTUDADOS

Índices Físicos		Tratamentos				
		test	5,5%	11,0%	16,5%	22,0%
Solo areno-argiloso						
e	A	1,12	1,32	1,36	1,12	1,05
	B	1,14	1,36	1,34	1,11	1,07
	C	1,14	1,33	1,30	1,10	1,03
	x	1,13b	1,34a	1,33a	1,11b	1,05c
n (%)	A	52,83	56,90	57,83	51,22	51,22
	B	53,27	57,63	57,83	51,22	51,69
	C	53,27	57,08	56,52	52,38	50,74
	x	53,12b	57,20a	57,14a	52,61b	51,22b
Solo argilo-siltoso						
e	A	1,96	2,16	2,48	1,95	2,02
	B	1,89	2,13	2,42	1,89	2,11
	C	1,82	2,12	2,42	1,95	2,02
	x	1,89c	2,14b	2,44a	1,93c	2,02b
n (%)	A	66,22	68,35	71,26	66,10	66,89
	B	65,40	67,95	70,76	65,40	67,84
	C	64,54	67,95	70,76	66,10	66,89
	x	65,39d	68,12b	70,93a	65,87d	67,21c

médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância de 5%

e : índice de vazios

n : porosidade

QUADRO 7 - PESO ESPECIFICO NATURAL E TEOR DE UNIDADE NATURAL DOS SOLOS ESTUDADOS

Índices Físicos		Tratamentos	
		Solo areno-argiloso	Solo argilo-siltoso
ρ (kN/m^3)	A	15,88	11,23
	B	15,56	11,90
	C	14,63	11,43
	x	15,36	11,52
w (%)	A	6,55	22,78
	B	5,55	26,18
	C	7,00	23,93
	x	6,35	24,30

ρ : peso específico natural

w : teor de unidade natural

QUADRO 8 - COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO SOLO ARENÓ-ARGILOSO

Fração do Solo		Tratamentos				
		test	5,5%	11,0%	16,5%	22,0%
argila (%)	A	18,00	20,00	20,00	20,00	23,00
	B	16,00	20,00	21,00	21,00	22,00
	C	18,00	20,00	20,00	20,00	22,00
	x	17,33b	20,00a	20,33a	20,33a	22,33a
silte (%)	A	15,00	23,00	23,00	25,00	20,00
	B	19,00	20,00	24,00	23,00	21,00
	C	15,00	21,00	22,00	24,00	20,00
	x	14,33c	21,33ab	23,00ab	24,00a	20,33b
a.fina (%)	A	64,00	52,00	50,00	50,00	53,00
	B	62,00	55,00	49,00	51,00	53,00
	C	63,00	53,00	52,00	50,00	53,00
	x	63,00a	53,33b	50,33b	50,33b	53,00b
a.média (%)	A	3,00	5,00	7,00	5,00	4,00
	B	3,00	5,00	6,00	5,00	4,00
	C	4,00	6,00	6,00	6,00	5,00
	x	3,33c	5,33ab	6,33a	5,33ab	4,33bc

médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância de 5%

argila : diâmetro das partículas inferior a 0,002 mm;

silte : diâmetro das partículas compreendendo entre 0,002 e 0,074 mm;

a.fina : diâmetro das partículas compreendendo entre 0,074 e 0,42 mm;

a.média : diâmetro das partículas compreendendo entre 0,42 e 2,00 mm.

QUADRO 9 - COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO SOLO ARGILO-SILTOSO

Fração do Solo		Tratamentos				
		test	5,5%	11,0%	16,5%	22,0%
argila (%)	A	55,00	49,00	50,00	49,00	52,00
	B	60,00	51,00	49,00	50,00	53,00
	C	56,00	49,00	49,00	50,00	53,00
	x	57,00a	49,67c	49,33c	49,67c	52,67b
silte (%)	A	24,00	30,00	29,00	29,00	25,00
	B	22,00	29,00	28,00	27,00	25,00
	C	23,00	30,00	27,00	27,00	24,00
	x	23,00b	29,33a	28,00a	27,67a	24,67b
a.fina (%)	A	18,00	14,00	17,00	18,00	18,00
	B	14,00	19,00	19,00	19,00	17,00
	C	18,00	16,00	20,00	19,00	18,00
	x	16,67a	16,67a	18,67a	18,67a	17,67a
a.média (%)	A	3,00	5,00	4,00	4,00	5,00
	B	4,00	3,00	4,00	4,00	5,00
	C	3,00	5,00	4,00	4,00	5,00
	x	3,33b	4,33ab	4,00ab	4,00ab	5,00a

médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância de 5%

argila : diâmetro das partículas inferior a 0,002 mm;

silte : diâmetro das partículas compreendendo entre 0,002 a 0,074 mm;

a.fina : diâmetro das partículas compreendendo entre 0,074 a 0,42 mm;

a.média : diâmetro das partículas compreendendo entre 0,42 a 2,00 mm.

QUADRO 10 - LIMITES DE CONSISTENCIA DO SOLO ARENO-ARGILOSO

Limites de Consistência		Tratamentos				
		test	5,5%	11,0%	16,5%	22,0%
Solo areno-argiloso						
L.L. (%)	A	24,40	24,40	24,70	24,00	24,00
	B	25,10	24,30	25,00	23,50	23,90
	C	24,60	24,30	24,80	23,00	23,70
	x	24,70ab	24,33ab	24,83a	23,17c	23,87bc
L.P. (%)	A	17,40	15,40	17,00	15,90	16,10
	B	17,90	15,50	17,10	16,10	16,10
	C	17,70	15,30	16,90	16,20	15,80
	x	17,67a	15,40c	17,00ab	16,07bc	16,00bc
I.P.	A	7,00	9,00	7,70	7,10	7,90
	B	7,20	8,80	7,90	7,40	7,80
	C	6,90	9,00	7,90	6,80	7,90
	x	7,03c	8,93a	7,83b	7,10c	7,87b

médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância de 5%

L.L.: limite de liquidez

L.P.: limite de plasticidade

I.P.: índice de plasticidade

QUADRO 11- LIMITES DE CONSISTENCIA DOS SOLO ARGILO-SILTOSO

Limites de Consistência		Tratamentos				
		test	5,5%	11,0%	16,5%	22,0%
Solo argilo-siltoso						
L.L. (%)	A	47,60	46,20	44,60	45,90	44,60
	B	47,40	46,90	44,70	44,20	45,00
	C	47,20	46,10	44,80	44,50	45,00
	x	47,40a	46,40b	44,70c	44,87c	44,87c
L.P. (%)	A	32,20	30,10	28,90	31,90	24,50
	B	32,70	30,90	29,00	29,90	25,00
	C	31,70	29,50	29,10	30,60	25,00
	x	32,20a	30,17b	29,00c	30,80b	24,83d
I.P.	A	15,40	16,10	15,70	14,00	20,10
	B	14,70	16,00	15,70	14,30	20,00
	C	15,50	16,60	15,70	13,90	20,00
	x	15,20c	16,23b	15,70bc	14,07d	20,03a

médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância de 5%

L.L. : limite de liquidez

L.P. : limite de plasticidade

I.P. : índice de plasticidade

QUADRO 12 - EFEITO DOS TRATAMENTOS SOBRE O NIVEL CATEGORICO DO SOLO DE ACORDO COM A CLASSIFICAÇÃO DA AASHO

Sistema Adotado	Tratamentos				
	test	5,5%	11,0%	16,5%	22,0%
	Solo areno-argiloso				
	A ₂₋₄ (0)	A ₄ (1)	A ₄ (2)	A ₆ (2)	A ₆ (2)
AASHO	Solo argilo-siltoso				
	A ₇₋₈ (12)	A ₇₋₈ (12)	A ₇₋₈ (11)	A ₇₋₈ (11)	A ₇₋₈ (13)

AASHO : American Association of State Highway Officials.

QUADRO 13 - PORCENTAGEM ACUMULADA EM PENEIRA N° 60 (0,25 mm) E MÓDULO DE FINURA PARA OS SOLOS ESTUDADOS

Parâmetros	Tratamentos					
	test	5,52	11,02	16,52	22,02	
Solo areno-argiloso						
% ac. (%)	1	50,70	64,40	52,80	65,60	53,60
	2	47,90	61,60	52,20	62,30	49,80
	3	45,00	58,00	57,20	63,80	51,30
	x	47,97c	61,67a	54,07b	63,90a	51,57bc
M.F.	1	2,76	3,24	2,80	3,48	2,90
	2	2,58	3,08	2,75	3,32	2,73
	3	2,43	2,86	2,99	3,36	2,81
	x	2,59c	3,09b	2,85bc	3,39a	2,81c
Solo argilo-siltoso						
% ac. (%)	1	66,40	69,80	82,90	81,90	82,00
	2	64,30	66,80	81,40	82,40	82,40
	3	66,10	65,10	79,60	84,20	83,90
	x	65,60b	67,23b	81,30a	82,30a	82,77a
M.F.	1	3,28	3,43	4,03	4,43	4,39
	2	3,13	3,23	3,96	4,34	4,40
	3	3,20	3,13	3,84	4,51	4,49
	x	3,20c	3,26c	3,94b	4,23a	4,43a

médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância de 5%

% ac. : porcentagem acumulada em peneira n° 60 (0,25 mm);

M.F. : Módulo de Finura;

1 : primeira peneiragem da amostra de solo;

2 : segunda peneiragem da amostra recomposta;

3 : terceira peneiragem da amostra novamente recomposta.

QUADRO 14 - ENSAIO DE COMPACTAÇÃO DO SOLO-VINHÇA: PESO ESPECIFICO APARENTE SECO MAXIMO E TEOR DE UNIDADE ÓTIMA

Parâmetros		Tratamentos				
		test	5,5%	11,0%	16,5%	22,0%
Solo areno-argiloso						
P_{max} (kN/m ²)	A	18,85	16,85	16,80	16,70	17,15
	B	18,75	16,85	16,55	16,70	17,15
	C	18,80	16,35	16,40	16,65	17,05
	x	18,80a	16,68c	16,58c	16,72c	17,10b
wot (%)	A	12,60	15,40	15,70	15,60	14,50
	B	12,50	15,50	16,10	15,20	14,80
	C	12,60	15,90	16,00	15,30	15,00
	x	12,57d	15,60ab	15,93a	15,17bc	14,77c
Solo argilo-siltoso						
P_{max} (kN/m ²)	A	15,75	15,45	15,00	15,25	15,30
	B	15,80	15,40	15,30	15,10	15,35
	C	15,70	15,50	15,15	14,90	15,40
	x	15,75a	15,45ab	15,15bc	15,08c	15,35bc
wot (%)	A	27,40	24,40	25,90	26,00	24,30
	B	27,00	24,60	25,50	25,70	24,40
	C	27,10	24,30	25,90	26,20	24,00
	x	27,17a	24,43c	25,77b	25,97b	24,23c

médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância de 5%

P_{max} : peso específico aparente seco máximo

wot: teor de unidade ótima

QUADRO 15 - RESISTENCIA A COMPRESSÃO DE CORPOS DE PROVA DE SOLO-VINHAÇA DOS SOLOS ESTUDADOS

Idade	Parâmetros	Tratamentos					
		test	5,5%	11,0%	16,5%	22,0%	
Solo areno-argiloso							
7 ^o d	(kN/m ²)	A	1400,56	1527,88	1909,85	2075,38	2317,29
		B	1349,63	1680,67	2100,84	2098,11	2342,76
		C	1451,49	1655,21	1998,98	2189,97	2444,61
		x	1400,56d	1621,25c	2003,22b	2117,82b	2368,22a
28 ^o d	(kN/m ²)	A	1324,17	1655,21	2126,30	2164,50	2088,11
		B	1349,63	1553,35	1960,78	2062,64	2139,04
		C	1426,02	1604,28	1986,27	2037,18	2189,97
		x	1366,61c	1604,28b	2024,45a	2088,11a	2139,04a
Solo argilo-siltoso							
7 ^o d	(kN/m ²)	A	1629,74	2419,15	2368,22	3106,70	4978,36
		B	1706,14	2368,22	2393,68	3055,77	4736,44
		C	1617,01	2266,36	2597,10	3183,09	4749,17
		x	1650,96d	2351,24c	2453,10c	3115,19b	4821,32a
28 ^o d	(kN/m ²)	A	1578,81	1653,35	2139,04	1858,92	1693,40
		B	1566,08	1680,67	2151,77	1897,12	1502,42
		C	1731,60	1655,21	2164,50	1948,05	1782,53
		x	1625,50c	1629,74c	2151,77a	1901,36b	1659,45c

médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância de 5%

5. ANALISE E DISCUSSÃO

Com relação à composição química dos solos estudados, a partir da simples observação dos resultados verificou-se que, para ambos os solos, os tratamentos com vinhaça aumentaram os valores do pH, os teores de matéria orgânica, potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), soma de bases (S), capacidade de troca catiônica (CTC) e a saturação em bases (V) e reduziram os teores de fósforo (P), hidrogênio (H) e alumínio (Al).

Comparando-se as épocas e respectivos valores da análise química obtidos, dentro de cada solo em estudo e tratamentos com vinhaça, pode-se verificar que as tendências se mantiveram, ocorrendo apenas pequenas variações quanto à grandeza numérica dos valores.

Os resultados encontrados corroboram de certa forma as afirmações de VALSECCHI & GOMES (1954) de que a adição de vinhaça ao solo não apenas aumenta o pH, mas também a capacidade de troca catiônica e soma de bases.

Observa-se, em ambos os solos, uma diminuição significativa nos valores de peso específico aparente seco, quando comparados com a testemunha, sendo que, para o solo areno-argiloso, o menor valor significativo foi alcançado com as doses 5,5% e 11,0% de vinhaça, que não foram diferentes entre si, seguidas pelas doses 16,5% e 22,0%, também iguais entre si; para o solo argilo-siltoso, o menor valor significativo foi alcançado com a dose 11,0% de vinhaça seguida pelas doses 5,5% e 22,0%, iguais entre si, e pela dose 16,5%.

Avaliados quanto aos seus efeitos sobre o peso específico dos sólidos, os tratamentos aplicados também provocaram diminuições significativas em seus valores, quando comparados à testemunha, em ambos os solos, sendo que para o solo areno-argiloso o menor valor significativo foi alcançado com as doses 16,5% 22,0%, de vinhaça que foram iguais entre si; seguida pelas doses 11,0% e 5,5% que também foram iguais entre si; para o solo argilo-siltoso, o menor valor significativo foi alcançado pela dose 22,0% de vinhaça e, em seguida, pelas demais doses que foram iguais entre si e diferentes da testemunha.

O índice de vazios e a porosidade, sendo uma relação entre os índices físicos anteriores, apresentaram

as mesmas diferenças estatísticas encontradas para o peso específico aparente seco, em ambos os solos.

Os resultados encontrados, de certa forma, corroboram as afirmações de Beauclair (1984), citado por ANDRIOLI (1986), uma vez que a adição de vinhaça ao solo corresponderia, pela sua constituição, à incorporação de matéria orgânica, acarretando, conseqüentemente, o desenvolvimento de seus efeitos, ou seja, a diminuição do peso específico aparente e o conseqüente aumento da porosidade.

Ainda com relação aos resultados obtidos no experimento, pode-se observar que o comportamento descrito anteriormente se altera à medida em que as doses de vinhaça vão crescendo, ou seja, para o solo areno-argiloso as doses 16,5% e 22,0% passaram a apresentar um índice de vazios e porosidade semelhantes à testemunha e, para o solo argilo-siltoso, apenas a dose 16,5%, levou o índice de vazios e a porosidade a serem semelhantes à testemunha.

Caso a vinhaça utilizada no experimento fosse usada "in natura", talvez o fato pudesse ser justificado pelas observações de REZENDE (1979) que, estudando os efeitos de doses crescentes de vinhaça (0 - 420 m³/ha)

sobre algumas propriedades de um solo Aluvial, não verificou alterações em sua porosidade, capacidade de retenção de água e estado de agregação do solo.

No que se refere ao peso específico natural e teor de umidade natural dos solos estudados, a partir da simples observação dos resultados, verificou-se que o solo areno-argiloso apresentou um peso específico natural superior ao apresentado pelo solo argilo-siltoso, comportando-se de maneira inversa em relação ao teor de umidade natural, ou seja, apresentando um teor de umidade natural inferior ao demonstrado pelo solo argilo-siltoso.

Com relação à composição granulométrica, observou-se que, no caso do solo areno-argiloso, os tratamentos com vinhaça aumentaram os teores de argila e reduziram os teores de areia fina, sem apresentarem quaisquer diferenças significativas entre si. Dentro das frações silte e areia média, os tratamentos com vinhaça também promoveram aumentos, sendo que os maiores valores foram alcançados com as doses 16,5% de vinhaça para a fração silte e 11,0% para a fração areia média; quanto às demais doses de vinhaça empregadas, não se verificou diferenças significativas entre as doses 11,0% e 5,5%, embora ambas fossem superiores à de 22,0%, quando aplicadas

à fração silte; aplicadas à fração areia média, não se constatou nenhuma diferença significativa entre elas. No caso do solo argilo-siltoso, os tratamentos com vinhaça provocaram uma diminuição no teor de argila e um acréscimo nos teores de silte e areia média, não se constatando qualquer efeito sobre o teor de areia fina. Porém, a dose 22,0% de vinhaça provocou, isoladamente, o maior acréscimo no teor de areia média; as demais doses mantiveram-se iguais entre si, quanto ao seu efeito sobre os teores de argila, silte e areia média.

Os resultados encontrados poderiam ser justificados pela variabilidade verificada entre as amostras analisadas, o que é natural e próprio do solo, sendo porém oportuna uma análise mais profunda dos efeitos da vinhaça sobre a composição granulométrica do solo.

No que se refere aos limites de consistência do solo areno-argiloso, observou-se que 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; quanto às demais doses de vinhaça empregadas, não se observou diferenças significativas entre as doses

5,5% e testemunha, embora ambas fossem superiores à de 22,0% e 16,5% que não foram iguais entre si, no caso do limite de liquidez; para o índice de plasticidade, não se verificou diferenças significativas entre as doses 22,0% e 11,0% de vinhaça, embora ambas fossem superiores à dose 16,5% que não diferiu da testemunha. Para o limite de plasticidade, observou-se a ocorrência de reduções significativas devido à aplicação dos tratamentos com vinhaça, sendo que o menor valor foi atingido com a dose 5,5% de vinhaça, quanto as demais, não se observou diferenças significativas entre as doses 16,5% e 22,0% que foram iguais entre si e ainda inferiores à dose 11,0%.

No caso do solo argilo-siltoso, os tratamentos com vinhaça provocaram uma redução significativas nos valores do limite de liquidez e plasticidade, sendo que os menores valores foram atingidos com as doses 11,0%, 16,5% e 22,0% de vinhaça que não apresentaram quaisquer diferenças significativas entre si no que se refere ao limite de liquidez, e com a dose 22,0% no caso do limite de plasticidade; quanto às demais doses de vinhaça empregadas, para o limite de liquidez a dose 5,5% ainda foi inferior à testemunha e, para o limite de plasticidade, não foram observadas diferenças significativas entre as doses 5,5% e 16,5%, embora ambas fossem superiores à de 11,0% e

inferiores à testemunha. Para o índice de plasticidade, observou-se a ocorrência de acréscimos significativos generalizados devido à aplicação dos tratamentos com vinhaça, sendo que o maior valor foi atingido com a dose 22,0% de vinhaça seguida pela dose 5,5% e depois pela dose 11,0%; quanto à dose 16,5%, esta foi a única que promoveu reduções significativas no índice de plasticidade, sendo inferior à testemunha.

A inexistência de informações sobre os limites de consistência de solos tratados com vinhaça fez com que, analogicamente, fossem utilizados os parâmetros estabelecidos pela ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (1986) para solo-cimento, quando empregado em obras de pavimentação; assim, são fixados, para fins de pavimentação, com solo-cimento, em 40% o valor do limite de liquidez máximo e 18% o do índice de plasticidade, pois, sabe-se que quanto mais úmido o solo menor será a sua resistência mecânica, ou seja, quanto mais elevados forem o limite de liquidez e índice de plasticidade, menos indicado para obras de pavimentação será este solo. Desta forma, apesar dos tratamentos com vinhaça terem aumentado os valores de limite de liquidez e do índice de plasticidade do solo areno-argiloso, estes acréscimos não foram suficientes a ponto de inviabilizá-lo para obras de

pavimentação. Porém, quanto ao solo argilo-siltoso, apesar dos tratamentos com vinhaça terem reduzido os valores do limite de liquidez, estes ainda se mantiveram altos, inviabilizando sua utilização para fins de pavimentação; com relação ao índice de plasticidade, apesar dos tratamentos com vinhaça terem promovido um acréscimo em seus valores, estes, exceto o observado para a dose 22,0% de vinhaça, não comprometeriam sua indicação para obras de pavimentação, não fossem os valores referentes ao limite de liquidez.

O efeito dos tratamentos sobre o nível categórico do solo de acordo com a classificação da AASHO (American Association of State Highway Officials), fez com que a testemunha do solo areno-argiloso passasse do nível $A_{2-4(0)}$ para $A_{4(1)}$, sob efeito da dose 5,5% de vinhaça, e para $A_{4(2)}$, sob efeito das demais doses, passando, portanto, de um solo com características satisfatórias, quando utilizado como base de pavimento, para um solo com características regulares, susceptível a encharcamentos, devido ao acréscimo em seu teor de silte e alteração em suas características plásticas.

Com relação ao solo argilo-siltoso, classificado como um $A_{7-5(12)}$, após a aplicação dos tratamentos ocorreram alterações em seus índices de grupo.

A estabilidade estrutural do solo, segundo Tiulin (1928), citado por BAVER et al.(1972), promovida pela presença de agregados maiores que 0,25 mm de diâmetro e avaliada através do peneiramento à seco, observou o mesmo padrão de comportamento em ambos os solos estudados, ou seja, um aumento no teor de agregados maiores que 0,25 mm devido ao tratamento com vinhaça, quando comparados com a testemunha, sendo que, para o solo areno-argiloso, o maior valor significativo foi alcançado pela aplicação das doses 5,5% e 16,5% de vinhaça que não foram diferentes entre si, seguidas pela dose 11,0% e depois pela dose 22,0%, superiores à testemunha.

Em busca de uma compreensão maior sobre o assunto, suplementaram-se as informações referentes à estabilidade estrutural dos agregados com a determinação do Módulo de Finura dos agregados, determinado a partir dos dados fornecidos pelo peneiramento à seco o qual, segundo FREIRE (1976), mostrou ser um eficiente índice de estabilidade estrutural dos agregados, permitindo observar e acompanhar a formação de agregados maiores quanto maior for o seu valor.

Sendo assim, para o solo areno-argiloso, o maior valor significativo, referente ao Módulo de Finura dos

agregados, em relação à testemunha, foi alcançado pela dose 16,5% de vinhaça, seguida pela dose 5,5% e depois pela dose 11,0%, superiores à dose 22,0% que foi igual à testemunha; para o solo argilo-siltoso, o maior valor significativo foi alcançado pela aplicação das doses 16,5% e 22,0% de vinhaça, iguais entre si, seguidas pela dose 11,0%, superior às doses 5,5% e testemunha, que também foram iguais entre si.

Os resultados encontrados podem ser justificados novamente pela presença de matéria orgânica, fração sólida predominante na composição química da vinhaça, citada por CAMARGO et al. (1983) como importante agente na cimentação de partículas. Comumente, os microrganismos, quando metabolizam açúcares de cadeia pequena, presentes em grande quantidade na vinhaça, excretam uma mucilagem que possui grande efeito na aglutinação das partículas de solo, levando a crer que a taxa de aplicação do resíduo mais o tempo adequado de contato com o solo devem ter sido os responsáveis pelo aumento da estabilidade estrutural dos agregados.

Desta forma, pode-se recomendar a utilização do solo-vinhaça como material de construção, desde que alguns cuidados venham a ser tomados quando de seu emprego em

condições adversas de elevada umidade, uma vez constatados problemas quanto a sua impermeabilidade. Recomenda-se, portanto, o seu emprego em condições protegidas ou a aplicação de substâncias que venham a diminuir sua vulnerabilidade.

A análise estatística, aplicada aos resultados fornecidos pelo ensaio de compactação dos solos empregados, mostrou que, com relação ao peso específico aparente seco máximo, os tratamentos com vinhaça promoveram uma diminuição significativa em seus valores, quando comparados à testemunha, sendo que, para o solo areno-argiloso, o menor valor foi alcançado com as doses 5,5%, 11,0% e 16,5% de vinhaça que foram iguais entre si, seguidas pela dose 22,0%, que foi diferente da testemunha; para o solo argilo-siltoso, o menor valor significativo foi alcançado com a dose 16,5%, seguida pelas doses 11,0% e 22,0%, iguais entre si, e pela dose 5,5%, diferente da testemunha.

Com relação ao teor de umidade ótima, observou-se que, para o solo areno-argiloso, os tratamentos com vinhaça promoveram acréscimos significativos em seus valores, quando comparados à testemunha, sendo o maior valor alcançado com a dose 11,0% de vinhaça, seguida, à ordem decrescente, pelas doses 5,5%, 16,5% e 22,0%. Para o solo

argilo-siltoso, os tratamentos com vinhaça promoveram reduções significativas nos valores do teor de umidade ótima, quando comparados à testemunha, sendo o menor valor alcançado pela aplicação das doses 5,5% e 22,0% de vinhaça, iguais entre si e seguidas pelas doses 11,0% e 16,5%, que também foram diferentes entre si.

Segundo a PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (1962), citada por FREIRE (1976), o peso específico aparente seco máximo é alto quando se situa na faixa de 2,0 a 2,32 g/cm³, expresso em termos de peso seco em estufa, e, baixo, quando varia de 1,36 a 1,6 g/cm³; o teor de umidade ótima coincide com o peso específico aparente seco máximo. Segundo esta mesma fonte, o peso específico seco máximo de um solo fornece informações aproximadas sobre sua granulometria; o teor de umidade ótima sobre o teor de silte e argila.

Observou-se também, com relação ao solo areno-argiloso que existe uma tendência de que a aplicação de doses crescentes de até 11,0% de vinhaça promovam decréscimos em seu peso específico aparente seco máximo e elevações em seu teor de umidade ótima, tendência que parece inverter-se para doses maiores. Esta tendência não foi verificada no solo argilo-siltoso.

Avaliados quanto aos efeitos sobre a resistência à compressão simples de corpos de prova, os tratamentos com vinhaça promoveram acréscimos significativos nos valores da resistência, ao 7º dia, em ambos os solos, quando comparados à testemunha. Para o solo areno-argiloso, o maior valor foi alcançado com a aplicação da dose 22,0% de vinhaça, seguida pelas doses 16,5% e 11,0%, que não foram diferentes entre si, e pela dose 5,5%, ainda superior à testemunha. Para o solo argilo-siltoso, o maior valor significativo também foi alcançado pela dose 22,0% de vinhaça, seguida pela dose 16,5% e depois pelas doses 11,0% e 5,5% que foram iguais entre si e superiores à testemunha.

Referidos ao 28º dia de idade, os tratamentos com vinhaça, de maneira geral, mantiveram os valores da resistência, em ambos os solos. Para o solo areno-argiloso, o maior valor foi alcançado com as doses 22,0%, 16,5% e 11,0% de vinhaça que não apresentaram diferenças significativas entre si, e, em seguida, pela dose 5,5%. Para o solo argilo-siltoso, o maior valor foi alcançado pela dose 11,0% de vinhaça, seguida pela dose 16,5% e, finalmente, pelas doses 5,5% e 22,0%, que foram iguais entre si, e à testemunha.

Comparando-se as épocas e respectivos valores de

resistência obtidos, dentro de cada solo em estudo e respectivos tratamentos com vinhaça, pode-se observar que, para o solo areno-argiloso, exceto a dose 22,0% de vinhaça, que apresentou um pequeno decréscimo em seus valores de resistência ao 28º dia, as demais doses mantiveram-se iguais apresentando valores crescentes de resistência diretamente proporcionais às doses. Para o solo argilo-siltoso, todas as doses apresentaram decréscimos significativos em seus valores de resistência, exceto a testemunha.

6. CONCLUSÕES

Após análise e interpretação estatística dos dados obtidos no experimento, pode-se chegar às seguintes conclusões:

. os tratamentos que implicaram na aplicação de 5,5% e 11,0% de vinhaça, promoveram, em relação à testemunha, redução no peso específico aparente seco e acréscimos no índice de vazios e porosidade do solo areno-argiloso; por outro lado, o tratamento do solo com 16,5% de vinhaça provocou efeito exatamente contrário;

. no caso do solo argilo-siltoso, apenas a aplicação da dose 11,0% de vinhaça promoveu, redução no peso específico aparente seco e acréscimos no índice de vazios e porosidade;

. as doses aplicadas de 11,0% e 5,5% de vinhaça foram as responsáveis, respectivamente, pelos acréscimos no limite de liquidez e índice de plasticidade do solo areno-argiloso;

. os tratamentos promoveram uma melhoria na estabilidade estrutural dos solos estudados, expressa através da porcentagem acumulada de agregados em peneira 0,25 mm, sendo que, para o solo areno-argiloso, o melhor efeito foi conseguido pela aplicação da dose 16,5% de vinhaça, e, para o solo argilo-siltoso, pela aplicação das doses 11,0%, 16,5% e 22,0%, iguais entre si;

. o Módulo de Finura expressou, também, de forma semelhante à porcentagem acumulada de agregados em peneira de 0,25 mm, os mesmos efeitos da aplicação dos tratamentos com vinhaça sobre a estabilidade estrutural dos agregados;

. o tratamento do solo areno-argiloso com 5,5%, 11,0% e 16,5% de vinhaça, conferiu ao mesmo, o menor valor de peso específico aparente seco máximo, em relação à testemunha; no caso do solo argilo-siltoso, o menor valor foi obtido pela aplicação da dose 16,5% de vinhaça;

. o tratamento do solo areno-argiloso com 11,0% de vinhaça, apresentou o maior teor de umidade ótima no ensaio de compactação; por outro lado, o menor valor

de teor de umidade ótima, no caso do solo argilo-siltoso, foi provocado pela aplicação das doses 5,5% e 22,0%, iguais entre si;

. ambos os solos tiveram sua resistência à compressão simples aumentada em função da aplicação dos tratamentos com vinhaça;

. o tratamento de ambos os solos com 22,0% de vinhaça, conferiu os maiores acréscimos na resistência à compressão simples, ao 7º dia, em relação à testemunha;

. ao 28º dia e em relação à testemunha, os maiores valores de resistência a compressão simples, para o caso do solo areno-argiloso, foram alcançados pela aplicação das doses 11,0%, 16,5% e 22,0% de vinhaça, iguais entre si;

. o tratamento do solo argilo-siltoso com 11,0% de vinhaça foi responsável pelo maior valor de resistência a compressão simples, quando comparado com a testemunha;

. considerando-se as duas épocas, o tratamento do solo

areno-argiloso com 16,5% de vinhaça, apresentou, em relação à testemunha, o maior valor de resistência à compressão simples;

. de um modo geral, apenas o solo areno-argiloso mostrou-se viável à possibilidade de tratamento com vinhaça concentrada.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

-
- AGUIAR, M. A. ; FREIRE, W. J. ; ALBUQUERQUE, P. J. R.
Caracterização química e física de dois solos tratados
com vinhaça. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA
AGRICOLA, XXI., Santa Maria, 1992. Anais... Santa
Maria, UF de Santa Maria, 1992. p. 1067-78.
- ALMEIDA, J. R. O problema da vinhaça em São Paulo.
Boletim do Instituto Zimotécnico, (3):1-9. 1952.
- ALMEIDA, J. R. ; RANZANI, G. ; VALSECHI, O. La vinasse
dans l'agriculture. Boletim do Instituto Zimotécnico,
Piracicaba, (1):1-2. 1950.
- ARAÚJO, N. de Q. ; VISCONTI, A. S. ; CASTRO, H. F. de ;
SILVA, H. B. da; FERRAZ, M. H. A. ; SALLES FILHO, M.
Produção de biomassa fúngica do vinhoto. In: SEMINÁRIO
INTERNACIONAL SOBRE TRATAMENTO DE VINHOTO, 1976, Rio de
Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: Instituto Nacional de
Tecnologia, 1976. p.1-12.

ANDRIOLI, I. Efeitos da vinhaça em algumas propriedades químicas e físicas de um Latossolo Vermelho Escuro textura média. Piracicaba, ESALQ/USP, 1986. 86p. (Tese DS).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Curso de solo-cimento: Normas de dosagens e métodos de ensaios. Anexo 3.1. Dosagem das misturas de solo-cimento. São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland, 1986. 44p.(mecano).

BAVER, L. D. ; GARDNER, W. H. ; GARDNER, W. R. Soil Physics. 4ed. New York, John Wiley & Sons, Inc, 1972. 529p.

BITTENCOURT, V. C. ; CASTRO, L. J. B. de ; FIGUEIREDO, A. A. M. ; PAIXÃO, A. C. S. ; POLLI, D. M. Composição da vinhaça. Brasil Açucareiro, Rio de Janeiro, 92 (4):25-36, 1978.

CAMARGO, D. A. ; VALADARES, J. M. A. S. ; GERARDI, R. N. Características químicas e físicas de um solo que recebeu vinhaça por longo tempo. Campinas, IAC, 1983. 30p. (Bol.Técnico, 76).

CAMARGO, D. A. ; VALADARES, J. M. A. S. ; BERTON, R. S. ;
TEOFILO, S. J. MENK, J. R. Alteração das
características químicas de um Latossolo Vermelho Escuro
distrófico causada pela aplicação de vinhaça. Campinas,
IAC, 1987. 23p. (Bol. Científico, 9).

CAMARGO, D. A. ; BERTON, R. S. ; VALADARES, J. M. A. S. ;
TEOFILO, S.J. Características físicas de um solo que
recebeu vinhaça. Campinas, IAC, 1988. 12p. (Boletim
Científico, 14).

CAMBUIM, F. A. & CORDEIRO, D. A. Ação da vinhaça sobre o
pH, acidez total, acumulação e lixiviação de nutrientes,
em solo arenoso. STAB, Piracicaba, 4 (4):27-33, 1986.

CAMHI, J. D. Tratamento do vinhoto subproduto da
destilação do álcool. Brasil Açucareiro, Rio de
Janeiro, 94 (1):18-23, 1979.

CAMPOS, M. P. de & GONÇALVES, L. de V. F. Produção de
biogás por digestão anaeróbica do vinhoto. Brasil
Açucareiro, Rio de Janeiro, 98(1): 47-53, 1981.

COLLETI, J. T. ; LORENZETTI, J. M. ; GASPARINI, C. T. ;
DEMATTE, J. L. I. FREITAS, P. G. R. Efeito da
aplicação da vinhaça nas propriedades dos solos da Usina
São José - Macatuba. STAB, Piracicaba, 1:12-7, 1983.

COMISSÃO DE SOLOS. Levantamento de Reconhecimento de Solos
do Estado de São Paulo. Rio de Janeiro, Centro Nacional
de Ensino e Pesquisas Agrônomicas. B.12, 1960. 634p.

D'ARCE, R. D. & MACHADO, P. F. Resíduos agroindustriais da
cana-de-açúcar na alimentação de ruminantes. In: D'ARCE,
R. D. , BOIN, C. ; MATTOS, W. R. S. Utilização de
resíduos de cana-de-açúcar na alimentação de ruminantes.
Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de
Queiroz, 1985. p. 1-17.

DELGADO, A. A. , BOUJ, R. ; MIOQUE, J. Y. J. A vinhaça
oriunda de melaço de açúcar branco e demerara.
Usineiro, São Paulo, 4 (20):21-4, 1990.

ESPINDOLA, C. R. & MILLER, L. C. Solos da Sociedade
Agrícola Tabajara Ltda. Cosmópolis, 1979. 168p.
(mimeo)

FONTES, L. E. F. Propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho Escuro de Goianésia, GO, cultivado com cana-de-açúcar e irrigado com vinhaça. Viçosa, UFV, 1989. 76p. (Tese de DS).

FREIRE, W. J. Tratamento prévio do solo com aditivos químicos e seu efeito sobre a qualidade do solo-cimento. Piracicaba, ESALQ/USP, 1976. 142p. (Tese DS).

GLORIA, N. A. Emprego da vinhaça para fertilização. Piracicaba, CODISTIL, 1976. s.n.p.

GLORIA, N. A. ; ORLANDO FILHO, J. Aplicação de vinhaça: um resumo e discussões sobre o que já foi pesquisado. Alcool e Açúcar, 4 (15):22-31. 1984.

_____ . Aplicação de vinhaça: um resumo e discussões sobre o que já foi pesquisado. Alcool e Açúcar, 4 (16):27-36. 1984.

HAAG, H. P. ; ORLANDO FILHO, J. ; SARRUGE, J. R. ; ZAMBELO JUNIOR, E. ; ROSSETTO, A. Utilização da vinhaça em solo argiloso e composição química da cana-de-açúcar. O solo, Piracicaba, 72 (2):5-9, 1980.

- HULETT, D. Concentração do vinhoto. Sugar y Azúcar do Brasil, (1):35-6, 1980.
- KIEHL, E. J. Manual de Edafologia. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 1979. 262p.
- KIYAN, C. Utilização de vinhaça de cana-de-açúcar para produção de biomassa de *Aspergillus niger* e *Aspergillus oryzae*. STAB: Açúcar, Alcool e Subprodutos, Piracicaba, Z (2):55-8, 1988.
- MAGRO, J. A. & GLORIA, N. A. da. Adubação de soqueira de cana-de-açúcar com vinhaça complementada com nitrogênio e fósforo. Brasil Açucareiro, Rio de Janeiro, 90 (6):31-3, 1977.
- MARINHO, M. L. ; ALBUQUERQUE, G. A. C. de ; ARAUJO FILHO, J. T. de Efeitos de doses de vinhaça e adubação mineral sobre a cana-de-açúcar em dois solos de Alagoas. Brasil Açucareiro, Rio de Janeiro, 99 (2): 39-50, 1982.
- MAZZA, J. A. Variação de algumas propriedades de solos com cana-de açúcar, trabalhados com doses maciças de vinhaça. Piracicaba, ESALQ/USP, 1985. 104p. (Tese DS).

MENEZES, T. J. B. de & MEDINA, J. C. O estado atual sobre o tratamento e aproveitamento da vinhaça e perspectivas futuras. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1978. 10p.

NEVES, M. C. P. ; LIMA, I. T. ; DOBEREINER, J. Efeito da vinhaça na microflora do solo. Rev. Bras. Ci. Solo, 7:131-36, 1983.

RANZANI, G. Consequências da aplicação do restílo ao solo. Anais da ESALQ, Piracicaba, 12:56-68, 1956.

RANZANI, G. ; BRASIL SOBRINHO, M. O. C. do ; MALAVOLTA, E.; COURRY, T. Vinhaça e adubos minerais. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE CIENCIA DO SOLO, 4, 1953, Belo Horizonte. Anais... Piracicaba, 1953. p. 98-108.

REZENDE, J. O. Consequências da aplicação de vinhaça sobre algumas propriedades físicas de um solo Aluvial (Estudo de um caso). Piracicaba, ESALQ/USP, 1979. 112p. (Tese DS).

RITTNER, H. Vinhoto: o velho problema vai dar lucro. Química e Derivados, n. 167, p.28-32, 1980.

RODELLA, A. A. & FERRARI, S. E. A composição da vinhaça e efeitos de sua aplicação como fertilizante na cana-de-açúcar. Brasil Açucareiro, Rio de Janeiro, 90 (1):6-13, 1977.

SENGIK, R. ; RIBEIRO, A. C. ; CONDE, A. R. Efeito da vinhaça em algumas propriedades de amostras de dois solos de Viçosa (MG). Rev. Bras. Ci. Solo, 12 (1):1115, 1988.

SILVA, G. M. de A. & ORLANDO FILHO, J. Caracterização da composição química dos diferentes tipos de vinhaça no Brasil. Bol. Téc. PLANALSUCAR, Piracicaba, 3 (8):5-22, 1981.

STANCATI, G.; NOGUEIRA, J.N. & VILAR D. M. Ensaaios de laboratório em Mécânica dos Solos. São Carlos, EESC/USP, Departamento de Geotécnia, 1981. 208p.

STUPIELLO, P.; PEXE, C. A.; MONTEIRO, H. & SILVA, L. H. Efeitos da aplicação da vinhaça como fertilizante na qualidade da cana-de-açúcar. Brasil Açucareiro, Rio de Janeiro, 90(3): 41-50, 1977.

URBAN, E. Concentração de vinhaça. In: SEMINARIO INTERNACIONAL SOBRE TRATAMENTO DE VINHOTO, 1976, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Tecnologia, 1976. p.45-51.

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

VENTURINI FILHO, W. G. & CAMARGO, R. de. Produção de biomassa de Aspergillus oryzae utilizando vinhaça como substrato de fermentação. STAB: Açúcar, Alcool e Subprodutos, Piracicaba, 5(4): 38-41, 1987.