CONSEQUÊNCIAS DA APLICAÇÃO DE VINHAÇA SOBRE ALGUMAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE UM SOLO ALUVIAL (ESTUDO DE UM CASO)

JOELITO DE OLIVEIRA REZENDE

Engenheiro-Agrônomo

Orientador: Zilmar Ziller Marcos

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutor em Solos e Nutrição de Plantas.

P I R A C I C A B A

Estado de São Paulo - Brasil

Maio, 1979

RECONHECIMENTO ...

Expresso o meu eterno agradecimento ao Dr. Archimar Bittencourt Baleeiro, Professor Titular da Escola de Agronomia da Universidade Federal da Bahia (EAFUBA), Ex-Diretor do Instituto de Pesquisas Agropecuárias do Leste (IPEAL, 1969), e a sua digníssima esposa, D. Nilza Passos Baleeiro, pela felicidade de ter recebido a mão amiga, a palavra de fé, a repreensão justa e oportuna, enfim, o estímulo primeiro, tão necessário aqueles que se iniciam na jornada profissional.

DEDICO ...

À minha esposa Edleuza ,
Aos meus filhos: Jorge , Alessandro ,
Gabriela e Junior

Aos meus pais e irmãos,

Ao Sr. João Maria e D. Josefa
(outros pais)

AGRADEÇO especialmente ao

Prof. Dr. ZILMAR ZILLER MARCOS

Pela valiosa contribuição no presente estudo e, particularmente, pela amiza de e influência positiva da sua orientação na minha formação profissional.

AGRADEÇO ainda às seguintes pessoas e instituições

Engº Agrônomo Doracy Pessoa Ramos (Mestre)

Engº Agrônomo Celso Monnerat de Araujo (Mestre)

Engº Agrônomo Ranulfo Correia Caldas (Mestre)

Engº Agrônomo David de Aquino Filho

Engº Agrônomo Antônia Fonsêca de Jesus Magalhães

Universitário Ney Brissac Peixoto (UFRRJ)

Universitário Laércio Duarte (UFRRJ)

Universitária Lúcia Helena Cunha Anjos (UFRRJ)

Universitário Antônio dos Reis Soares da Cunha (UFRRJ)

Sr. Anselmo Eulacier Amorim Boechat (UFRRJ)

Colegas do Departamento de Solos do Inst. de Agronomia - UFRRJ

Escola de Agronomia da Universidade Federal da Bahia (EAUFBA)

Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESLAQ) - USP

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)

Programa de Educação Agrícola Superior (PEAS)

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP)

Usina Victor Sence - Conceição de Macabu, Rio de Janeiro

"CURRICULUM

VITAE"

JOELITO DE OLIVEIRA REZENDE, natural de Aracaju , Estado de Sergipe, nascido a 27 de fevereiro de 1943, filho de José Vieira de Rezende e Maria de Oliveira Rezende.

Diplomado Engenheiro Agrônomo pela Escola de Agronomia da Universidade Federal da Bahia (EAUFBA), em 15 de dezembro de 1968.

Técnico da Seção de Solos do então Instituto de Pesquisas Agropecuárias do Leste (IPEAL), depois Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA), de janeiro de 1969 a dezembro de 1974.

Diplomado Mestre em Solos e Nutrição de Plantas pela Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ), da Universidade de São Paulo (USP), em 8 de julho de 1974.

Professor do Departamento de Solos da Escola de Agronomia da Universidade Federal da Bahia (EAUFBA), de janeiro de 1975 a junho de 1977.

Professor do Departamento de Solos do Instituto de Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Disciplina Física do Solo dos Cursos de Graduação e Pós-Graduação, desde julho de 1977.

Bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), de 1971 a 1977.

Í N D I C E

	Pág.
RESUMO	1
1 - INTRODUÇÃO	4
2 - REVISÃO DE LITERATURA	8
2.1 - Considerações gerais sobre a vinhaça	8
2.1.1 - O que é vinhaça	8
2.1.2 - O problema da vinhaça	10
2.1.3 - Aproveitamento agrícola da vinhaça ..	11
2.2 - Efeito da matéria orgânica sobre as pro- priedades físicas do solo	14
2.3 - Efeito de íons sobre as propriedades fí- sicas do solo	18
2.4 - A compactação do solo relacionada com o crescimento das plantas	22
3 - MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1 - Trabalhos no campo	28
3.1.1 - Solo, aração e gradagem	28
3.1.2 - Esquema experimental	30
3.1.3 - Vinhaça utilizada	30
3.1.4 - Processo de aplicação da vinhaça ...	33
3.1.5 - Cálculo da vazão do tanque do ca- minhão por unidade de área	36
3.1.6 - Instalação das parcelas experimen- tais	38
3.1.7 - Período de "incubação" e amostra- gem do solo	41

3.2 - Trabalhos no laboratório	42
3.2.1 - Estudo sobre compactação do solo ...	42
3.2.2 - Análises químicas das amostras de terra	42
3.2.3 - Condutividade elétrica do extrato de saturação	43
3.2.4 - Determinação da densidade das par tículas do solo	43
3.2.5 - Análise granulométrica e grau de floculação	44
3.2.6 - Retentividade da água no solo	45
3.2.7 - Porosidade do solo	46
3.2.8 - Densidade aparente do solo	48
3.2.9 - Condutividade hidráulica do solo ...	48
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
4.1 - Efeito do trânsito do caminhão sobre a compactação do solo	54
4.2 - Resultados das análises químicas	58
4.3 - Efeito da vinhaça sobre a pressão osmô- tica da solução do solo	69
4.4 - Efeito da vinhaça sobre o grau da flocu lação das partículas coloidais	74
4.5 - Efeito da vinhaça sobre a retenção da á gua no solo	78
4.6 - Efeito da vinhaça sobre a porosidade do solo	85

4.7 - Efeito da concentração de vinhaça sobre a condutividade hidráulica do solo	91
5 - CONCLUSÃO	96
6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	98
6.1 - Esclarecimentos	98
6.2 - Recomendações para outros estudos	99
7 - SUMMARY	102
8 - LITERATURA CITADA	105

LISTA DE TABELAS

Pág.

TABELA 1 -	Dados analíticos de diferentes vinhaças coletadas numa mesma safra da Usina Pedras, localizada em Serrana, SP, segundo GLÓRIA <i>et alii</i> (1973)	10
TABELA 2 -	Composição da vinhaça utilizada no experimento e quantidade de kg desses componentes aplicada por hectare para os diversos tratamentos	32
TABELA 3 -	Valores da densidade aparente, porosidade total calculada e umidade gravimétrica atual, obtidos com amostras de terra indeformadas, retiradas entre e no rasto do caminhão, sete dias após a completa aplicação da vinhaça (média de duas repetições) ..	55
TABELA 4 -	Resultados das análises químicas das amostras de terra coletadas na profundidade de 0 - 5 cm, aos 15 dias após a aplicação da vinhaça e antes da sua incorporação no solo com o arado e a grade (média de duas repetições)	59
TABELA 5 -	Resultados das análises químicas das amostras de terra coletadas na profundidade de 5 - 25 cm, aos 15 dias após a aplicação da vinhaça e antes da sua incorporação no solo com o arado e a grade (média de duas repetições)	60

TABELA 6 - Resultados das análises químicas das amostras de terra coletadas na profundidade de 25 - 45 cm, aos 15 dias após a aplicação da vinhaça e antes da sua incorporação no solo com o arado e a grade (média de duas repetições)	61
TABELA 7 - Resultados das análises químicas das amostras de terra coletadas na profundidade de 0 - 5 cm, aos 60 dias após a incorporação da vinhaça no solo com o arado e a grade (média de duas repetições)	62
TABELA 8 - Resultados das análises químicas das amostras de terra coletadas na profundidade de 5 - 25 cm, aos 60 dias após a incorporação da vinhaça no solo com o arado e a grade (média de duas repetições)	63
TABELA 9 - Resultados das análises químicas das amostras de terra coletadas na profundidade de 25 - 45 cm, aos 60 dias após a incorporação da vinhaça no solo com o arado e a grade (média de duas repetições)	64
TABELA 10 - Resultados das análises químicas das amostras de terra coletadas na profundidade de 5 - 25 cm, aos 120 dias após a incorporação da vinhaça no solo com o arado e a grade (média de duas repetições)	65
TABELA 11 - Resultados das análises químicas das amostras de terra coletadas na profundidade de 25 - 45 cm, aos 120 dias após a incorporação da vinhaça no solo com o arado e a grade (média de duas repetições)	66

TABELA 12 -	Valores da condutividade elétrica do extrato de saturação (CEs = mmhos/cm, a 25°C) obtidos com amostras de terra tratadas com níveis crescentes de vinhaça e coletadas em diversas profundidades e épocas (média de duas repetições)	70
TABELA 13 -	Resultados da análise granulométrica (areia total, limo e argila % TFSE), argila natural % TFSE e grau de floculação, obtidos com amostras de terra coletadas em cada parcela experimental (0 - 25 cm), aos 60 dias de "incubação" do solo (média de três repetições)	75
TABELA 14 -	Resultados da análise granulométrica (areia total, limo e argila % TFSE), argila natural % TFSE e grau de floculação, obtidos com amostras de terra coletadas em cada parcela experimental (0 - 25 cm), aos 120 dias de "incubação" do solo (média de três repetições)	76
TABELA 15 -	Valores de umidade gravimétrica atual (Ua %) e valores de umidade gravimétrica em equilíbrio com diferentes tensões (Ug %), obtidos com amostras de terra coletadas aos 60 dias de "incubação" do solo com doses crescentes de vinhaça (média de duas repetições) e resumo da análise estatística	80

TABELA 16 - Valores de umidade gravimétrica atual (U_a %) e valores de umidade gravimétrica em equilíbrio com diferentes tensões (U_g %), obtidos com amostras de terra coletadas aos 120 dias de "incubação" do solo com doses crescentes de vinhaça (média de duas repetições) e resumo da análise estatística	81
TABELA 17 - Valores da densidade aparente (D_{ap}), densidade real (D_r), porosidade total calculada e determinada, microporosidade, macroporosidade e poros bloqueados, obtidos com amostras de terra tratadas com doses crescentes de vinhaça e coletadas aos 60 dias de "incubação" à profundidade de 10,0 a 18,0 m (média de três repetições)	87
TABELA 18 - Valores da densidade aparente (D_{ap}), densidade real (D_r), porosidade total calculada e determinada, microporosidade, macroporosidade e poros bloqueados, obtidos com amostras de terra tratadas com doses crescentes de vinhaça e coletadas aos 120 dias de "incubação" à profundidade de 10,0 a 18,0 m (média de três repetições)	88

TABELA 19 -	Resultados do estudo da influência da <u>con</u> centração de vinhaça sobre a condutivida- de hidráulica do solo, obtidos com amos- tras de terra indeformadas, coletadas aos 60 dias de "incubação"	92
TABELA 20 -	Resultados do estudo da influência da <u>con</u> centração de vinhaça sobre a condutivida- de hidráulica do solo, obtidos com amos- tras de terra indeformadas, coletadas aos 120 dias de "incubação"	93
TABELA 21 -	Análises químicas de dois tipos de vinha- ça, produzidas na Usina Victor Sence	101

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1 - Esquema da disposição das parcelas experimentais no campo, com indicação das respectivas dosagens de vinhaça por hectare ..	29
FIGURA 2 - Localização da área experimental na Usina Victor Sence, Município de Conceição de Macabu, Rio de Janeiro	31
FIGURA 3 - Detalhe da aplicação da vinhaça: Na Usina Victor Sence a vinhaça é aplicada por meio de um caminhão "pipa" apropriado para tal fim. Conduzindo um tanque com capacidade para 8 m^3 , o caminhão transporta a vinhaça da sede da Usina para as áreas cultivadas, onde, trabalhando em marcha lenta, lança o resíduo "in natura" e quente sobre o solo (peso estimado do caminhão carregado $\pm 12 \text{ t}$)	34
FIGURA 4 - Detalhe da drenagem do tanque de vinhaça: Na parte posterior do tanque está o tubo de saída da vinhaça (a) ; na frente deste tubo encontra-se um disco metálico (b) com parafuso regulador de inclinação (c). Ao se abrir o dreno do tanque a vinhaça incide violentamente sobre o disco e se espalha em forma de "leque"	35

- FIGURA 5 - Detalhe da instalação da parcela experimental: Para a instalação das parcelas experimentais o motorista foi orientado para conduzir o caminhão em faixas uniformes e adjacentes, com aproximadamente 40,0 m de comprimento e distantes 3,0 m. entre si. Sobre cada faixa demarcou-se uma parcela útil de 6,0 m x 20,0 m. Nota-se o caminhão pronto para irrigar a faixa subsequente 39
- FIGURA 6 - Detalhe da faixa compactada: A foto mostra o estado da parcela experimental após três passagens sucessivas do caminhão ($180 \text{ m}^3/\text{ha}$). Nesta situação o caminhão derrapava sobre o seu rasto anterior (alargando a faixa compactada) e atolava nas depressões do terreno deixadas pelo arado e acentuadas pelo seu peso 40
- FIGURA 7 - Permeâmetro de carga constante (foto) construído para 16 amostras (oito de cada lado do tubo condutor, ver Fig. 6), vista de perto (a) e vista geral (b). Nota-se o recipiente de nível constante na extremidade do tubo condutor (Fig. 5.b) 50
- FIGURA 8 - Detalhe do permeâmetro de carga constante (esquema) visto de frente (A) e de lado, no sentido do comprimento (B) 51

FIGURA 9 - Curvas características de retenção de água do solo construídas com os valores da média geral obtidos com amostras de terra tratadas com vinhaça e coletadas aos 60 e 120 dias de "incubação" 82

FIGURA 10 - Variação das densidades real e aparente (a) e variação da porosidade (b) em função do tempo. Nota-se que a densidade a aparente aumentou ligeiramente aos 120 dias após a incorporação da vinhaça, provavelmente devido ao fenômeno de acamamento na tural de massa do solo, concorrendo para o aumento da microporosidade no mesmo pe ríodo. A redução da macroporosidade aos 120 dias está relacionada com o fenômeno natural de acamamento e também com o maior ^a bloqueio de poros conforme se vê em (b) ... 99

R E S U M O

Através de trabalhos no campo e no laboratório objetivou-se estudar os efeitos de níveis variáveis de vinhaça sobre diversas propriedades físicas de um solo aluvial, representativo da Usina Victor Sence, localizada no Município de Conceição de Macabu, Estado do Rio de Janeiro.

No campo, foram delimitadas oito faixas de 6,0 m de largura por 20,0 m de comprimento, separadas entre si por uma distância de 3,0 m. Cada uma destas faixas recebeu uma dose diferente de vinhaça: 0 , 60 , 120 , 180 , 240 , 300 , 360 e 420 m³/ha. A vinhaça foi distribuída à lanço por meio de um caminhão-tanque e posteriormente incorporada à camada superficial de 25 cm de espessura por meio de aração e gradagem.

Foram estabelecidos períodos de 60 e 120 dias entre a incorporação da vinhaça e as amostragens do solo para os estudos no laboratório.

No laboratório, o projecto compreendeu seis estudos independentes, totalizando, no conjunto, doze experimentos (seis para cada período de incubação do solo). Utilizando-se amostras indeformadas e de terra fina seca ao ar, coletadas ao acaso dentro de cada parcela experimental, foram feitas as seguintes observações:

- a - Efeito do trânsito do caminhão condutor de vinhaça sobre a compactação da área irrigada, medido através da variação da densidade aparente e porosidade total do solo entre e no rasto deixado pelos pneus;
- b - Efeito da vinhaça sobre a pressão osmótica da solução do solo, medido através da condutividade elétrica do extrato de saturação;
- c - Efeito da vinhaça sobre a granulação do solo, medido através do grau de floculação das partículas coloidais, retentividade da água, volume e distribuição dos poros por tamanho e condutividade hidráulica (fluxo saturado).

Dos estudos realizados e apresentados no presente trabalho resultaram as seguintes conclusões:

- a - O trânsito do caminhão compactou cerca de 25% da área irrigada quando se aplicou uma quantidade de vinhaça igual ou maior do que $180 \text{ m}^3/\text{ha}$;

- b - A aplicação da vinhaça contribuiu para a elevação da pres
são osmótica da solução, principalmente nos primeiros 5
cm superficiais do solo. A pressão osmótica da solução
do solo aumentou com a quantidade de vinhaça aplicada de
vido, principalmente, ao nitrogênio e potássio;
- c - Num período de 120 dias nenhuma das doses da vinhaça uti
lizada contribuiu para modificação significativa (1) no
estado de floculação das partículas coloidais do solo ;
(2) na capacidade de retenção de água do solo e (3) na
porosidade do solo (porosidade total, macro e micro poro
sidades);
- d - A inconsistência dos resultados obtidos com o estudo do
efeito da vinhaça sobre a condutividade hidráulica do so
lo não permitiu uma conclusão segura sobre este efeito.

1 - INTRODUÇÃO

A vinhaça, denominada também de "vinhoto", "restilo" , "garapão" , "calda de destilaria", etc., a depender da região, tem sido, há longo tempo, uma constante preocupação dos órgãos responsáveis pelo controle da poluição, pois, o lançamento deste resíduo líquido nas águas litorâneas e interiores do País prejudica sensivelmente a vida aquática e se constitui num fator de insalubridade do ponto de vista da Saúde Pública.

Essa maneira de se considerar a vinhaça, exclusivamente como poluente, vem mudando gradativamente, pois, assim como ocorre com outros resíduos, procura-se reconhecer o seu valor econômico. A experiência tem comprovado que a vinhaça pode ser considerada como um fertilizante orgânico-mineral com altos teores de matéria orgânica e potássio. Com base em tal ponto de vista GLÓRIA (1976) demonstrou, claramen -

te, que o problema da poluição pode ser eliminado, com amplas vantagens econômicas para as indústrias que produzem as caldas de destilarias e para a população que é atingida por seus efeitos.

Várias usinas já utilizam a vinhaça como adubo, adotando diferentes métodos de aplicação: irrigação por sulcos, subterrânea, através de caminhões, etc. A Usina Cambaíba, por exemplo, localizada em áreas planas do Município de Campos (RJ), dispõe de uma vasta rede de canais de irrigação para conduzir uma mistura de vinhaça + água (na proporção de 1:30, respectivamente) da sede para os campos cultivados. Por outro lado, a Usina Victor Sence, localizada em áreas de relevo preponderantemente ondulado, no Município de Conceição de Macabu, RJ, utiliza carretas e caminhão para irrigar o solo com a vinhaça "in natura" e quente. Em ambos os casos, a vinhaça é produzida nas próprias Usinas; entretanto, enquanto a Usina Cambaíba irriga o solo com vinhaça subproduto do etanol, a Victor Sence utiliza a vinhaça subproduto do butanol. Estes dois tipos de resíduo diferem, basicamente, na concentração de seus componentes.

Apesar do volume de informações científicas apresentado por GLÓRIA (1976), o próprio autor reconhece a evidente carência de pesquisas relacionadas com os efeitos da vinhaça sobre os solos. Por falta de experimentação local, a Usina Victor Sence tem utilizado a sua vinhaça com base em dados de pesquisas realizadas em outros Estados. À guisa de exemplo, cita-se que a aplicação de 60 m^3 de vinhaça por hectare, comumente adotada na Usina, fundamenta-se em pesquisas rea-

lizadas no Estado de São Paulo e que tratam da aplicação superficial deste resíduo sobre a cana soca. Entretanto, é prática usual na Usina Victor Sence a aplicação e incorporação da vinhaça antes do plantio. Provavelmente, uma quantidade superior a $60 \text{ m}^3/\text{ha}$ seria necessária para que os efeitos atingissem uma camada de solo mais espessa.

Atualmente, várias pesquisas sobre o aproveitamento agrícola da vinhaça vêm sendo realizadas na zona canavieira do Estado do Rio de Janeiro. No que tange aos efeitos da vinhaça sobre as propriedades físicas do solo são poucos os dados disponíveis na literatura, surgindo assim o interesse por este aspecto da questão. O autor do presente trabalho procurou estudar, inicialmente, o caso da Usina Victor Sence. Através de pesquisas no campo e no laboratório, objetivou estudar os efeitos de níveis variáveis de vinhaça sobre diversas propriedades físicas do solo, apoiando-se nas seguintes hipóteses:

- 1 - A aplicação de vinhaça por meio de caminhões tanque concorre para a compactação do solo e esse efeito aumenta com a quantidade de vinhaça aplicada.
- 2 - Os sais solúveis depositados no solo quando da aplicação da vinhaça contribuem para a elevação da pressão osmótica da solução do meio.
- 3 - Por se tratar de um resíduo orgânico-mineral, a vinhaça deve contribuir para a granulação do solo modificando, consequentemente, a sua geometria de poros, a sua permeabilidade e capacidade de retenção de água.

A fim de se testar a validade de tais hipóteses, foram feitas as seguintes verificações:

- 1 - Efeito do trânsito do caminhão sobre o solo irrigado com a vinhaça, medido através da variação da densidade aparente e porosidade total do solo entre e nos rastros deixados pelos pneus;
- 2 - Efeito de vinhaça sobre a pressão osmótica da solução do solo, medido através da condutividade elétrica do extrato de saturação;
- 3 - Efeito da vinhaça sobre a granulação do solo, medido através do grau de floculação das partículas, volume e distribuição dos poros por tamanho, condutividade hidráulica e retentividade da água.

Este estudo faz parte de um Projeto de Pesquisas sobre a utilização agrícola da vinhaça, interdisciplinar e interinstitucional, resultante de um Convênio firmado entre a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) e a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP).

2 - REVISÃO DE LITERATURA

2.1 - Cônsiderações Gerais sobre a Vinhaça

2.1.1 - O que é vinhaça

A vinhaça é um subproduto do etanol, butanol e aguardente. Na marcha normal de fabricação nas usinas que possuem destilarias, calcula-se uma eliminação de 14 litros de vinhaça para cada litro de álcool produzido. Esse resíduo final, quando coletado nas descargas dos alambiques, apresenta-se como um líquido de cor parda clara, que escurece a medida que se oxida pela exposição ao ar. O seu pH é usualmente baixo (4,3 a 5,0) e a presença de ácido sulfúrico livre, usado nas dornas de fermentação, torna-o corrosivo (MALAVOLTA, 1967, p. 293-296).

A composição da vinhaça é muito variável, dependendo de dois fatores principais: natureza e composição da matéria prima originária e tipo de condução do aparelho de destilação. ALMEIDA (1952), ao analisar uma vinhaça procedente da fermentação do mel final, verificou tratar-se de um material contendo aproximadamente 93% de água e 7% de sólidos; esta fração sólida continha componentes orgânicos (74,85%) e minerais (25,15%). Dentre os componentes minerais (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, etc.) o potássio predominou.

GLÓRIA *et alii* (1973) obtiveram os dados contidos na Tabela 1 referentes à análise de diversas vinhaças produzidas por uma mesma destilaria, numa mesma safra. Tais dados dão uma idéia geral da composição das vinhaças, permitindo uma comparação entre as concentrações dos elementos analisados. Nota-se que as vinhaças estudadas apresentam semelhança na composição e discrepância na concentração. Em ordem de crescente de valores de concentração, tem-se: mosto de melão, mosto misto, mosto de caldo de cana. Nota-se, também, que a matéria orgânica e o potássio predominam na fração sólida das vinhaças analisadas — confirmando os dados de ALMEIDA (1952) —, o que justifica a afirmação de que esse resíduo líquido pode ser visto como um fertilizante orgânico rico em potássio.

TABELA 1 - Dados analíticos de diferentes vinhaças coletadas numa mesma safra da Usina Pedras, localizada em Serrana, SP., segundo GLÓRIA *et alii* (1973)

Vinhaça	Componentes							pH
	% C	% Ca	% Mg	% K	% N	% PO_4^{-3}	% SO_4^{-2}	
Mosto de Melaço	1,92	0,26	0,06	0,65	0,12	0,02	0,64	4,9
Mosto de Caldo	0,59	0,05	0,01	0,10	0,03	0,02	0,06	4,3
Mosto Misto *	1,15	0,12	0,04	0,38	0,07	0,02	0,37	4,6

(*) Mosto Misto - preparado com melaço + caldo de cana

2.1.2 - O Problema da Vinhaça

De acordo com ALMEIDA (1955), a vinhaça é um resíduo altamente poluente, pois, devido ao seu elevado índice de demanda biológica de oxigênio (superior a 20.000 ppm, segundo REICHARDT, 1975), é altamente nociva à vida aquática, além de ser imprópria para a Saúde Pública. O despejo de vinhaca produzida pelas grandes destilarias de álcool, numa mesma bacia hidrográfica, é responsável pelas consequências mais graves. Estas são mais drásticas na época de maior estiagem — geralmente a época de maior produção do resíduo —, particularmente no Nordeste brasileiro, quando os cursos d'água se reduzem a simples riachos.

A quantidade de vinhaça produzida no Brasil deverá aumentar consideravelmente nos próximos anos, devido a

recente política governamental de incentivo à produção de álcool para mistura com derivados do petróleo.

Convém mencionar que o lançamento da vinhaça, comprovadamente tóxica, nas águas litorâneas e interiores do País é uma prática vedada por dispositivos legais desde 1934 (BRASIL AÇUCAREIRO, 1943). Este problema é devidamente controlado pelos artigos nºs 267 e 271 do Código Penal Brasileiro, por diversas Leis Estaduais e pela Portaria nº 69, expedida em 3 de março de 1943 pela Divisão de Caça e Pesca do Ministério da Agricultura (FILGUEIRAS, 1955). Não obstante tal prática é comum nos dias atuais.

De fato, uma solução racional e definitiva, para o problema da vinhaça, é de importância vital para a economia do País e, principalmente, para a saúde das populações.

2.1.3 - Aproveitamento agrícola da vinhaça

Assim como ocorre com outros resíduos procura-se reconhecer o valor agrícola da vinhaça. A experiência tem comprovado que ela pode ser considerada como um fertilizante orgânico-mineral. ALMEIDA (1955), um dos pioneiros em estudos com a vinhaça no Estado de São Paulo, resume assim, enfaticamente, a sua opinião sobre o potencial agrícola das caldas de destilarias: "Como fator de fertilização e correção dos solos, está provado que a vinhaça é um adubo de primeira grandeza".

GLÓRIA (1976) apresenta uma revisão de literatura, ampla e elucidativa, sobre a utilização racional de vinhaça como fertilizante e seus efeitos sobre várias propriedades do solo. Através de experiências próprias e de outros pesquisadores, o autor procurou mostrar o valor econômico da vinhaça e a exiguidade de sua utilização na lavoura, evidenciando que o problema da poluição pode ser eliminado, com amplas vantagens econômicas para aqueles envolvidos com as caldas das destilarias. Trata, ainda, das técnicas que já estão sendo usadas com sucesso em várias Usinas do Estado de São Paulo. De acordo com GLÓRIA (1976), por se tratar de uma fonte de nutrientes, o emprego racional da vinhaça contribuiria para minimizar os custos da produção agrícola na zona canavieira, substituindo parcialmente a adubação química de soqueiras.

Por outro lado, o trabalho de GLÓRIA (1976) também evidencia a necessidade de muitas outras pesquisas com a vinhaça, principalmente nas diversas áreas representativas de regiões envolvidas pelo problema. No que tange aos efeitos da vinhaça sobre as propriedades físicas do solo são poucas as informações disponíveis, podendo-se citar as de ALMEIDA (1955), segundo o qual "a vinhaça melhora as propriedades físicas do solo, pois aumenta o seu poder de embebição para a água e controla a erosão, funcionando como elemento de valor na conservação do solo".

RANZANI (1956), estudou os efeitos de doses crescentes de vinhaça (0 a 1000 m³/ha) sobre algumas propriedades físicas de um solo do campo experimental da Seção de Química

Agrícola da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, São Paulo. Constatou, entre outros resultados, os seguintes: aumento da porosidade total do solo; diminuição do limite inferior de água disponível; aumento na capacidade máxima de retenção de água (estimativa da capacidade de campo); aumento na condutividade elétrica da suspensão de terra e pouca alteração na permeabilidade do solo. Entretanto, como diz o próprio autor, trata-se de experiência conduzida em vasos, que não representa as condições naturais de solo e de aplicação de vinhaça.

A influência benéfica da vinhaça nas propriedades físicas do solo tem sido muito comentada. Carece, entretanto, de respaldo experimental, pois os dados de pesquisas sobre o assunto são escassos. Acredita-se tratar-se de inferências baseadas em estudos com outros resíduos orgânicos. Assim, sendo a vinhaça um resíduo orgânico-mineral, tornam-se oportunas algumas considerações a respeito da ação da matéria orgânica (esterco, restos de culturas, resíduos de esgotos, etc.) e íons sobre a granulação e outras propriedades físicas do solo, tais como: densidade aparente, pressão osmótica, retentividade de água, porosidade, condutividade hidráulica, etc.

2.2 - Efeito da Matéria Orgânica sobre as Propriedades Físicas do Solo

É considerável o número de informações disponíveis relacionadas com os efeitos da matéria orgânica sobre as propriedades físicas do solo.

De acordo com BAVER *et alii* (1973, p. 166), a matéria orgânica é fonte de energia e nutrientes para os microorganismos. Por isso, quando incorporada ao solo, contribui para um sensível aumento na atividade e na população microbiana. De todos os organismos do solo, os fungos são os mais eficientes na estabilização dos agregados. Sob esse aspecto, convém salientar que solos tratados com vinhaça revelam um aumento notável na população de microorganismos, com predominância dos fungos *Neurospora* spp, *Penicillium* spp, *Mucor* spp e *Streptomyces* spp, conforme se vê no trabalho de CAMARGO (1954).

A relação existente entre a matéria orgânica e o estado de agregação das partículas do solo está evidenciada nos trabalhos de SOKOLOVSKY (1933), TIULIM (1933), BAVER (1934) e PASCHALL *et alii* (1934). O efeito cimentante da matéria orgânica sobre as partículas do solo foi demonstrado por ROBINSON (1922) e BODMAN (1928). A ação protetora do humus sobre a argila é mostrada por DEMOLON e BARBIER (1929) e POWERS (1932).

Materiais orgânicos, tais como restos de culturas, esterco de curral, resíduos de esgotos, cobertura vegetal, etc., têm recebido considerável atenção por parte de es-

tudiosos interessados em conservação do solo e água e produção de alimentos. Isto se deve à influência desses materiais sobre as condições físicas do solo. Segundo BROWNING e MILAN (1944), a aplicação de material orgânico favorece a infiltração da água, diminui a tendência de dispersão das partículas do solo quando do impacto das gotas de chuva, reduz as perdas de terra por erosão e beneficia a relação água-ar nos solos. Com base na vasta informação científica sobre os efeitos da matéria orgânica na fertilidade dos solos, o autor evidencia que fatores, tais como solo, clima, população microbiana e tipo e quantidade de matéria orgânica, influenciam a resposta que se pode esperar após a aplicação de resíduos orgânicos no solo. Através de experiências próprias, BROWNING e MILAN (1944) mostram que os materiais orgânicos facilmente decomponíveis aumentam a agregação do solo poucos dias após a sua incorporação, alcançando um máximo efeito entre 20 e 30 dias para depois, gradativamente, perder tal efeito com o tempo. Por outro lado, os materiais lentamente decomponíveis necessitam um longo tempo para exercerem a sua ação cimentante, mas continuam a ser efetivos por um longo período de tempo. Os materiais relativamente inertes exercem pouco ou nenhum efeito sobre a agregação do solo.

KLUT e JACOB (1949) ; STEWART *et alii* (1970) e ADAMS (1973) observaram que a adição de matéria orgânica contribuiu para a diminuição da densidade aparente do solo.

O efeito da utilização de restos de cultura de algodão, como um "mulching" superficial, foi estudado por UHLAND (1949), que observou um aumento significativo na veloci-

dade de percolação da água, na superfície e subsuperfície de solos no sul da Califórnia (EUA). Também, o volume de macroporos dos solos, sob o "mulching", era maior do que aquele dos solos sem tratamento. O autor concluiu que a utilização de restos de culturas, sobre a superfície do solo, conduz a um aumento na sua porosidade e permeabilidade, favorecendo-lhe, portanto, a estrutura.

Resíduos de esgoto também têm sido utilizados como fonte de matéria orgânica para modificação da estrutura do solo. LUNT (1959) aplicou 65 a 130 toneladas de um lodo seco sobre um solo barrento e verificou que a porosidade não capilar aumentou de 24,3 para 27,2 e 29,9% (densidade aparente 1,13 , 1,05 e 0,99 g/cm³), respectivamente. Durante esses estudos foram verificados, também, aumentos na capacidade de campo (teor de água revelado pelo solo 48 horas após uma chuva pesada).

Um dos efeitos mais importantes da matéria orgânica sobre o solo é a modificação na sua capacidade característica de retenção de água, devido a: 1) diminuição da densidade aparente e aumento da porosidade total do solo ; 2) alteração na distribuição do tamanho dos agregados, modificando a distribuição de tamanho dos poros e 3) aumento na capacidade adsortiva do solo, devido ao aumento na sua superfície específica. BOUYOUCOS (1939) observou um aumento na capacidade de retenção de água (umidade equivalente) e na água disponível, em solos de diferentes texturas, após a adição de resíduos orgânicos (esterco, "muck" e "peat"). BISWAS e KHOSLA (1971)

também observaram um aumento na retenção de água e na condutividade hidráulica, em solo tratado com esterco durante um período superior a 20 anos.

MAYS *et alii* (1973) verificaram um aumento de 11,1 para 15,3% nos teores de água de amostras de um solo siltooso, em equilíbrio com uma sucção correspondente a 0,33 bar, após a aplicação de 327 toneladas / ha de um composto orgânico, por dois anos. Entretanto, MORACHAN *et alii* (1972) não encontraram nenhum aumento significativo na retenção de água (na faixa entre 0,1 e 15,0 bares) após 14 aplicações anuais de 16 toneladas / ha de fragmentos de caule de milho.

EPSTEIN (1975) constatou que amostras de um solo siltoso, tratadas com resíduos de esgotos e incubadas por 54 dias em vasos, revelaram modificação na curva característica de retenção de água, apenas no ramo sob baixas tensões. A quantidade de água retida na faixa de sucção, compreendida entre 0,33 e 15,0 bares, permaneceu igual aquela do solo original. O autor também observou um aumento na condutividade hidráulica, de amostras saturadas, após 27 dias de incubação; entretanto, após 79 dias de incubação, a condutividade hidráulica era semelhante aquela do solo não tratado.

GUPTA *et alii* (1977), estudando a influência de resíduos de esgotos sobre as propriedades térmicas e hidráulicas de solos arenosos, verificaram que tal resíduo provocou um aumento na retenção da água no solo em toda a faixa de sucção, devido, principalmente, ao aumento da adsorção da água pe

la matéria orgânica. A condutividade hidráulica saturada aumentou com a quantidade de resíduos aplicada.

2.3 - Efeitos de Íons sobre as Propriedades Físicas do Solo

Russell (1934), citado por BAVER (1966, p. 136), expos a hipótese de que a formação de agregados no solo depende da interação entre os cátions adsorvidos nas argilas e o líquido dispersante. A agregação seria o resultado do seguinte sistema de enlaces: partícula + molécula d'água + cátion + molécula d'água + partícula, etc. A força de enlace aumenta com a valência do cátion adsorvido.

A participação dos cátions no mecanismo de floculação e, conseqüentemente, na granulação, depende do tipo e concentração do íon presente. Isto tem sido demonstrado por diversos autores. BROOKS *et alii* (1956), por exemplo, em um estudo em que foram comparados os efeitos do Na^+ , K^+ , Ca^{++} e Mg^{++} , em oito solos diferentes, verificaram que os efeitos do Ca^{++} , Mg^{++} e K^+ foram semelhantes. Combinações de vários níveis de sódio e potássio trocáveis mostram que o potássio, na presença ou não de sódio, teve um efeito insignificante sobre a instabilidade da estrutura do solo. BOEKEL (1959) estudou o efeito de cátions adsorvidos e em soluções, sobre a estrutura de solos argilosos. Verificou que os efeitos favoráveis do ferro e alumínio, sobre a agregação, são mais evidentes do que aqueles apresentados pelo magnésio, cálcio, estrôncio,

e hidrogênio. O lítio, sódio e potássio revelaram efeitos desfavoráveis. SILLAMPAA (1960) tratou diferentes solos com várias soluções salinas e observou um aumento na estabilidade dos agregados em água, na seguinte ordem: soluções de cloreto de cálcio, cloreto de magnésio, cloreto de potássio e cloreto de sódio. CECCONI *et alii* (1963) também estudaram os efeitos de vários cátions e ânions sobre a estrutura de seis diferentes solos tratados com soluções normais de vários sais. A estabilidade dos agregados sofreu certa diminuição pelos sais neutros de sódio e não foi afetada pelos sais de potássio e de amônio; os radicais cloreto, nitrato e sulfato tiveram pequeno ou nenhum efeito, enquanto os fosfatos, de uma maneria geral, melhoraram a estabilidade.

Os efeitos de substâncias mais complexas como adubos, por exemplo, conquanto tenham merecido alguma atenção por parte dos pesquisadores, não são perfeitamente conhecidos. Os resultados são por vezes contraditórios ou inconclusivos. QUEIROZ NETO e GROHMANN (1963) estudaram a influência de adubos sobre o estado de agregação da Terra Roxa (série Chapadão) no Estado de São Paulo. Para tal, analisaram amostras de terra procedentes de um ensaio de adubação de milho que envolvia tratamentos com esterco, calcário e adubos minerais. Os resultados obtidos mostraram que o calcário e adubos minerais não contribuíram para o aumento da agregação.

De acordo com BAVER *et alii* (1973, p. 225), ainda é pouco conhecido o efeito dos fertilizantes sobre a estrutura do solo, embora a teoria da dispersão de coloides permi-

ta afirmar que fortes aplicações de sais de sódio devem causar dispersão dos agregados. Tal deterioração dos agregados provavelmente não ocorrerá quando são adotadas práticas racionais de agricultura, pois o aumento na produção de folhagem e de raízes, como resultado da aplicação de fertilizantes tem, sem dúvida, grande influência na conservação e restauração parcial da estrutura. Isto significa que, embora o efeito direto de adubos sobre a agregação não tenha sido constatado com rigor, o efeito indireto pode ser observado e explicado pelos efeitos do crescimento do sistema radicular e das adições de matéria orgânica. Isto significa que o efeito indireto dos fertilizantes sobre a estrutura do solo é indiscutível.

O efeito indireto de fertilizantes sobre a agregação requer considerações adicionais, pois, a utilização de adubos visando esse efeito, pode resultar num aumento da concentração salina da solução do solo. Sabe-se que a concentração salina pode se constituir num fator limitante da produção agrícola. Experiências conduzidas nos EUA por WHITE e ROSS (1936), WHITE e ROSS (1939) e RADER *et alii* (1943) revelam que, para uma mesma quantidade de nutrientes (N , P_2O_5 e K_2O), os adubos fosfatados exercem pouca ou nenhuma ação sobre a pressão osmótica da solução do solo, enquanto os adubos nitrogenados e potássicos apresentaram os maiores efeitos. Tais experiências mostram, ainda, que a pressão osmótica da solução do solo aumenta linearmente com a quantidade de sais aplicada. Esta pressão osmótica está estreitamente relacionada com o desenvolvimento das plantas.

De acordo com o LABORATÓRIO DE SALINIDADE DOS EUA (1974, p. 8), quando se investiga a salinidade do solo com relação ao desenvolvimento da planta, recomenda-se usar a condutividade elétrica do extrato de saturação (CEs) para avaliar a pressão osmótica da solução do meio. A vantagem especial deste método de medida da salinidade se deve ao fato de que o teor de água do solo saturado está diretamente relacionado com os distintos valores da umidade de campo. As determinações feitas em muitos solos indicam que, dentro de uma ampla margem de texturas, o teor de água de um solo saturado é duas e quatro vezes maior do que os teores revelados pelo mesmo solo quando nos limites superior e inferior da água disponível, respectivamente. Assim, quando na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente, a concentração salina da solução do solo será, respectivamente, duas e quatro vezes maior do que aquela revelada pelo extrato de saturação. Dentro da variação de valores da CEs, que permite o desenvolvimento de plantas, a relação $P_0 = 0,3 \times \text{CEs}$ (CEs = mmhos/cm, a 25°C) pode ser usada para estimar a pressão osmótica da solução do solo, desde que se conheça a sua condutividade elétrica.

HAYWARD e WADLEIGH (1949) mostraram que a tolerância ao sal varia de planta para planta, e para uma mesma planta depende da fase do seu ciclo biótico, isto é, germinação, crescimento vegetativo, maturação e frutificação.

Estas considerações são oferecidas em virtude de já se haver observado, como discutido anteriormente, aplicações de vinhaça visando a incorporação de nutrientes ao so-

lo. Percebe-se que a utilização da vinhaça visando a adição de N , nas dosagens usuais de adubação de cana, leva ao solo uma excessiva quantidade de K^+ que pode resultar em efeitos in desejáveis devido à elevação da concentração salina da solução do solo.

2.4 - A Compactação do Solo Relacionada com o Crescimento das Plantas

Um dos objetivos deste trabalho é verificar o efeito do trânsito de um caminhão condutor de vinhaça sobre a estrutura do solo. Evidentemente, tratando-se de aplicação de pressão, admite-se, como efeito, uma modificação na porosidade em consequência do fenômeno denominado "compactação". É oportuno, portanto, considerar alguns estudos que tratam dos efeitos da compactação sobre os solos e as plantas.

As investigações de MUSGRAVE e FREE (1936) proporcionaram dados básicos sobre as relações entre a condição da superfície do solo e a infiltração da água. Estes autores verificaram que, num tempo de 15 minutos, as taxas de infiltração da água para um solo limoso a) no estado natural , b) lavrado a 10 cm de profundidade e c) lavrado a 15 cm de profundidade, foram de 22 , 45 e 47 mm , respectivamente. Isto significa que a descompactação da superfície do solo e a manutenção de uma elevada porosidade, permitem uma rápida entrada de água no terreno, reduzindo as perdas por escoamento superficial. NEAL (1937) demonstrou que a condição da su-

perfície do solo, no início das chuvas, é um fator de grande importância na determinação da erosão e das perdas de água por enxurrada. Os dados apresentados por esse autor revelam que um solo (8% de declive) com superfície endurecida perdeu cerca de 84% do total da água recebida, enquanto que no solo descompactado esta perda foi de 39% . O deflúvio nas superfícies, compactada e descompactada, ocorreu aos 4 e 23 minutos após o início da chuva, respectivamente.

A aeração e o impedimento mecânico são os principais fatores que limitam o desenvolvimento de um sistema radicular em um solo compactado. É difícil, entretanto, separar os efeitos da deficiência de aeração dos provocados pelo impedimento mecânico, pois, os dois são afetados pelo aumento da densidade aparente em consequência da compactação do solo.

Experiências conduzidas no campo têm revelado que o solo exerce um papel importante na penetração de raízes. WIERSUM (1957) investigando a capacidade de raízes jovens de aveia penetrarem poros de diversos diâmetros e grau de rigidez, verificou que tais raízes só penetram poros cujos diâmetros são maiores do que aqueles das raízes muito jovens. A plasticidade da ponta das raízes jovens de gramíneas não lhes permite contração suficiente para penetração em um poro estreito. Isso é ilustrado por HUMBERT (1974) com uma fotografia onde se vêem raízes de cana-de-açúcar mudarem de direção ao atingirem uma camada de solo compactado. Em alguns casos, porém, como salientou WIERSUM (1957), se a plasticidade e a

densidade do solo assim o permitirem, a raiz pode exercer pressão suficiente para afastar as paredes dos poros e neles penetrar.

A interação entre os efeitos da aeração do solo, teor de umidade e impedimento mecânico, sobre o desenvolvimento radicular, foi investigada por Eavis (1970), citado por BAVER *et alii* (1973, p. 230). Os resultados mostram que apenas a aeração e o teor de umidade limitam o crescimento das raízes em um solo de baixa densidade aparente (condição física ótima: densidade aparente = $1,0 \text{ g/cm}^3$). Os efeitos da falta de aeração foram mais evidentes quando o potencial matricial do solo era menor do que 100 cm de coluna d'água. Acima deste potencial, a restrição ao crescimento das raízes deveu-se, principalmente, ao impedimento mecânico, que adquire importância à medida que aumenta a densidade aparente e/ou diminui o teor de umidade do solo, devido ao aumento da rigidez dos poros.

Para uma mesma planta, a densidade aparente crítica varia de solo para solo. Para o caso específico da cana-de-açúcar isto foi claramente demonstrado por Trowse (1961), conforme se vê em HUMBERT (1974, p. 83 a 87).. Em solos férteis e profundos, com boas propriedades físicas, o sistema radicular se desenvolveu até profundidades superiores a um metro. Por outro lado, em solos compactados, com aeração deficiente, o sistema radicular mostrou-se praticamente desprovido de ramificações secundárias.

De acordo com HUMBERT (1974), a introdução do cultivo mecanizado na indústria açucareira do Hawaí durante a Segunda Guerra Mundial, quando a mão-de-obra se escasseou, teve como consequência problemas de compactação à medida que e-quipamentos grandes e pesados passaram a operar dentro dos canaviais. Os rendimentos de açúcar declinaram com o aumento do número de vezes que os campos haviam sido cultivados mecanicamente. Verificou-se, então, que a diminuição do rendimento estava relacionada com a deterioração da estrutura do solo.

Trouse (1967), citado por HUMBERT (1974, p. 22 e 82) estudou, em canaviais, a compactação do solo por equipamentos pesados e verificou que um "tornahaulers" (caminhão gigante com carga de 25 a 40 t.) exerce uma pressão equivalente a 6 kg/cm^2 sobre o solo. Cada vez que tal caminhão passa sobre uma faixa de terra pode causar compressão superficial suficiente para impedir o desenvolvimento das raízes. O grau e a profundidade de compactação aumentaram de incrementos de-crescentes, com cada passagem adicional do caminhão, até que o aumento se mostrou insignificante. De acordo com o autor, quando o solo está seco se compacta a uma profundidade de a-proximadamente 12 a 15 cm; em solo úmido tal compactação a-tinge profundidades maiores do que 50 cm. Os rastos do caminhão, no interior do campo, revelaram uma compactação de até 20% da área, concorrendo para redução de até seis toneladas por hectare no rendimento de açúcar.

Diante do que foi exposto neste capítulo, fica claro que o solo, como meio de crescimento das plantas, deve proporcionar um bom ambiente para a germinação da semente, emergência da plântula e formação e funcionamento do sistema radicular. Portanto, além dos nutrientes necessários para os processos metabólicos, o solo também deve proporcionar um regime favorável de água e de ar para os vegetais. Em muitos casos a absorção de nutrientes presentes no meio está limitada pela falta ou excesso de água, deficiência de oxigênio e insuficiente proliferação das raízes, devido a impedimentos mecânicos (compactação do solo, por exemplo) que impedem o seu crescimento. A estrutura desfavorável do solo é portanto um fator limitante da produção agrícola.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

O estudo ora proposto envolveu duas etapas distintas: trabalhos no campo e no laboratório. Os trabalhos no campo foram executados na Fazenda São Luiz, pertencente à Usina Victor Sence, situada na zona canavieira do Município de Conceição de Macabu, RJ. Os trabalhos de laboratório foram conduzidos na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), situada no Km 47 da antiga rodovia Rio-São Paulo, no Município de Itaguaí, RJ.

3.1 - Trabalhos no Campo

3.1.1 - Solo, aração e gradagem

Os trabalhos no campo foram iniciados a 20 de junho de 1978 com a aração e gradagem numa área de terra representativa da Usina supracitada. Tal área localiza-se na gleba denominada "baixada dos patos", distante cerca de 2.600 metros da rodovia Br 101, e aproximadamente 300 m à direita da linha férrea que atravessa o asfalto em direção à Usina — estrada para Macabuzinho (Figura 1).

Trata-se de um terreno plano com drenagem moderada e produtividade média. O solo foi clasificado por GONDIM (1974) como Aluvial, apresentando as seguintes características:

- 0 - 20 cm - bruno acinzentado escuro (10 YR 4/2) ; franco-argilo-arenoso / argila ; fraca a moderada, pequena granular ; pegajoso, ligeiramente plástico.
- 20 - 30 cm - bruno amarelado (10 YR 5/4) ; franco / argila ; fraca , pequena, granular ; pegajoso, plástico.

A profundidade da aração foi de aproximadamente 25 cm , tal qual se faz naquela Usina; por esta razão a descrição do solo foi considerada até a profundidade de 30 cm.

No presente trabalho o autor se preocupou em seguir fielmente as práticas agrícolas comumente usadas na Usina Victor Sence.

Fig.1 - Localização da área experimental na Usina Victor Sence, Município de Conceição de Macabu, Estado do Rio de Janeiro.

3.1.2 - Esquema experimental

No terreno previamente arado e gradeado foram delimitadas oito faixas de 6,0 m de largura por 20,0 m de comprimento, separadas entre si por uma distância de 3,0 m. O comprimento das faixas ou parcelas (20,0 m) foi arbitrado; entretanto, sua largura (6,0 m) correspondeu à largura da faixa coberta pela vinhaça quando da aplicação com o caminhão (detalhes sobre o caminhão e processo de aplicação da vinhaça serão discutidos adiante), conforme mostra a Figura 2. Cada uma dessas faixas recebeu uma dose diferente de vinhaça: 0, 60, 120, 180, 240, 300, 360 e 420 m³/ha. As doses de vinhaça foram arbitradas adotando-se como dosagem mínima os 60 m³/ha usualmente aplicados nas terras da Usina.

Sete dias após a completa distribuição da vinhaça, quando o solo apresentava condições para tal, cada faixa ou parcela recebeu a segunda operação de aração e gradagem (incorporação da vinhaça aplicada).

3.1.3 - Vinhaça utilizada

Para o experimento em questão, foi utilizada a vinhaça resultante da fabricação do butanol a partir do caldo de cana enriquecido com nitrogênio e fósforo, disponível e em uso na Usina por ocasião da instalação do ensaio. Na Tabela 2, encontram-se os dados analíticos desse material e a quantidade (kg) dos componentes da vinhaça aplicados por hectare nos diversos tratamentos do experimento.

Fig. 2 - Esquema da disposição das parcelas experimentais no campo, com indicação das respectivas dosagens de vinhaça aplicada por hectare.

TABELA 2 - Composição química da vinhaça utilizada no experimento e quantidade (kg) dos componentes aplicada por hectare, para os diversos tratamentos (*)

Componente	mg/l	kg/m ³	Tratamentos = (kg/ha)							
			1	2	3	4	5	6	7	8
Sólidos Totais	22.940,0	22,940	-	1.376,4	2.752,8	4.129,2	5.505,6	6.882,0	8.258,4	9.634,8
Mat. Orgânica	17.992,0	17,992	-	1.079,5	2.159,0	3.238,6	4.318,1	5.397,6	6.477,1	7.556,6
C	10.400,0	10,400	-	624,0	1.248,0	1.872,0	2.496,0	3.120,0	3.744,0	4.368,0
N - Total	1.040,0	1,040	-	62,4	124,8	187,2	249,6	312,0	374,4	436,8
N - NH ₃	613,0	0,613	-	36,8	73,6	110,3	147,1	183,9	220,7	257,5
N - NO ₃	21,0	0,021	-	1,3	2,6	3,8	5,0	6,3	7,6	8,9
P - Total	21,0	0,021	-	1,3	2,6	3,8	5,0	6,3	7,6	8,9
K ⁺	840,0	0,840	-	50,4	100,8	151,2	201,6	252,0	302,4	352,8
Ca ⁺⁺	48,0	0,048	-	2,9	5,8	8,7	11,5	14,4	17,3	20,2
Mg ⁺⁺	38,0	0,038	-	2,3	4,6	6,9	9,1	11,4	13,7	16,0
Fe ⁺⁺	63,0	0,063	-	3,8	7,6	11,3	15,1	18,9	22,7	26,5

(*) Dados oriundos de um trabalho de pesquisa sobre a caracterização química das vinhaças do Estado do Rio de Janeiro, ainda não publicado, fornecidos gentilmente pelos autores Adilson Leite Gr_{ato} e Ary Carlos Xavier Velloso, ambos professores da UFRRJ.

3.1.4 - Processo de aplicação da vinhaça

O processo utilizado para a aplicação da vinhaça foi o mesmo adotado na Usina Victor Sence: distribuição à lanço do resíduo "in natura" e quente, por meio de um caminhão "pipa", apropriado para tal fim, com capacidade para transportar 8 m^3 de vinhaça (Figura 3).

Na sede da Usina o caminhão é abastecido, por bombeamento, de um tanque de alvenaria que recebe a vinhaça quente ($\pm 90^\circ\text{C}$) diretamente das dornas de destilaria. O caminhão transporta a vinhaça para as áreas cultivadas onde, trabalhando em marcha lenta ($\pm 10 \text{ km/h}$), lança-a sobre o solo. Durante a distribuição da vinhaça a pressão do tanque ($0,35 \text{ kg/cm}^2$) permanece constante.

Na parte posterior do tanque do caminhão encontra-se um tubo para drenagem da vinhaça (Figura 4); distante alguns centímetros da boca desse tubo está acoplado um disco metálico (b) com inclinação regulável (c). Ao se abrir o tubo de drenagem a vinhaça (sob pressão) incide violentamente sobre o disco e se espalha em forma de "leque" (Figura 3), cuja abertura depende da inclinação do disco espalhador.

Fig. 3 - Detalhe da aplicação da vinhaça: na Usina Victor Sence a vinhaça é aplicada por meio de um caminhão "pipa" apropriado para tal fim. Conduzindo um tanque com capacidade para $8,0 \text{ m}^3$, o caminhão transporta a vinhaça da sede da Usina para as áreas cultivadas onde, trabalhando em marcha lenta, lança o resíduo "in natura" e quente sobre o solo (o peso do caminhão carregado é de aproximadamente 12,0 t).

Fig. 4 - Detalhe da drenagem do tanque de vinhaça: Na parte posterior do tanque está o tubo de saída da vinhaça (a); na frente deste tubo encontra-se um disco metálico (b) com parafuso regulador da inclinação (c). Ao se abrir o dreno do tanque a vinhaça incide violentamente sobre o disco, espalhando-se em forma de "leque".

3.1.5 - Cálculo da vazão do tanque do caminhão por unidade de área

Para se calcular quanta vinhaça por unidade de área o caminhão despeja em cada faixa do seu percurso, optou-se por um teste de campo que, além de ser de fácil execução, fornece informações que correspondem às condições de solo e topografia. O teste foi feito da seguinte maneira: numa área com características semelhantes aquela do experimento estabeleceu-se uma fila de pequenas estacas em linha reta; deslocando-se o caminhão sobre essa linha, espalhou-se a vinhaça numa faixa uniforme até a completa drenagem do tanque. O cálculo da área irrigada foi feito pela seguinte expressão:

$$A = C \times \bar{L} ,$$

onde,

A = área irrigada por carga do caminhão ($8,0 \text{ m}^3$ de vinhaça);

C = comprimento do percurso necessário para drenar toda a vinhaça do tanque;

$\bar{L}$ = média aritmética da largura da faixa irrigada (trata-se da média das larguras tomadas em vários pontos do comprimento do percurso).

Tal procedimento é válido porque o caminhão trabalha com pressão e velocidade constantes. Assim, cada vez que o caminhão passa por uma determinada faixa do terreno despeja uma quantidade de vinhaça por hectare, calculada pela seguinte expressão:

$$X \text{ m}^3 / \text{ha} = \frac{80.000}{A} ,$$

onde:

X = quantidade de vinhaça aplicada por hectare;

A = área irrigada com 8,0 m³ de vinhaça (carga do tanque).

Para as condições da área do experimento em questão, chegou-se ao seguinte resultado: C = 220,0 m, L = 6,0 m e, conseqüentemente, A = 1.320,0 m² e X = 60 ± 3 m³/ha. A variação de 3 m³/ha, observada para o valor de X, foi considerada desprezível.

Para cálculos dessa natureza, aconselha-se o teste de campo, pois a quantidade de vinhaça despejada pelo caminhão numa determinada área depende de fatores locais, a saber:

a - Condições do solo

Em áreas previamente aradas e gradeadas, úmidas e de relevo irregular, o caminhão trabalha um pouco mais lentamente do que em áreas de terreno firme e plano. No primeiro caso, o percurso necessário para a completa drenagem do tanque (valor C) diminui. Assim, sendo o "valor L" constante, a quantidade de vinhaça aplicada por unidade de área aumenta, pois o "valor A" decresce;

b - Direção do vento

Quando o caminhão trabalha em sentido perpendicular à direção do vento a largura da faixa (valor L) aumenta. Neste caso, para um mesmo comprimento de percurso (valor C), a

quantidade de vinhaça por unidade de área diminuirá devido ao aumento do "valor A".

Além dos fatores considerados, deve-se também as segurar uniformidade na pressão e vazão do tanque, na velocidade e percurso do caminhão e na inclinação do disco espalhador.

3.1.6 - Instalação das parcelas experimentais

Cada parcela experimental foi demarcada após a primeira aplicação de vinhaça, numa extensão de 40 m (Figura 5). As parcelas foram delimitadas pela largura da faixa molhada (6,0 m) e 20,0 m do comprimento (desprezou-se cerca de 10,0 m em cada extremidade das faixas irrigadas). A parcela sem vinhaça foi demarcada à parte.

Conforme os cálculos apresentados no item anterior, sabia-se, então, que a cada passagem do caminhão, sobre uma mesma faixa do terreno, despejava-se 60 m^3 de vinhaça por hectare. Assim, para completar os tratamentos correspondentes a 60 , 120 , 180 , 240 , 320 , 380 e $420 \text{ m}^3/\text{ha}$, o caminhão passou 1 , 2 , 3 , 4 , 5 , 6 e 7 vezes sobre a mesma parcela, respectivamente.

Não foi possível aplicar, num mesmo dia, mais do que $180,0 \text{ m}^3/\text{ha}$ (três passagens sucessivas sobre uma mesma faixa), pois o solo, muito molhado, dificultou o trabalho do caminhão (Figura 6). Por este motivo, os tratamentos 5 , 6 , 7 e 8 só foram completados oito dias após, quando o solo se apresentava relativamente seco.

Fig. 5 - Detalhe da instalação da parcela experimental: Para a instalação das parcelas experimentais, o motorista foi orientado para conduzir o caminhão em faixas uniformes e adjacentes, com aproximadamente 40,0 m de comprimento e distantes 3,0 m entre si. Sobre cada faixa demarcou-se uma parcela útil de 6,0 m x 20,0 m. Nota-se o caminhão pronto para irrigar a faixa subsequente.

Fig. 6 - Detalhe da faixa compactada: A foto mostra o estado da parcela experimental após três aplicações sucessivas de vinhaça ($180 \text{ m}^3/\text{ha}$). Nesta situação o caminhão derrapava sobre o seu rasto anterior (alargando a faixa compactada) e atolava nas depressões do terreno deixadas pelo arado e acentuadas pelo seu peso.

3.1.7 - Período de "incubação" e amostragem do solo

Foram estabelecidos períodos de 60 e 120 dias entre a incorporação da vinhaça e a primeira e a segunda amostragem do solo para estudos de laboratório. Tais períodos foram escolhidos com base em dados apresentados por THOMPSON e TROEH (1973, p. 248-258), relativos à decomposição da matéria orgânica em função do tempo, admitindo-se que um desses períodos seria suficiente para que ela exercesse a sua possível ação modificadora sobre a estrutura do solo.

Durante os períodos supracitados, as parcelas foram mantidas sem vegetação, pois, nesta oportunidade, procurou-se estudar o efeito direto da vinhaça sobre algumas propriedades físicas do solo.

Todas as amostras de terra, deformadas e indeformadas, destinadas aos estudos de laboratório, foram coletadas, ao acaso, dentro de cada parcela. A amostragem do solo limitou-se aos primeiros 25,0 cm superficiais por se tratar da camada que mais sofre modificações nas suas propriedades físicas, químicas e biológicas, devido ao manejo.

3.2 - Trabalhos no Laboratório

3.2.1 - Estudo sobre compactação do solo

Para se estudar a compactação do solo, causada pelo trânsito do caminhão sobre a área coberta com vinhaça, foram coletadas, de cada parcela, entre e no rasto dos pneus, amostras de terra indeformadas. Na coleta das amostras foram utilizados anéis volumétricos, tipo Kopecky, com volume de $144,21 \text{ cm}^3$. Cada amostra coletada foi acondicionada em recipientes plásticos e bem vedados para se evitar a perda de água por evaporação. Os cálculos da densidade aparente do solo e da umidade gravimétrica atual foram computados para cada amostra.

3.2.2 - Análises químicas das amostras de terra

A fim de avaliar a translocação dos componentes sólidos da vinhaça no solo, foram coletadas de cada parcela, para análises químicas, amostras de terra nas profundidades de 0 - 5 cm, 5 - 25 cm e 25 - 45 cm. Também foram analisadas amostras de terra retiradas da profundidade de 0 - 25 cm, aos 60 e 120 dias após a incorporação da vinhaça.

Todas as análises químicas foram feitas de acordo com os métodos propostos por VETTORI (1969).

3.2.3 - Condutividade elétrica do extrato de saturação

Neste estudo também foram utilizadas amostras de terra coletadas de cada parcela, em diferentes profundidades e épocas: 0 a 5 cm e 5 a 25 cm , oito dias após a aplicação da vinhaça (antes da incorporação) e 0 a 25 cm , aos 60 e 120 dias após a incorporação.

A condutividade elétrica do extrato de saturação foi medida com um aparelho denominado "ponte de leitura direta", com correção automática de temperatura.

O teor de água da pasta de terra utilizada foi de aproximadamente 31% para todas as amostras.

Para maiores esclarecimentos sobre a determinação da condutividade elétrica do extrato de saturação, consultar os métodos 3.a e 4.b propostos pelo LABORATÓRIO DE SALINIDADE (1974, p. 89-97).

3.2.4 - Determinação da densidade das partículas do solo

A densidade das partículas do solo foi determinada pelo método do picnômetro. O estudo foi feito em triplicata. Para maior detalhe sobre o processo consultar BLAKE (1965) e modificações propostas por MARCOS *et alii* (1965).

3.2.5 - Análise granulométrica e grau de floculação

A análise granulométrica foi feita pelo método da pipeta, adotando-se a seguinte sequência analítica: quantidades de TFSA, correspondentes a 10 g de TFSE, foram colocados em garrafas de vidro cilíndricas com capacidade de 500 ml, juntamente com 10 ml de NaOH 1 N e 150 ml de água destilada; após 16 horas de agitação num agitador recíproco horizontal, regulado para 150 oscilações por minuto, completou-se o volume da suspensão para 450 ml; todas as garrafas foram então colocadas num tanque d'água para a homogenização da temperatura; em seguida agitou-se a suspensão com um agitador de haste vertical por um minuto e marcou-se o tempo inicial de sedimentação - calculado de acordo com a Lei de Stokes; decorrido o tempo de sedimentação foram feitas as devidas leituras para limo + argila e para argila. Cada uma destas alíquotas pipetadas foi levada à estufa a 105°C e posteriormente pesadas. A areia foi obtida por tamisagem (após a pipetagem da argila) e separada de acordo com a escala proposta pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA).

Para determinação da argila natural adotou-se essa mesma sequência analítica omitindo-se, naturalmente, o agente dispersante.

A classe textural foi determinado segundo o sistema proposto pelo USDA, e o grau de floculação pela seguinte expressão:

$$G F = 100 \frac{A_t - A_n}{A_t}$$

onde,

GF = grau de floculação;

At = argila total dispersa com NaOH 1 N ;

An = argila natural dispersa em água.

O método e os aparelhos utilizados na análise granulométrica foram semelhantes aqueles estabelecidos e muito bem ilustrados por PAULETTO (1978). Detalhes sobre o método da pipeta são apresentados por DAY (1965).

3.2.6 - Retentividade da água no solo

A fim de se estudar a relação entre teor de umidade e energia de retenção, foram determinados os teores de umidade de amostras de terra tratadas com vinhaça e em equilíbrio com tensões de 0 , 10 , 100 , 1.000 , 5.000 e 10.000 centímetros de coluna d'água (c.c.a.).

A umidade gravimétrica, em equilíbrio com a força de sucção correspondente a 10 c.c.a., foi determinada através da mesa de tensão, utilizando-se as mesmas amostras de terra indeformadas destinadas ao estudo da porosidade do solo.

A determinação da umidade gravimétrica de amostras, em equilíbrio com as tensões correspondentes a 100 , 1.000 , 5.000 e 10.000 c.c.a., foi feita através da panela e placa de pressão, conforme as recomendações de RICHARDS (1965).

Os teores de umidade gravimétrica foram calculados pela seguinte expressão:

$$U_g \% = \frac{(P_u - P_s) \cdot 100}{P_s} ,$$

onde,

$U_g \%$ = percentagem de umidade gravimétrica ;

P_u = peso úmido das amostras após equilíbrio com as respectivas tensões;

P_s = peso de terra seca a 105°C .

3.2.7 - Porosidade do solo

Para o estudo da porosidade do solo foram coletadas, de cada parcela, três amostras indeformadas, utilizando-se um extrator semelhante àquele usado por UHLAND (1949). A introdução do extrator no solo foi feita de modo que cada amostra contida no cilindro fosse retirada da camada de 10 a 18 cm , aproximadamente.

No laboratório, as amostras foram colocadas em uma bandeja com água até dois centímetros aquém da extremidade superior do cilindro, durante 24 horas para saturação. Cada amostra saturada foi pesada visando-se o cálculo da porosidade total. Para a determinação da macro e microporosidade, as amostras saturadas foram colocadas sobre uma mesa de tensão e submetidas durante 26 horas, a uma força de sucção correspondente a 60 cm de coluna d'água. Para detalhes sobre a descrição, montagem e princípio de funcionamento da mesa de tensão, consultar LEAMER e SHAW (1941).

Todos os cálculos foram feitos com base no trabalho apresentado por OLIVEIRA (1968). A porosidade total determinada foi obtida pela seguinte expressão:

$$\% Pd = \frac{(Psa - Ps) \cdot 100}{VT} ,$$

onde,

Pd = porosidade total determinada;

Psa = peso da terra saturada;

Ps = peso da terra seca a 105°C;

VT = volume total do cilindro.

A microporosidade foi calculada pela seguinte expressão:

$$\% Mi = \frac{(Pu - Ps) \cdot 100}{VT} ,$$

onde,

M_i = microporosidade;

Pu = peso da terra úmida após 26 horas na mesa de tensão;

Ps = peso da terra seca a 105°C ;

VT = volume total do cilindro.

A macroporosidade foi obtida pela diferença entre a porosidade total determinada (Pd) e a microporosidade (Mi).

A porosidade total calculada foi obtida pela seguinte expressão:

$$\% Pc = \frac{(Dr - Dap) \cdot 100}{Dr} ,$$

onde,

Pc = porosidade total calculada;

Dr = densidade das partículas do solo;

Dap = densidade aparente do solo.

A quantidade de poros bloqueados foi obtida pela diferença entre a porosidade total calculada (P_c) e a porosidade total determinada (P_d).

3.2.8 - Densidade aparente do solo

Utilizando-se as mesmas amostras de terra destinadas ao estudo da porosidade, discutido no item anterior, determinou-se a densidade aparente do solo pela seguinte expressão:

$$D_{ap} = \frac{P_s}{V_T} ,$$

onde,

D_{ap} = densidade aparente do solo;

P_s = peso do solo seco a 105°C ;

V_T = volume total do cilindro.

3.2.9 - Condutividade hidráulica

A condutividade hidráulica do solo (K_s) foi medida diretamente em amostras de terra indeformadas, coletadas em número de quatro por parcela. A metodologia utilizada, tanto na amostragem quanto na saturação das amostras, foi semelhante aquela descrita no item 3.2.7 deste trabalho.

A cada cilindro contendo a amostra de terra saturada, foi acoplado um outro cilindro vazio, de igual diâmetro, e com dois centímetros de altura (carga hidráulica), uni-

dos entre si por uma fita plástica adesiva. Para evitar o fluxo de água entre a amostra e a superfície interna do cilindro, revestiu-se a extremidade superior da amostra (em volta da interface terra - cilindro) com parafina fundida. Então, utilizando-se um permeâmetro da carga constante (Figura 7) mediu-se o volume de água que passou através da amostra durante 15 minutos. Essa operação foi repetida seis vezes, verificando-se a constância do volume de água percolada. O cálculo da condutividade hidráulica foi feito de acordo com a Lei de Darcy.

O permeâmetro de carga constante, utilizado no presente trabalho, foi construído na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, pelo autor, copiando modelo fornecido gentilmente pelos Doutores Toshiaki Kinjo e Zilmar Ziller Marcos, ambos professores da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Por se tratar de um aparelho simples, muito prático e útil, é apresentada, a seguir, a sua descrição sumária, cujo esquema é mostrado na Figura 8.

- 1 e 2) Tubos de plástico flexível, com aproximadamente 1,0 cm de diâmetro, para a entrada e saída de água, respectivamente;
- 3) Recipiente de plástico rígido e transparente (com nível de água constante) acoplado ao tubo condutor de água para as amostras (7) ;

Fig. 7 - Permeâmetro de carga constante construído para 16 amostras (oito de cada lado do tubo condutor). Note-se o recipiente de nível constante na extremidade do tubo condutor.

Fig. 8 - Detalhe do permeâmetro de carga constante, visto de frente (A) e de lado, no sentido do comprimento (B).

- 4) Cilindro de alumínio de dois centímetros de altura (carga hidráulica) acoplado ao cilindro contendo a amostra de terra indeformada (6) e unidos entre si por uma fita adesiva impermeável (5) ;
- 5) Fita adesiva impermeável (fita plástica isolante);
- 6) Cilindros de alumínio com 8,3 cm de altura e 6,9 cm de diâmetro (podem ser de qualquer dimensão) contendo as amostras de terra;
- 7) Tubos de plástico rígido, com 4,0 cm de diâmetro, para conduzir água até as amostras de terra. Uma das extremidades deste tubo está acoplada ao nível de água (3) e a outra está fechada;
- 8) Sifão de tubos de vidro de 0,6 cm de diâmetro (ver de talhe na Figura 8.b) que possibilita o nível constante da carga hidráulica (4). A curva inferior do sifão está colada no tubo condutor (7) e a curva superior acha-se conectada à inferior por meio de um anel de tubo plástico flexível (14) ;
- 9) Tela de nylon de 2,0 mm de malha para facilitar o escoamento da água percolada;
- 10) Tubo de vidro 0,6 cm de diâmetro colado no suporte (13) e conectado a um tubo plástico flexível de igual dimensão (11), para a condução da água percolada até o frasco receptor (12);
- 11) Tubo de plástico flexível;
- 12) Frascos de vidro (um litro) para receber a água percolada;

- 13) Suporte de madeira de 2,0 cm de espessura, para sustentar o conjunto de cilindros. O bordo superior de cada cilindro está nivelado com a altura d'água no tubo condutor;
- 14) Anel de tubo plástico flexível para ligar as curvas superior e inferior do sifão.

Funcionamento do aparelho:

Retirando-se a curva superior de cada sifão, coloca-se as amostras saturadas sobre a mesa do permeâmetro de modo que o bordo superior do cilindro esteja no mesmo nível da água dentro do tubo condutor (Figura 7) ; repõe-se então a curva superior do sifão de modo que a curva fique apoiada sobre o bordo do cilindro ; abre-se a entrada de água do sistema. Neste momento todas as garrafas receptoras, enumeradas , devem estar nas devidas posições. O tempo zero de percolação será considerado quando todos os cilindros apresentarem a carga hidráulica no nível máximo. Deve-se cuidar para que antes do início da percolação todos os frascos receptores estejam vazios. No tempo previsto para a leitura do primeiro percolado cada frasco coletor é substituído por outro (igualmente enumerado) para receber o segundo percolado e assim sucessivamente até o final da operação, conforme técnica descrita por KLUTE (1965) e FORSYTHE (1975).

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Efeito do Trânsito do Caminhão sobre a Compactação do Solo

Os resultados obtidos neste estudo encontram-se na Tabela 3. O valor obtido para a densidade real do solo e utilizado no cálculo da porosidade total calculada, foi de $2,60 \text{ g/cm}^3$ (média de três repetições).

Convém lembrar que não foi possível completar todos os tratamentos num mesmo dia, pois o solo muito molhado dificultou o trabalho do caminhão. Os tratamentos 5, 6, 7 e 8 só foram completados sete dias após, o que resultou em maior umidade nestas parcelas no dia da amostragem.

TABELA 3 - Valores da densidade aparente, porosidade total calculada e umidade gravimétrica atual, obtidos com amostras de terra indeformadas, retiradas entre e no rasto do caminhão, sete dias após a completa aplicação da vinhaça (média de duas repetições).

Vinhaça (m ³ /ha)	Número de pas- sagens do caminhão	Profundidade de amostragem = 4 a 10 cm					
		Densidade apa- rente (g/cm ³)		Porosidade to- tal (Pc %)		Umidade atual (Ug %)	
		Entre rasto	No rasto	Entre rasto	No rasto	Entre rasto	No rasto
0	-	1,44	-	45	-	14,31	-
60	1	1,37	1,60	48	39	12,75	10,56
120	2	1,39	1,66	47	37	13,23	9,67
180	3	1,43	1,70	45	35	11,86	9,81
240	4	1,37	1,70	48	35	13,74	10,18
300	5	1,37	1,79	48	32	13,05	11,45
360	6	1,40	1,72	47	34	14,58	11,10
420	7	1,27	1,65	52	37	14,90	11,16

Densidade real (Dr) = 2,60 g/cm³

Comparando-se os valores da densidade aparente do solo ($D_{ap} = g / cm^3$), entre e no rasto do caminhão percebe-se claramente o efeito de compactação, pois a densidade aparente foi sempre maior nas amostras obtidas no rasto, indicando um arranjo mais cerrado das partículas do solo. Estes valores também revelam que a compactação aumentou com a quantidade de vinhaça aplicada até a dosagem de $300 m^3/ha$. Tal efeito está relacionado ao número de vezes que o caminhão transitou sobre uma mesma faixa para completar cada tratamento.

Uma possível explicação para o aumento da densidade aparente com a dosagem de vinhaça aplicada, e tendência a decréscimo a partir do tratamento 6 ($360 m^3/ha$), seria o efeito da interação entre compressão e grau de umidade. Sabe-se que, com o aumento progressivo da umidade, uma mesma presão aplicada sobre o solo provoca um aumento na densidade aparente, até um valor máximo para um determinado grau de umidade, acima do qual tende a decrescer (ASTM, 1971).

Os dados da Tabela 3 revelam, como era de se esperar, que a compactação provocou uma redução no volume total de poros ($P\%$ no rasto), afetando a infiltração e armazenamento da água, como é indicado pelos dados relativos à umidade atual no rasto ($U_g \%$). Isto também pode ser visto na Figura 6, que mostra que a vinhaça aplicada escorre para as depressões do terreno, indicando alteração na capacidade de infiltração do solo. Estes efeitos ocorrem em toda a faixa de trânsito do caminhão (rastos) que, nas parcelas experimentais de 6,0 cm de largura, variou de 17% a 25% da área coberta com

vinhaça. Tal variação corresponde aos tratamentos que exigiram menor e maior trânsito, conforme se vê nas Figuras 5 e 6, respectivamente.

Quando o solo seca a faixa compacta apresenta uma crosta que prejudica a aeração do solo e aumenta a rigidez dos poros da camada superficial, podendo dificultar o crescimento das raízes e o desenvolvimento da planta. Trouse (1961), citado por HUMBERT (1974, p. 86), estudando o comportamento da cana-de-açúcar, em solo com diferentes graus de compactação, verificou que as raízes desta planta não cresceram quando um solo aluvial, semelhante ao utilizado neste estudo, foi compactado até uma densidade aparente crítica igual a $1,52 \text{ g/cm}^3$.

No caso da Usina Victor Senece, deve ser levado em consideração o seguinte: quando se usa vinhaça como adubo para a cana planta a compactação do solo, devido ao trânsito do caminhão, não demanda maiores preocupações, pois a vinhaça é aplicada justamente antes da segunda operação de aração e gradagem. Entretanto, tal fato assumirá importância considerável quando a vinhaça for aplicada sobre a cana soca. Nesse caso, fica evidente a necessidade de escarificação da faixa compactada, principalmente em se tratando de relevo ondulado (predominante naquela usina), a fim de se evitar as perdas de água e terra por deflúvio superficial.

Conclui-se, do exposto, que o trânsito do caminhão condutor de vinhaça sobre a área de cultivo concorreu para a compactação do solo e que este efeito aumentou com a quan

tidade de vinhaça aplicada. Verificou-se que a compactação atingiu até 1/4 da área irrigada quando se aplicou uma quantidade de vinhaça igual ou maior que 180 m³/ha.

4.2 - Resultados das Análises Químicas

Oito dias após a aplicação da vinhaça, quando o solo se apresentava relativamente seco, observou-se, sobre cada parcela, a formação de uma crosta. São bem conhecidos os mecanismos envolvidos no encrostamento do solo, provocado pelo impacto direto de gotas d'água sobre a superfície do terrenos, principalmente após a aração (BAVER *et alii*, 1973, p. 232-236). Observando-se esta crosta, constatou-se que a sua cor escura mais intensa, principalmente nas parcelas que receberam as maiores doses de vinhaça, era consequência de um extraordinário desenvolvimento de fungos, em decorrência da decomposição da matéria orgânica presente. Tal fato sugeriu a possibilidade de ter ocorrido concentração dos componentes sólidos da vinhaça — matéria orgânica e íons — nos primeiros centímetros superficiais do solo. Surgiu então o interesse em se verificar a distribuição de alguns destes componentes no volume do solo irrigado e a sua possível movimentação em profundidade. Para tal foram feitas análises químicas de amostras de terra coletadas em cada parcela, em diferentes profundidades e três épocas (antes da incorporação e 60 e 120 dias após a incorporação). Os resultados destas análises estão contidas nas Tabelas 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11.

TABELA 4 - Resultados das análises químicas de amostras de terra, coletadas na profundidade de 0,0 a 5,0 cm, aos 15 dias após a aplicação da vinhaça e antes da sua incorporação no solo com o arado e grade (média de duas repetições).

Número da Parcela	Vinhaça m ³ /ha	Elementos analisados						pH (água)
		%	ppm			mE / 100 cm ³		
		C	P	K	Ca	Mg	Al	
1	0	0,70	9,0	50,0	1,0	0,4	0,5	5,0
2	60	0,74	11,0	110,0	1,0	0,9	0,1	5,7
3	120	0,78	17,0	147,0	1,1	1,0	0,0	6,1
4	180	0,84	21,0	200,0	1,0	1,0	0,0	6,3
5	240	0,89	22,0	195,0	1,0	0,9	0,0	6,4
6	300	1,00	26,0	270,0	1,2	1,0	0,0	6,2
7	360	0,84	29,0	280,0	1,0	0,9	0,0	6,7
8	420	0,93	19,0	285,0	1,1	0,9	0,0	6,6

TABELA 5 - Resultados das análises químicas de amostra de terra, coletadas na profundidade de 5,0 a 25,0 cm, aos 15 dias após a aplicação da vinhaça e antes da sua incorporação no solo com o arado e grade (média de duas repetições)

Número de Parcela	Vinhaça m ³ /ha	Elementos analisados						pH (água)
		%	ppm			mE / 100 cm ³		
		C	p	K	Ca	Mg	Al	
1	0	0,69	9,0	50,0	1,0	0,4	0,5	5,0
2	60	0,72	8,0	47,0	1,1	0,5	0,5	5,0
3	120	0,73	11,0	53,0	1,1	0,5	0,4	5,2
4	180	0,63	12,0	62,0	0,9	0,5	0,5	4,9
5	240	0,74	15,0	60,0	0,7	0,4	0,7	4,8
6	300	0,76	13,0	60,0	0,9	0,5	0,7	4,8
7	360	0,72	16,0	83,0	0,8	0,4	0,7	5,0
8	420	0,81	12,0	64,0	0,9	0,4	1,0	4,6

TABELA 6 - Resultados das análises químicas de amostras de terra, coletadas na profundidade de 25,0 a 45,0 cm, aos 15 dias após a aplicação da vinhaça e antes da sua incorporação no solo com o arado e a grade (média de duas repetições).

Número de Parcela	Vinhaça m ³ /ha	Elementos analisados						pH (água)
		%	ppm		mE / 100 cm ³			
		C	P	K	Ca	Mg	Al	
1	0	-	3,0	40,0	1,1	0,5	0,5	5,1
2	60	-	2,0	33,0	1,1	0,4	0,5	5,1
3	120	.	3,0	32,0	1,3	0,5	0,3	5,3
4	180	-	3,0	33,0	0,9	0,4	0,6	5,0
5	240	-	6,0	34,0	0,8	0,4	0,7	4,9
6	300	-	4,0	36,0	1,0	0,4	0,7	4,9
7	360	-	5,0	44,0	0,9	0,4	0,9	4,8
8	420	-	3,0	34,0	0,9	0,4	1,1	4,7

TABELA 7 - Resultados das análises químicas de amostras de terra, coletadas na profundidade de 0,0 a 5,0 cm, aos 60 dias após a incorporação da vinhaça no solo com o arado e a grade (média de duas repetições).

Número da Parcela	Vinhaça m ³ /ha	Elementos analisados						pH (água)
		%	ppm			mE / 100 cm ³		
		C	P	K	Ca	Mg	Al	
1	0	-	-	-	-	-	-	-
2	60	0,65	15,00	95,00	1,30	1,15	0,40	4,80
3	120	0,50	14,50	81,00	0,95	0,85	0,45	4,80
4	180	0,59	17,00	90,00	1,00	1,00	0,50	4,70
5	240	0,60	16,50	97,50	1,00	0,90	0,35	4,75
6	300	0,60	14,50	114,00	1,30	0,80	0,30	4,85
7	360	0,72	14,00	113,50	1,45	0,85	0,50	4,60
8	420	0,68	18,50	105,00	0,80	0,65	0,80	4,45

TABELA 8 - Resultados das análises químicas de amostras de terra, coletadas na profundidade de 5,0 a 25,0 cm, aos 60 dias após a incorporação da vinhaça no solo com o arado e a grade (média de duas repetições).

Número da Parcela	Vinhaça m ³ /ha	Elementos analisados						pH (água)
		%	ppm			mE / 100 cm ³		
		C	P	K	Ca	Mg	Al	
1	0	0,59	10,50	60,00	1,25	0,75	0,50	4,70
2	60	0,63	13,50	73,50	1,30	0,75	0,60	4,55
3	120	0,55	13,50	69,00	1,20	0,60	0,75	4,40
4	180	0,53	9,00	63,50	0,95	0,70	0,70	4,50
5	240	0,56	18,50	82,0	0,90	0,60	0,80	4,30
6	300	0,60	15,50	89,00	1,10	0,60	0,85	4,25
7	360	0,59	15,00	72,50	0,60	0,60	1,05	4,20
8	420	0,64	13,50	76,50	0,60	0,50	1,30	4,00

TABELA 9 - Resultados das análises químicas de amostras de terra, coletadas na profundidade de 25,0 a 45,0 cm aos 60 dias após a incorporação da vinhaça no solo com o arado e a grade (média de duas repetições).

Número da Parcela	Vinhaça m ³ /ha	Elementos analisados						pH (água)
		%	ppm			mE / 100 cm ³		
		C	P	K	Ca	Mg	Al	
1	0	0,51	2,00	40,00	1,35	0,65	0,50	5,10
2	60	0,31	3,50	44,00	1,25	0,65	0,65	4,90
3	120	0,48	3,00	32,00	1,30	0,50	0,55	5,10
4	180	0,34	1,50	18,00	1,15	0,45	0,60	5,10
5	240	0,42	2,00	22,50	0,90	0,50	0,70	5,00
6	300	0,35	2,00	31,00	1,15	0,55	0,70	4,85
7	360	0,39	2,00	18,00	0,70	0,55	1,00	4,80
8	420	0,47	2,50	27,50	0,60	0,50	1,35	4,60

TABELA 10 - Resultados das análises químicas de amostras de terra, coletadas na profundidade de 5,0 a 25,0 cm, aos 120 dias após a incorporação da vinhaça no solo, com o arado e a grade (média de duas repetições)

Número da Parcela	Vinhaça m ³ /ha	Elementos analisados						pH (água)
		%	ppm			mE / 100 cm ³		
		C	P	K	Ca	Mg	Al	
1	0	0,65	13,50	61,50	1,25	0,80	0,50	4,90
2	60	0,68	11,00	62,00	1,10	0,55	0,70	4,70
3	120	0,60	16,00	89,00	1,65	0,75	0,50	4,85
4	180	0,65	21,50	70,00	1,20	0,80	0,75	4,65
5	240	0,66	10,00	67,00	0,90	0,55	0,95	4,40
6	300	0,68	17,00	74,00	0,75	0,60	1,10	4,35
7	360	0,75	15,00	110,00	0,95	0,85	1,00	4,40
8	420	0,74	13,50	88,00	0,50	0,60	1,45	4,20

TABELA 11 - Resultados das análises químicas de amostras de terra, coletadas na profundidade de 25,0 a 45,0 cm, aos 120 dias após a incorporação da vinhaça no solo, com o arado e a grade (média de duas repetições).

Número da Parcela	Vinhaça m ³ /ha	Elementos analisados						pH (água)
		% C	ppm P	ppm K	ppm Ca	mE / 100 cm ³ Mg	ppm Al	
1	0	0,45	3,50	38,50	1,25	0,60	0,50	5,10
2	60	0,33	2,00	32,00	1,35	0,70	0,50	5,00
3	120	0,38	4,00	33,50	1,50	0,70	0,40	5,10
4	180	0,38	3,00	30,00	1,15	0,40	0,60	5,00
5	240	0,44	2,50	26,50	1,10	0,65	0,85	4,70
6	300	0,50	4,00	30,00	0,85	0,55	0,90	4,70
7	360	0,50	4,00	47,50	1,10	0,60	0,95	4,60
8	420	0,44	2,00	26,00	0,75	0,45	1,40	4,60

Comparando-se os dados analíticos contidos nas Tabelas 4 , 5 e 6 , referentes às amostras de terra coletadas nas profundidades de 0 a 5 cm , 5,0 a 25,0 cm e 25,0 a 45,0 cm, antes da incorporação da vinhaça com o arado e a grade, nota-se que as amostras de terra coletadas de 0,0 a 5,0 cm revelaram os maiores teores de carbono (C) , fósforo (P) , potássio (K) e magnésio (Mg). Percebe-se, claramente, aumento da concentração do potássio do solo com as doses de vinhaça aplicada (cerca de seis vezes), enquanto que o teor de fósforo aumenta gradativamente.

Observando-se os valores de fósforo e potássio contidos nestas mesmas Tabelas (4 , 5 e 6), admite-se a ocorrência de lixiviação destes elementos nos primeiros 25,0 cm superficiais do solo irrigado, pois nota-se que os teores destes elementos aumentam na camada de 5,0 a 25,0 cm, de acordo com as doses de vinhaça aplicadas.

É interessante observar a elevação do pH do meio nos primeiros 5,0 cm superficiais do solo e a consequente neutralização do alumínio trocável com a quantidade de viinhaça aplicada. Esta variação do pH do solo em função da aplicação da vinhaça está de acordo com as observações feitas por Almeida *et alii* (1950), citadas por GLÓRIA (1976).

O efeito de diluição na camada de solo de 25,0 cm de espessura é mostrado pelos valores contidos nas Tabelas 4 e 5 (referentes as amostras coletadas antes da incorporação da vinhaça) e os das Tabelas 7 , 8 e 10 (referentes as amostras coletadas após a incorporação da vinhaça). Nota-se que

o arado e a grade realmente contribuíram para uma distribuição mais uniforme dos elementos analisados no volume de terra revolvido.

Quando se compara os valores do alumínio trocável contidos na Tabela 5 com aqueles das Tabelas 8 e 10 (valores dos elementos presentes na camada intermediária de 5,0 a 25,0 cm), nota-se, de uma maneira geral, uma tendência de aumento durante o período de "incubação". Verifica-se, ainda, que tais valores aumentam com a dose de vinhaça aplicada, enquanto o pH do solo diminui no mesmo sentido. A relação teor de alumínio trocável e pH, em função da dosagem de vinhaça aplicada, aparece nessas tabelas de maneira inversa a que se observa na Tabela 4. A explicação desse fenômeno é uma das questões peculiares da aplicação de vinhaça ao solo que ainda requer maiores estudos.

Para todas as épocas de amostragem consideradas, os valores dos elementos analisados foram sempre baixos nas amostras obtidas na profundidade de 25,0 a 45,0 cm (Tabelas 6, 9 e 11), não se verificando, portanto, indício de deslocamento de elementos das camadas superiores. Nesta camada do solo observa-se, também, um aumento do alumínio trocável e diminuição do pH no sentido das parcelas 1 para 8.

Em síntese, dentre todas as observações supracitadas destacam-se duas como as mais interessantes para o presente trabalho: 1) quando a vinhaça é aplicada na superfície, certos componentes sólidos ficam retidos nos primeiros 5 cm superficiais do solo. Considerações adicionais a este

respeito serão apresentadas adiante, no estudo sobre a variação da pressão osmótica da solução do meio ; 2) a aração e a gradagem contribuíram para uma distribuição mais uniforme de tais componentes sólidos na camada arada de 25 cm de espessura.

4.3 - Efeito da Vinhaça sobre a Pressão Osmótica da Solução do Solo

Para avaliar o efeito da vinhaça sobre a pressão osmótica da solução do solo, admitiu-se a hipótese do aumento da condutividade elétrica do extrato de saturação com as doses de vinhaça aplicadas.

Na Tabela 12 estão os dados da condutividade elétrica do extrato de saturação (CEs = mmhos / cm a 25°C) obtidos com amostras de terra coletadas em cada parcela experimental, em diferentes profundidades e épocas.

Observando-se os dados relativos a camada de 0 a 5 cm, por exemplo, verifica-se que a vinhaça lançada no solo contribuiu para a elevação da condutividade elétrica do extrato de saturação e, conseqüentemente, da pressão osmótica da solução do meio, pois as parcelas irrigadas revelam valores sempre maiores do que aquele da parcela sem vinhaça. Nota-se ainda que a CEs aumentou com as doses de vinhaça aplicadas. Estas observações estão de acordo com aquelas relatadas por RANZANI (1956).

TABELA 12 - Valores da condutividade elétrica do extrato de saturação ($\text{CEs} = \text{mmhos} \cdot \text{cm}^{-1}$, a 25°C) obtidos com amostras de terra coletadas em diversas profundidades e épocas (média de duas repetições).

Número da Parcela	Vinhaça m^3/ha	Antes da incorporação		Após a incorporação	
		CEs	CEs	60 dias	120 dias
		0,0 a 5,0 cm	5,0 a 25,0 cm	CEs 0,0 a 25,0 cm	CEs 0,0 a 25,0 cm
1	0	0,30	-	0,31	0,31
2	60	1,04	0,30	0,81	0,85
3	120	1,80	0,40	1,24	0,96
4	180	2,80	0,40	1,30	1,20
5	240	3,22	0,33	1,48	1,42
6	300	3,60	0,40	1,80	1,50
7	360	4,00	0,51	1,90	1,50
8	420	3,38	0,46	1,27	1,30

Comparando-se os valores obtidos para a camada de 0 a 5 cm com os da camada de 5,0 a 25,0 cm percebe-se claramente que a camada superficial de 5 cm de espessura — justamente a camada que revelou a maior concentração de sais, conforme foi visto no ítem anterior — apresenta os maiores valores da CEs. Aliás, a diferença entre os valores da condutividade elétrica obtidos para as camadas de solo é coerente com a que se observou para a distribuição de sais (Tabelas 4, 5, 7 e 8). Considerando-se a composição da vinhaça utilizada no presente trabalho (Tabela 2), os dados das análises químicas do solo (discutidos no ítem anterior) e os trabalhos de WHITE e ROSS (1936) ; WHITE e ROSS (1939) e RADER *et alii* (1943), citados no capítulo 2, p. 20, admite-se que o potássio e possivelmente o nitrogênio, foram os elementos que mais contribuíram para a elevação da pressão osmótica do solo ora em estudo.

O aumento dos valores de condutividade elétrica das amostras de terra coletadas na profundidade de 0,0 a 25,0 cm, em relação aqueles observados na camada de 5,0 a 25,0, é atribuído ao efeito da redistribuição dos sais em consequência da incorporação da vinhaça.

Comparando-se os dados referentes a 60 e 120 dias após a incorporação, nota-se uma ligeira diminuição nos valores da condutividade elétrica após 120 dias de "incubação", provavelmente em consequência da ação das chuvas caídas no período, distribuindo os sais no solo.

Para todas as profundidades e épocas de amostragem, os valores da condutividade elétrica diminuíram da parcela 7 para a 8, ocorrendo o mesmo com os valores das análises químicas (Tabelas 4, 5, 6, 7, 8 e 10). Isto pode ser atribuído à distribuição irregular da vinhaça na parcela 8 face as dificuldades comentadas no item 3.1.6 deste trabalho.

Considera-se que os dados apresentados, sobre o efeito da aplicação da vinhaça na modificação da salinidade da solução do solo, são de particular importância para a cultura da cana-de-açúcar. Isto porque, além de ser esta a cultura em que geralmente as maiores aplicações são feitas, a cana-de-açúcar, segundo Soji e Sund (1967), citados por HUMBERT (1974, p. 417) apresenta um sensível declínio da produção quando aumenta a condutividade elétrica do extrato de saturação do solo. HUMBERT (1974, p. 409), baseando-se em vários trabalhos de pesquisa, cita que a salinidade do solo afeta o crescimento da cana-de-açúcar por várias razões, dentre as quais:

- 1) Os sais reduzem a quantidade de água que pode ser absorvida pela planta devido ao aumento progressivo da pressão osmótica. O atraso no crescimento é praticamente linear com o aumento da pressão osmótica e é independente do tipo de sais presentes no meio ;
- 2) Alguns íons (cloretos, bicarbonatos e sódio, por exemplo), que são inofensivos a baixas concentrações, tornam-se tóxicos para a cana quando em elevadas concentrações.

Observando-se novamente os dados da Tabela 12 do presente trabalho, pode-se perceber, facilmente, as consequências que poderão advir da adição ao solo de doses maciças de vinhaça. RANZANI (1956) constatou que a condutividade específica (determinada em suspensão de solo + água na proporção 1:5) aumentou de 0,51 mmhos para 10,715 mmhos, quando este solo foi irrigado com vinhaça na base de 1.000 m³/ha. Pode-se também compreender perfeitamente porque ALMEIDA (1952) concluiu que a "cana-de-açúcar, irrigada com 500 a 1.000 m³ de vinhaça por hectare, sentira demasiadamente os efeitos da estia-gem". É com razão que, ultimamente vários investigadores passaram a usar doses menores de vinhaça nos trabalhos de pesquisas. Evidencia-se aqui, entretanto, a necessidade de experimentos de longa duração a fim de se conhecer os efeitos residuais de aplicações sucessivas de vinhaça sobre o solo.

Com base nos dados obtidos no presente trabalho chega-se às seguintes conclusões:

- 1 - A aplicação de vinhaça contribui para a elevação da pressão osmótica da solução do meio. Quando aplicada superficialmente, tal aumento ocorre principalmente nos primeiros centímetros do solo. Isto deve ser levado em consideração quando da aplicação de vinhaça sobre cana soca, cujo sistema radicular é menos desenvolvido do que aquele da cana planta ;
- 2 - A pressão osmótica da solução do solo aumenta com a quantidade de vinhaça aplicada devido, principalmente, à concentração de potássio e possivelmente nitrogênio;

- 3 - Incorporando-se a vinhaça aplicada, distribui-se melhor os sais na camada revolvida, reduzindo-se os efeitos da pressão osmótica nos primeiros centímetros superficiais do solo.

4.4 - Efeito da Vinhaça sobre o Grau de Flocculação das Partículas Coloidais

Coforme se vê no item 3.1 deste trabalho, p. 28, o solo em estudo apresenta uma camada superficial de 20,0 cm de espessura, de cor bruno-acinzentado-escuro e, imediatamente abaixo, uma camada de cor bruno-amarelado, mais argilosa. Quando da aração deste solo para a instalação do experimento, observou-se que parte da camada mais amarela era misturada com a camada superficial, sugerindo uma possível varia-ção textural nas parcelas experimentais. De fato, algumas parcelas apresentavam mais manchas amareladas do que outras, possivelmente devido às variações que ocorrem na profundidade de aração e/ou na espessura do horizonte superficial. Assim, embora a área experimental fosse praticamente plana e o solo aparentemente homogêneo, julgou-se conveniente determinar a granulometria das amostras de terra coletadas de cada parcela. Os resultados de tal análise encontram-se nas Tabelas 13 e 14, assim como os valores de argila natural (dispersa em água) e grau de flocculação. Como se vê, os dados mostram tratar-se de um solo de textura média (franco-argilo-arenoso) com cerca

TABELA 13 - Resultados da análise granulométrica (areia total, limo e argila % TFSE), argila natural % TFSE e grau de floculação, obtidos com amostras de terra coletadas em cada parcela experimental (0 - 25 cm), aos 60 dias de "incubação do solo (média de três repetições).

Número da parcela	Vinhaça m ³ /ha	Areia total	Limo	Argila total	Classe Textural	Argila natural	Grau de floculação
1	0	62,13	8,48	27,99	FRANCO-ARGILO-ARENOSO	22,50	19,61
2	60	63,66	7,71	26,96		21,60	19,88
3	120	63,66	8,49	25,74		19,94	22,53
4	180	63,70	8,41	25,51		19,80	22,38
5	240	65,73	8,56	24,84		19,62	21,01
6	300	63,13	9,01	26,28		20,84	20,70
7	360	60,96	9,21	27,58		21,83	20,85
8	420	61,06	9,76	28,00		23,63	15,58

TABELA 14 - Resultados da análise granulométrica (areia total, limo e argila % TFSE) , argila natural % TFSE e grau de floculação, obtidos com amostras de terra coletadas em cada parcela experimental (0 - 25 cm), aos 120 dias de "incubação do solo (média de três repetições).

Número da parcela	Vinhaça m ³ /ha	Areia total	Limo	Argila total	Classe Textural	Argila natural	Grau de floculação
1	0	62,53	8,33	27,85	FRANCO=ARGILO-ARENOSO	21,15	24,05
2	60	63,33	8,82	27,54		21,15	23,20
3	120	64,60	9,09	26,91		20,55	23,63
4	180	63,46	10,53	26,50		20,40	23,01
5	240	65,00	9,27	26,01		19,80	23,87
6	300	62,73	9,41	27,81		20,55	26,10
7	360	61,06	10,26	27,99		22,35	20,05
8	420	61,03	9,23	27,99		22,80	18,54

de 61,0 a 65,0% de areia total , 8,0 a 10,0% de limo e 25,0 a 28,0% de argila total. Os valores da argila natural revelam que cerca de 75,0% a 85,0% da argila total, do solo em estudo, encontravam-se naturalmente dispersa.

Os dados das Tabelas 13 e 14, referentes às amostras coletadas aos 60 e 120 dias de "incubação" do solo, respectivamente, revelam uma ligeira diminuição no teor de argila total da parcela 1 até a 5 , seguindo-se um aumento até a parcela 8 , cujos valores estão próximos daqueles da parcela 1. Ocorre uma situação inversa com a areia total, ou seja, os valores aumentam até a parcela 5 , diminuindo a seguir até a parcela 8 .

Conforme explica BAYER (1966 , p. 135), floculação não é sinônimo de agregação estável. Todavia, o processo de agregação das partículas do solo se inicia pela floculação, isto é, pelo agrupamento das partículas coloides devido ao abaixamento do seu potencial eletrocinético. Imaginou-se, portanto, que íons componentes da vinhaça pudessem alterar o estado de floculação da argila do solo tratado.

Para a verificação da tendência de agregação utilizou-se o índice "grau de floculação", citado por KIEHL (1978). Os resultados deste estudo, referentes às amostras coletadas aos 60 e 120 dias de "incubação do solo, estão contidos na última coluna das Tabelas 13 e 14 , respectivamente.

As pequenas variações observadas não permitem um julgamento seguro sobre os efeitos floculante ou dispersan

te da vinhaça. A tendência de diminuição do grau de floculação observado no último tratamento (parcela 8), nas duas épocas, não constitui informação suficiente para qualquer afirmação sobre uma possível ação dispersante da vinhaça (o potássio poderia causar tal efeito). Admite-se, portanto, que o estado de floculação do solo não se modificou, com as doses de vinhaça aplicadas, durante os 120 dias de incubação.

4.5 - Efeito da Vinhaça sobre a Retenção da Água no Solo

Para julgar a influência da vinhaça sobre a retenção da água no solo partiu-se do seguinte pressuposto:

- 1 - Qualquer alteração na geometria de poros do solo, em decorrência da aplicação da vinhaça, resulta do seu efeito sobre a granulação.
- 2 - As doses crescentes de matéria orgânica adicionadas ao solo deveriam contribuir para aumentar sua superfície específica e, também, sua capacidade adsortiva.

Os resultados destes estudos encontram-se nas Tabelas 15 e 16. Antes, porém, da discussão dos resultados apresentados, torna-se oportuna a seguinte observação: Segundo RICHARDS e WEAVER (1949) e RICHARDS (1965), a superfície específica da fase sólida do solo controla o teor da água retida sob tensões acima de 1.000 centímetros de coluna d'água (c.c.a.), e a geometria do espaço poroso do solo controla a quantidade de água retida sob tensões mais baixas. Daí a re-

comendação de se usar amostras de terra indeformadas quando da determinação dos teores de água retida sob tensões abaixo de 1.000 c.c.a. Apesar disso, citam os autores que, por ser mais prático, inúmeros pesquisadores têm usado amostras de terra fina seca ao ar para a avaliação da água retida no solo na faixa de tensão compreendida entre 0 e 15.000 c.c.a., sem maiores consequências. No presente trabalho, por conveniência prática, foram utilizadas amostras indeformadas somente quando da avaliação dos teores de água retida sob tensões correspondentes à 1 e 10 c.c.a.

As Tabelas 15 e 16 mostram os valores de umidade gravimétrica relacionados com diferentes tensões, obtidos com amostras de terra coletadas aos 60 e 120 dias de "incubação" do solo com doses crescentes de vinhaça, e os resultados da análise estatística, de interesse para o estudo, seguindo um delineamento experimental inteiramente casualizado.

Os valores das médias gerais das Tabelas 15 e 16, com excessão da umidade atual, foram utilizados para a construção de curvas características de retenção da água do solo (Figura 9). Determinando-se graficamente o valor da umidade gravimétrica correspondente à tensão de 333 c.c.a. ($pF = 2,52$) — utilizado largamente como uma estimativa da "capacidade de campo" (c.c.) — encontrou-se $Ug\% = 16,9$.

Tendo em vista a falta de pluviômetro na área experimental, procurou-se caracterizar a incidência de chuva no local através dos valores da umidade gravimétrica atual.

TABELA 15 - Valores de umidade gravimétrica atual (U_a %) e valores de umidade gravimétrica em equilíbrio com diferentes tensões (U_g %), obtidos com amostras de terra coletadas aos 60 dias de "incubação" do solo com doses crescentes de vinhaça (média de duas repetições) e resumo da análise estatística.

Número da parcela	Vinhaça m ³ /ha	Umidade Atual (Ua %)	Tensões em c.c.a						
			1	10	100	1.000	5.000	10.000	
1	0	14,85	35,85	29,28	22,22	11,98	10,12	9,95	
2	60	15,54	31,84	28,27	21,51	11,56	9,76	9,31	
3	120	14,48	31,71	27,48	22,38	11,20	9,45	9,28	
4	180	14,85	30,33	30,16	21,31	11,00	9,37	9,17	
5	240	13,57	32,87	28,50	20,71	10,81	9,14	8,75	
6	300	16,02	35,07	28,02	21,11	11,37	9,60	9,19	
7	360	14,73	32,23	28,00	22,37	11,76	9,90	9,52	
8	420	15,35	13,68	29,44	23,30	12,17	10,42	10,18	
$\bar{x}$ (média geral)			14,92	32,80	28,64	21,76	11,52	9,72	9,41
s			4,04	2,92	0,62	0,09	0,12	0,08	
C.V. (%)			12,00	10,00	3,00	1,00	1,00	1,00	
DMS Tukey 5 %			n.s.	n.s.	2,46	0,36	0,48	0,33	

TABELA 16 - Valores de umidade gravimétrica atual (U_a %) e valores de umidade gravimétrica em equilíbrio com diferentes tensões (U_g %), obtidos com amostras de terra coletadas aos 120 dias de "incubação" do solo com doses crescentes de vinhaça (média de duas repetições) e resumo da análise estatística.

Número da Parcela	Vinhaça m^3/ha	Umidade Atual (U_a %)	Tensões em c.c.a.					
			1	10	100	1.000	5.000	10.000
1	0	16,87	31,72	27,59	22,97	12,51	10,47	9,55
2	60	15,86	32,73	28,72	21,19	12,11	9,97	8,78
3	120	15,24	29,41	26,42	21,26	11,56	9,54	8,96
4	180	16,25	29,62	25,23	21,87	11,98	9,67	8,85
5	240	15,15	27,92	24,93	22,55	11,51	9,31	8,76
6	300	14,60	29,59	25,88	22,30	11,92	9,78	8,80
7	360	18,57	28,05	25,21	22,09	12,55	10,67	9,63
8	420	14,63	29,48	24,85	22,99	12,93	10,69	9,82
<hr/>								
$\bar{x}$ (média geral)		15,90	29,90	26,16	22,15	12,13	10,01	9,16
s			3,06	1,69	0,72	0,22	0,09	0,25
C.V. (%)			10,00	6,00	3,00	2,00	1,00	3,00
DMS Tukey 5%			n.s.	n.s.	n.s.	0,90	0,36	0,59

Fig. 9 - Curvas características de retenção da água do solo, construídas com os valores da média geral obtidos com amostras de terra tratadas com vinhaça e coletadas aos 60 e 120 dias de "incubação".

Nota-se que aos 60 e 120 dias de "incubação" a umidade atual foi de 14,90% e 15,90% , respectivamente. Portanto, num intervalo de 60 dias a umidade do solo aumentou, indicando chuva no período, o que contribuiu para manter a umidade do solo próxima da capacidade de campo.

A fim de facilitar a interpretação dos dados das Tabelas 15 e 16 , serão discutidos primeiramente os valores de umidade versus tensão de 1 e 10 c.c.a. Não se percebe, pelos dados das tabelas em questão, tendência de aumento nos valores de umidade em resposta à concentração de vinhaça, pois, a análise estatística não revela diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade entre os diferentes tratamentos. Isto significa que, após 120 dias de "incubação", nenhuma das doses da vinhaça aplicada contribuiu para aumentar a quantidade da água retida pelo solo.

Comparando-se os valores da Tabela 15, com aqueles da Tabela 16, nota-se uma diminuição da água retida sob tensão de 0 e 10 c.c.a., aos 120 dias de "incubação". Como a retenção da água, sob baixas tensões, é controlada pela geometria de poros, é possível que tal diminuição esteja relacionada com uma alteração na distribuição de poros por tamanho.

Observando-se agora os dados de umidade gravimétrica versus sucções de 1.000 , 5.000 e 10.000 c.c.a., respectivamente, percebe-se que os valores de umidade estão próximos entre si. A análise estatística, entretanto, revela diferenças significativas entre os tratamentos (doses de vinhaça) ao nível de 5% de probabilidade. Considerando-se a dife-

rença mínima significativa (DMS Tukey, 5%), nota-se que, para todas as tensões supracitadas, os valores de umidade diminuíram significativamente da parcela 1 para a 5. Como não é lógico admitir que a concentração de vinhaça tenha contribuído para reduzir a capacidade adsortiva do solo, outra causa, que não a vinhaça, deverá responder por este efeito. Voltando-se aos dados da análise granulométrica, vistos anteriormente, encontra-se a explicação para tal ocorrência. Nota-se que a variação dos valores de umidade (Tabelas 15 e 16) acompanha a variação dos teores de argila (Tabelas 13 e 14), isto é, de uma maneira geral, os teores de água retida sob tensão igual ou maior do que 1.000 c.c.a., aumentaram ou diminuíram com o teor de argila. Por raciocínio análogo, pode-se entender a variação significativa observada entre os dados da Tabela 15, obtidos para a tensão de 100 c.c.a. Embora se trate de retenção de água sob baixa tensão acredita-se que tal variação resultou da mesma causa.

Conclui-se, portanto, que durante 120 dias de incubação, nenhuma das doses da vinhaça utilizada foi suficiente para alterar significativamente a geometria de poros do solo, nem tampouco a sua superfície específica; por isso, não contribuíram para modificar a capacidade de retenção de água do solo original.

4.6 - Efeito da Vinhaça sobre a Porosidade do Solo

Para se avaliar a influência da concentração da vinhaça sobre a porosidade do solo, partiu-se da seguinte hipótese: Durante o período de "incubação", pré-estabelecido, as possíveis interações entre as partículas minerais do solo com a matéria orgânica e íons do resíduo, contribuem para modificar a distribuição do tamanho de poros da camada arada.

De acordo com BRADFIELD e JAMISON (1938), os macroporos do solo (poros entre agregados) são os responsáveis pela drenagem, percolação e aeração do meio, enquanto que os microporos (poros dentro dos agregados) controlam a água necessária à vida das plantas.

Os valores limites entre a macro e a microporosidade têm sido estudados e sugeridos por vários pesquisadores. NELSON e BAVER (1948) empregaram o valor de tensão correspondente a 40 centímetros de coluna d'água e obtiveram ótima correlação entre os poros drenados, a percolação e a estrutura. A tensão correspondente a 60 c.c.a., como limite entre a macro e a micro porosidades, tem sido utilizada por diversos autores, dentre os quais podem ser citados UHLAND (1949) e OLIVEIRA (1968). Supõe-se que, sob tal tensão, drenam-se os poros com diâmetro igual ou maior do que 0,05 cm. Estes estudos indicam que, de uma maneira geral, um ponto da curva de distribuição do tamanho dos poros é suficiente para dar uma indicação da relação solo-água-ar, uma vez que a determinação da porosidade total não fornece tal informação.

Conforme foi citado anteriormente, no presente trabalho foi adotada a tensão correspondente a 60 c.c.a. como limite entre a macro e micro porosidades.

Os resultados deste estudo, obtidos com amostras de terra coletadas aos 60 e 120 dias de "incubação" do solo com doses crescentes de vinhaça, encontram-se nas Tabelas 17 e 18, respectivamente. Um resumo da análise estatística, de interesse para o estudo, seguindo um delineamento experimental inteiramente casualizado, é também apresentado.

Os valores das densidades aparente e real do solo foram determinados objetivando-se, principalmente, o cálculo da porosidade total calculada e a interpretação de outros resultados do estudo. Além disso, admitiu-se, também, uma possível variação de tais valores em função da adição de matéria orgânica ao solo. Pelos dados das tabelas 17 e 18 percebe-se que a análise estatística não revelou diferença significativa entre os tratamentos para os valores destas duas propriedades para os dois períodos de incubação. O mesmo pode ser dito para os resultados da porosidade total determinada, da macro e da micro porosidades. Nota-se que não há variação consistente entre os dados ou tendência de aumento dos volumes de poros, com o aumento da dose de vinhaça aplicada. Isto significa que, num período de 120 dias, nenhuma das doses da vinhaça utilizada foi suficiente para alterar significativamente tais propriedades.

TABELA 17 - Valores da densidade aparente (Dap) , densidade real (Dr) , porosidade total calculada e determinada, microporosidade, macroporosidade e poros bloqueados, obtidos com amostras de terra tratadas com doses crescentes de vinhaça e coletadas aos 60 dias de "incubação" à profundidade de 10,0 a 18,0 cm (média de três repetições)

Número da parcela	Vinhaça m ³ /ha	Dap g/cm ³	Dr g/cm ³	Porosidade Total (%)		Micro- porosi- dade (%)	Macro- porosi- dade (%)	Poros Bloquea- dos (%)
				Calcu- lada	Deter- minada			
1	0	1,32	2,60	48,83	47,28	24,64	22,64	1,55
2	60	1,41	2,62	46,18	44,28	26,68	17,51	1,90
3	120	1,41	2,59	45,56	44,67	26,13	18,54	0,89
4	180	1,41	2,60	46,18	42,71	26,13	16,52	3,47
5	240	1,38	2,61	47,53	45,05	25,29	19,76	2,48
6	300	1,34	2,60	49,04	46,91	25,29	21,63	2,13
7	360	1,41	2,61	45,35	45,16	26,85	18,31	0,19
8	420	1,40	2,60	46,15	44,30	26,96	17,34	1,85
<hr/>								
$\bar{x}$ (média geral)		1,39	2,60	46,85	45,15	26,00	19,14	1,81
s		0,07	0,01		3,15	1,22	4,00	
C.V. (%)		5,00	1,00		7,00	5,00	21,00	
DMS Tukey 5%		n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.	

TABELA 18 - Valores de densidade aparente (Dap) , densidade real (Dr) , porosidade total calculada e determinada, microporosidade, macroporosidade e poros bloqueados, obtidos com amostras de terra tratadas com doses crescentes de vinhaça e coletadas aos 120 dias de "incubação" à profundidade de 10,0 a 18,0 cm (média de três repetições)

Número da Parcela	Vinhaça m ³ /ha	Dap g/cm ³	Dr g/cm ³	Porosidade Total (%)		Micro-porosi-dade (%)	Macro-porosi-dade (%)	Poros Bloquea-dos (%)
				Calcu-lada	Deter-minada			
1	0	1,39	2,61	46,74	43,93	27,29	16,64	2,81
2	60	1,37	2,63	47,90	44,86	26,66	18,20	3,04
3	120	1,44	2,60	44,62	42,05	26,18	15,87	2,57
4	180	1,44	2,61	44,82	42,27	26,26	16,00	2,55
5	240	1,44	2,58	44,19	40,40	26,57	13,83	3,79
6	300	1,43	2,58	44,57	42,07	26,50	15,58	2,50
7	360	1,46	2,63	44,48	40,57	29,57	11,10	3,97
8	420	1,43	2,61	45,21	41,84	26,97	14,87	3,37
<hr/>								
$\bar{x}$ (média geral)		1,42	2,61	45,32	42,34	27,02	15,32	3,08
s		0,07	0,03		2,41	1,19	3,29	
C.V. (%)		5,00	1,00		6,00	4,00	21,00	
D.M.S. Tukey 5%		n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.	

Por outro lado, comparando-se a média geral da porosidade total da Tabela 17 com a sua correspondente da Tabela 18, percebe-se uma ligeira diminuição no volume do solo, dos 60 para os 120 dias de "incubação". Isto poderá ser melhor visualizada na Figura 10, construída com os valores da média geral de cada parâmetro.

Embora as diferenças observadas não tenham sido estatisticamente significativas, alguns comentários adicionais são feitos devido à congruência das variações. É de se esperar que uma camada de solo, principalmente se arada, esteja sujeita a um acamamento natural em função do tempo. Devido à alternância de umedecimento e secagem do solo, as partículas rearranjam-se, resultando em uma compactação gradual da camada. Em consequência de tal acamamento — pois a vinhaça não contribuiu para efeito contrário —, as amostras de terra coletadas aos 120 dias de "incubação" revelaram, como mostra a Figura 10, 1) ligeiro aumento na densidade aparente, 2) ligeira redução no volume total de poros, e 3) ligeiro aumento da microporosidade em detrimento da macroporosidade. Esta redução da macroporosidade está relacionada com o fenômeno de acamamento natural e, também, com o maior bloqueio de poros revelado pelas amostras coletadas aos 120 dias, conforme se vê na Figura 10.

Como o valor da densidade real média foi igual nos dois períodos de "incubação" (Figura 10.a), a diminuição do valor da porosidade total calculada referente aos 120 dias (Figura 10.b) foi atribuída ao aumento da densidade aparente no mesmo período (Figura 10.a).

Fig. 10 - Variação das densidades real e aparente (a) e variação da porosidade (b) em função do tempo.

Obs.: - Nota-se que a densidade aparente aumentou ligeiramente aos 120 dias após a incorporação da vinhaça, provavelmente devido ao acamamento natural da massa do solo, concorrendo para o aumento da microporosidade no mesmo período. A redução da macroporosidade aos 120 dias está relacionada com este fenômeno natural de acamamento e com o maior bloqueio de poros conforme se vê em (b).

Conclui-se portanto que, num período de 120 dias nenhuma das doses da vinhaça aplicada contribuiu para qualquer modificação significativa nas densidades aparente e real do solo e na porosidade (porosidade total macro e micro-porosidades).

4.7 - Efeito da Concentração de Vinhaça sobre a Condutividade Hidráulica do Solo

Uma importante propriedade do sistema solo-á-gua-planta é a condutividade hidráulica do solo, isto é, a habilidade do solo em transmitir água. Este dado, além de ser útil em estudos de drenagem, fluxo de água para as raízes das plantas, evaporação, etc., fornece informação indireta sobre a estrutura e estabilidade estrutural do solo.

A condutividade hidráulica depende da geometria do espaço poroso e da umidade do solo, pois ambos determinam a secção transversal útil para o fluxo. Portanto, varia de solo para solo, e dentro de um mesmo solo, em função da variação na distribuição do tamanho dos poros. Por isso, admitiu-se a hipótese de que qualquer efeito significativo da vinhaça na granulação do solo contribuiria para mudanças na sua condutividade hidráulica.

Nas Tabelas 19 e 20 encontram-se os valores da condutividade hidráulica obtidos de amostras de terra coletadas aos 60 e 120 dias de "incubação" do solo com doses crescentes de vinhaça.

TABELA 19 - Resultados do estudo da influência da concentração de vinhaça sobre a condutividade hidráulica do solo, obtidos com amostras de terra indeformadas, coletadas aos 60 dias de "incubação" à profundidade de 13 a 22 cm,

Número da Parcela	Vinhaça m ³ /ha	Vazão por repetição (cm ³)	Vazão média por tratamento (cm ³)	Ks (cm/h)	Classe de velocidade
1	0	26,00 77,00 234,00 210,00	136,75	11,79	Mod. rápida
2	60	97,00 217,00 35,00 272,00	155,25	13,38	rápida
3	120	158,00 225,00 227,00 65,00	168,75	14,55	rápida
4	180	100,00 283,00 116,00 73,00	143,00	12,33	rápida
5	240	137,00 128,00 271,00 114,00	162,50	14,00	rápida
6	300	212,00 398,00 188,00 2,00	200,00	17,24	rápida
7	360	198,00 222,00 7,00 446,00	218,25	18,82	rápida
8	420	279,00 274,00 30,00 339,00	230,50	19,87	rápida

TABELA 20 - Resultados do estudo da influência da concentração de vinhaça sobre a condutividade hidráulica do solo, obtidos com amostras de terra indeformadas, coletadas aos 120 dias de "incubação" à profundidade de 13 a 22 cm.

Número da Parcela	Vinhaça m ³ /ha	Vazão por repetição (cm ³)	Vazão média por tratamento (cm ³)	Ks (cm/h)	Classe de velocidade
1	0	130,00 49,00 74,00 11,00	66,00	5,69	Moderada
2	60	260,00 76,00 20,00 150,00	126,50	10,91	Mod. rápida
3	120	173,00 52,00 131,00 121,00	119,25	10,28	Mod. rápida
4	180	179,00 69,00 29,00 116,00	98,25	8,47	Mod. rápida
5	240	26,00 97,00 42,00 4,00	42,25	3,64	Moderada
6	300	1,00 151,00 10,00 220,00	95,50	8,23	Mod. rápida
7	360	100,00 76,00 118,00 8,00	75,50	6,51	Mod. rápida
8	420	--- 309,00 435,00 247,00	330,33	28,48	Muito rápida

Para o cálculo da condutividade hidráulica os parâmetros fixos foram: área da secção transversal da coluna de terra ($37,39 \text{ cm}^3$), comprimento da coluna de terra (8,30 m) e carga hidráulica (2,0 cm).

As observações feitas no decorrer da execução deste estudo mostraram que a condutividade hidráulica de um solo saturado está sujeita a outras variações além daquelas comentadas por KLUTE (1965), principalmente quando as amostras de terra destinadas a estudos no laboratório são coletadas do horizonte Ap do solo. Após a aração e a gradagem do solo — mesmo efetuadas sob condições adequada de umidade — resultou na camada revolvida, uma mistura de pequenos agregados, torrões de vários tamanhos, e restos da cultura de cana. Além disso, no caso específico do solo ora em estudo, verificou-se a variação textural decorrente da inversão parcial da camada subsuperficial mais argilosa, conforme foi explicado no item 4.4 deste trabalho.

Devido a combinação dos fatores presentes na área experimental, é a de se esperar uma sensível variação de estrutura entre as amostras coletadas em cada parcela, principalmente considerando-se o pequeno volume de terra coletado por amostra ($310,16 \text{ cm}^3$). Tal variação estrutural pode ser constatada através dos dados das Tabelas 19 e 20. Percebe-se uma grande variação entre os valores das repetições.

Dentre todos os fatores considerados, a mistura das camadas superficial e subsuperficial do solo foi, provavelmente, um dos que contribuiu para a variação estrutural

das amostras, pois verificou-se que nos cilindros das amostras que revelaram menor condutividade estavam as maiores quantidades da terra amarela e mais argilosa. Isto naturalmente contribuiu para variações na capacidade de transmissão de água.

Diante do exposto e considerando os resultados obtidos nos estudos anteriores — principalmente no estudo do grau de floculação e porosidade — , não é possível afirmar que houve influência benéfica da vinhaça sobre a condutividade hidráulica do solo, embora tal efeito seja aparente aos 60 dias de "incubação". A diminuição da condutividade hidráulica aos 120 dias de "incubação" é compreensível quando se leva em consideração a diminuição da macroporosidade devido ao acmemento natural do solo.

A influência da vinhaça sobre a condutividade hidráulica do solo deverá ser considerada em novas oportunidades, estudando-se tal influência, inclusivamente, em períodos de "incubação" mais curtos.

5 - CONCLUSÃO

Dos estudos realizados e apresentados no presente trabalho, resultaram as seguintes conclusões:

5.1 - Efeito do Trânsito do Caminhão sobre a Compactação do Solo

A aplicação de vinhaça por meio de caminhão tanque concorre para a compactação do solo. Esse efeito umentarã com a quantidade de vinhaça aplicada sempre que, para uma maior quantidade, for necessário aumentar o trânsito do caminhão.

5.2 - Efeito da Vinhaça sobre a Pressão Osmótica da Solução do Solo

A vinhaça, quando aplicada superficialmente, contribui para a elevação da pressão osmótica da solução do meio, principalmente nos primeiros centímetros do solo (± 5,0 cm).

A pressão osmótica da solução do solo aumenta com a quantidade de vinhaça aplicada devido, principalmente, ao nitrogênio e potássio.

5.3 - Efeito da Vinhaça sobre o Grau de Flocculação das Partículas Coloidais do Solo

Num período de 120 dias o estado de flocculação das partículas do solo não se modifica, com a aplicação das doses da vinhaça utilizada.

5.4 - Efeito da Vinhaça sobre a Retentividade da Água no Solo

Num período de 120 dias, nenhuma das doses da vinhaça aplicada contribui para modificação significativa na capacidade de retenção de água do solo original (sem vinhaça).

5.5 - Efeito da Vinhaça sobre a Porosidade do Solo

Num período de 120 dias, nenhuma das doses da vinhaça aplicada contribui para modificação significativa na porosidade do solo (porosidade total, macro e microporosidades).

5.6 - Efeito da Vinhaça sobre a Condutividade Hidráulica de Amostras do Solo Estudado (fluxo saturado)

A inconsistência dos resultados obtidos com este estudo não permitiu concluir seguramente sobre este efeito.

6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 - Esclarecimentos

No presente trabalho foram apresentados os resultados parciais de um experimento de campo cujo tempo de duração está previsto para cinco anos. Procurou-se inicialmente estudar os efeitos diretos da vinhaça (sem a interferência do sistema radicular da cana) sobre algumas propriedades físicas do solo.

Em março próximo passado, foi feito o plantio da cana-de-açúcar nas parcelas experimentais. Na metade de cada parcela foi feita uma adubação fosfatada na base de 1 kg de superfosfato triplo por cada m³ de vinhaça aplicado, pois pretende-se avaliar a importância deste complemento de composição do resíduo utilizado.

Doravante, a intervalos de seis meses, serão tomadas amostras para os mesmos estudos de laboratório ora apresentados, a fim de se estudar um possível efeito indireto da vinhaça sobre a estrutura do solo.

A continuação deste experimento possibilitará também uma avaliação do efeito residual da aplicação de doses sucessivas de vinhaça sobre o solo, pois para cada ciclo da cultura (socas) serão aplicadas as mesmas doses usadas na cana planta. Serão computados a produção de cana e o rendimento de açúcar proporcionado por cada tratamento.

6.2 - Recomendações para Outros Estudos

A experiência adquirida com o presente trabalho leva o autor a apresentar as seguintes sugestões para estudos futuros:

- a - Como foi mostrado, a Usina Victor Sence utiliza, na lavou_{ra}, a vinhaça subproduto do butanol. Acredita-se, na Usi_{na}, que esta vinhaça é melhor fertilizante do que a vinhaça subproduto do etanol, isto porque o caldo de cana destinado à fabricação do butanol é enriquecido com adubos nitrogenados e fosfatados. Entretanto, os dados das análises químicas destas vinhaças (Tabela 21), mostram uma maior concentração de nutrientes da vinhaça de etanol. Como na Victor Sence a vinhaça é aplicada por caminhão, é interessante investigar se não é mais econômico o uso

da vinhaça de etanol, embora esta seja menos rica em nitrogênio.

- b - Embora a análise estatística tenha sido limitada a apenas algumas das observações feitas, considera-se que a convergência das evidências conduzem à suposição de que há relação entre o teor de K e matéria orgânica da vinhaça, e as propriedades estudadas. Além disso, as observações feitas com as amostras coletadas na parcela que recebeu a maior quantidade de vinhaça ($420 \text{ m}^3/\text{ha}$) foram, consistentemente, contrárias à tendência geral indicada pelas dosagens crescentes de vinhaça aplicadas. Considera-se que esses dois aspectos merecem investigações adicionais.

TABELA 21 - Análises químicas de dois tipos de vinhaça, produzidas na Usina Victor Sence (*)

Vinhaça	Matéria orgânica (%)	Matéria mineral (%)	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	SO ₃ (%)	pH (água)
Butanol	1,38	0,28	0,091	0,0016	0,09	0,019	0,012	0,0783	3,80
Etanol	4,88	1,52	0,077	0,0030	0,68	0,144	0,069	0,5410	4,55
Kg de cada componente por m ³ de vinhaça									
Butanol	13,8	2,80	0,91	0,016	0,90	0,19	0,12	0,783	
Etanol	48,8	15,20	0,77	0,030	6,80	1,44	0,96	5,410	

(*) Dados analíticos fornecidos gentilmente pela Diretoria da Usina Vitor Sence.

7 - SUMMARY

An alluvial soil was utilized for a series of field and laboratory studies designed to observe the effects of various dosages of vinasse on some soil physical properties. The experimental site was located on the sugar cropping area of the Victor Sence Sugar Mill, in the "Conceição de Macabu" Municipality, State of Rio de Janeiro.

The field lay-out consisted of eight plot 6.0 m. were and 20.0 m long , 3.0 m apart from each other. The plots received, individually, an application of vinasse in dosages increasing at the rate of $60 \text{ m}^3/\text{ha}$, respectively. A check plot was added for control. The irrigation of the plots was done by means of a tank truck. The plots were subsequently plowed and disked to mix the vinasse solids into the top 25 cm soil layer. Soils samples were taken 60 and 120 days afterwards for laboratory investigations.

The laboratory phase of the project consisted of six independent studies totalling twelve experiments: six for each sampling date. Soil cores and fine earth samples taken at random from each plot were used for the following observation:

- a) Effect of traffic on soil compaction as indicated by variations on bulk density and porosity between and on the truck's tire tracks;
- b) Effect of vinasse on soil solution osmotic pressure measured as electric conductivity of the saturation extract;
- c) Effect of vinasse on soil granulation as indicated by the degree of flocculation of colloidal particles, water retention, total porosity, pore size distribution and saturated hydraulic conductivity.

The results obtained led to the following conclusions:

- a) Truck traffic effect on soil compaction was related to quantity of vinasse applied to soil insofar as traffic increased with the rate of irrigation;
- b) Osmotic pressure of soil solution increased with the rate of vinasse irrigation, particularly in the soil's top 5 centimeters. This effect was due mainly to the concentration of potassium and nitrogen in the vinasse.

- c) No significant change in the degree of flocculation of soil colloidal particles, water retention and pore size distribution was observed 120 days after irrigation with vinasse;
- d) Data on hydraulic conductivity was erratic preventing any conclusive statement as to the effect of vinasse on this soil property.

7 - LITERATURA CITADA

ADAMS, W. A., 1973. The effect of organic matter on the bulk and true densities of some cultivated podzolic soils. J. Soil Sci., Oxford, 24: 10-17.

ALMEIDA, J. R. de., 1952. O problema da vinhaça em São Paulo. Boletim do Instituto Zimotécnico da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, nº 3, 9 p.

ALMEIDA, J. R. de., 1955. O problema da vinhaça. Brasil Açucareiro, Rio de Janeiro, 45: 72-77.

ASTM, 1971. Moisture - Density Relations of Soils Using 10-LB Rammer and 18-CN. Drop. In: Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia. Part 11. 498-503.

BAVER, L. D., 1934. Factors contributing to the genesis of soil microstructure. Amer. Soil Sur. Assoc. Bull., 16: 55-56.

- BAVER, L. D., 1966. Soil Physics. 3. ed. New York, John Wiley. 489 p.
- BAVER, L. D. ; W. H. GARDNER e W. R. GARDNER, 1973. Física de suelos. Trad. México, Centro Regional de Ayuda Técnica. 529 p.
- BISWAS, T. D. e B. K. KHOSLA, 1971. Building up of organic matter status of soil and its relation to the soil physical properties. Int. Symp. Soil Fert. Eval. Proc., 1: 831-842.
- BLAKE, G. R., 1965. Particle Density. In: BLACK, C. A. Methods of Soil Analysis. Agronomy, Washington, 9: Part I. 371-373.
- BODMAN, G. B., 1928. The H_2O_2 -HCl treatment of soil as a method of dispersion in mechanical analysis. Soil Sci., New Brunswick, 26: 459-470.
- BOEKEL, P., 1958. The effect of adsorbed and soluble cations on the soil structure of clay soils. Apud: Soil and Fertilizers, Harpenden, 22: 1959.
- BOUYOUCUS, G. J., 1939. Effect of organic matter on the water-holding capacity and wilting point of mineral soils. Soil Sci., New Brunswick, 47: 377-383. .
- BRADFIELD, R. e V. C. JAMISON, 1938. Soil structure - attempts at its quantitative characterization. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Ann Arbor, 3: 70-76.
- BROOKS, R. H. ; C. A. BOWER e R. C. REEVE, 1956. The effect of various exchangeable cations upon the physical condition of soils. Soil Sci. Am. Proc., Ann Arbor, 20: 325-327.

BROWNING, G. M. e F. M. MILAN, 1944. Effect of different types of organic materials and lime on soil aggregation. Soil Sci., New Brunswick, 91: 106.

CAMARGO, R. D., 1954. O desenvolvimento da flora microbiana nos solos tratados com vinhaça. Boletim do Instituto Zimotécnico da E. S. A. "Luiz de Queiroz", Piracicaba, nº 9, 44 p.

CECCONI, S. A. ; A. SALAZAR e M. MARTELLI, 1963. Soil structure & chemical fertilizers. I - Effect of various cations & anions on the structural stability of soil. Apud Soil and Fertilizers, Harpenden, 6: 1963.

DAY, P. R., 1965. Particle fractionation and particle size analysis. In: BLACK, C. A. Methods of Soil Analysis. Agronomy, Washington, 9: Part. I. 545-567.

DEMOLON, A. e G. BARBIER, 1929. Conditions de formation et constitution du complexe argilo-humique des sols. Compt. Rend. Acad. Sci., Paris, 188: 654-656.

EPSTEIN, E., 1975. Effect of sewage sludge on some soil physical properties. J. Environ. Qual., Madison, 4: 139-142.

FILGUEIRAS, G., 1955. Novo processo para utilização das águas residuais das indústrias agrícolas. Brasil Açucareiro, Rio de Janeiro, 96-98.

FORSYTHE, W., 1975. Física de suelos. Costa Rica, IICA. 212 p.

GLÓRIA, N. A. da ; A. G. SANTA ANA e E. BIAGI, 1973. Composição dos resíduos de usinas e destilarias. Brasil Açucareiro, 81: 78-87.

- GLÓRIA, N. A. da, 1976. Emprego da vinhaça para fertilização. Piracicaba, CODISTIL / Construtora Dedini S.A. / Grupo Dedini. 32 p.
- GONDIM, G. S., 1974. Estudos de solos de fazendas da Usina Victor Sence. Rio de Janeiro, Conceição de Macabu. 40 p. (Publicação especial).
- GUPTA, S. C. ; R. H. DOWDY e W. E. LARSON, 1977. Hydraulic and thermal properties of a sandy soil as influenced by incorporation of sewage sludge. Soil Sci. Soc. Am. J., Ann. Arbor, 41: 601-605.
- HAYWARD, H. E. e C. H. WADLEIGH, 1949. Plant growth on saline and alkali soils. Advances in Agronomy, New York, 1: 1-35.
- HUMBERT, R. P., 1974. El cultivo de la caña de azucar. Trad. México, Editorial Continental. 719 pp.
- KIEHL, E. J., 1978. Caracterização e Interpretação das Propriedades do Solo. Piracicaba, ESALQ. (Apostila do Curso de Pós-Graduação de Solos e Nutrição de Plantas).
- KLUTE, A. e W. C. JACOB, 1949. Physical properties of sassafras silt loam as affected by long-term organic matter addition. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Ann Arbor, 14: 24-28.
- KLUTE, A., 1965. Laboratory measurement of hydraulic conductivity of saturated soil. In: BLACK, C. A. Methods of Soil Analysis. Agronomy, Washington, 9: Part 1, 210-221.

LABORATORIO DE SALINIDAD de los EUA, 1974. Diagnostico y Rehabilitacion de Suelos Salinos y Sódicos. Trad. México, CIMUSA, 172 p.

LEAMER, R. W. e B. SHAW, 1941. A simple apparatus for measuring noncapillary porosity on extensive scale. J. Am. Soc. Agron., Washington, 33: 1003-1008.

LUNT, H. A., 1959. Digested sewage sludge for soil improvement. Conn. Agric. Exp. Stn (New Haven) Bull. 622.

MALAVOLTA, E., 1967. Manual de Química Agrícola: Adubos e Adubação. 2^a ed. São Paulo. Biblioteca Agronômica Ceres.

MARCOS, Z. Z. ; J. L. I. DEMATTÊ e G. V. FRANÇA, 1967. So-los e Agrotecnia. Piracicaba, ESALQ. (Apostila do Curso Prático da Cadeira nº 13).

MAYS, D. A. ; G. L. TERMAN e J. C. DUGGAN, 1973. Municipal compost. Effect on crop yield and soil properties. J. Environ. Qual., Madinson, 2: 89-91.

MORACHAN, Y. B. ; W. C. MOLDENHAURE e W. E. LARSON, 1972. Effects of increasing amounts of organic residues on continuos corn. I - Yields and soil physical properties. Agron. J., Washington, 64: 199-203.

MUSGRAVE, G. W. e G. R. FREE, 1936. Some factors which modify the rate and total amount of infiltration of field soils. J. Am. Soc. Agron., Washington, 28: 727-739.

NEAL, J. H., 1937. The effect of degree of slope and rainfall characteristics on runoff and soil erosion. Missouri Agr. Exp. Sta. Research Bull. 280.

- NELSON, W. L. e L. D. BAVER, 1940. Movement of water through soil in relation to the nature of pores. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Ann Arbor, 5: 69-76.
- OLIVEIRA, L. B., 1968. Determinação da macro e microporosidade pela mesa de tensão em amostras de solo com estrutura indeformada. Pes. Agrop. Bras., Rio de Janeiro, 3: 197-200.
- O PROBLEMA da calda em Pernambuco, 1943. Brasil Açucareiro, Rio de Janeiro, 81-83.
- PASCHALL, A. H. ; R. T. A. BURKE e L. D. BAVER, 1934. Aggregation study on the Muskigum, Chester and Lansdal silt loam. Bul. Amer. Soil Sur. Assoc., 16: 44-45.
- PAULETTO, E. A., 1978. Estudo de dispersão de amostras de terra. Piracicaba, (Dissertação - ESALQ).
- POWERS, W. L., 1932. Characteristics of dispersible organic colloids in peats. Jour. Agr. Res., 34: 1-10.
- QUEIROZ NETO, J. P. e F. GROHMANN, 1963. Estado de agregação da Terra Roxa (série Chapadão) num ensaio de adubação de milho. Bragantia, Campinas, 22: 635-646.
- RADER Jr., L. F. ; L. M. WHITE e C. V. WHITTAKER, 1943. The salt index — a measure of the effect of fertilizers on the concentration of the soil solution. Soil Sci., New Brunswick, 55: 201-218.
- RANZANI, G., 1956. Consequências da aplicação do restilo ao solo (I). Anais da E. S. A. "Luiz de Queiroz", 12: 57-68.

- REICHARDT, K., 1977. Processos de Transferência no Sistema Solo-Água-Planta-Atmosfera. 3. ed. Publicação especial do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) e Fundação Kargill. Piracicaba, São Paulo, agosto, 286 p.
- RICHARDS, L. A. e L. R. WEAVER, 1944. Moisture retention by some irrigated soils as related to soil moisture tension. J. Agr. Res., 69: 215-235.
- RICHARDS, L. A., 1965. Physical condition of water in soil. In: BLACK, C. A. Methods of Soil Analysis. Agronomy, Washington, 9: Part. I. 128-137.
- ROBINSON, G. W., 1922. Note on the mechanical analysis of humus soils. Journ. Agr. Sci., 12: 287-291.
- SILLAMPAA, M., 1959. The influence of the initial soil moisture content on degree of water stable aggregation as determined by wet sieving. Apud Soils and Fertilizers, 23: 104. 1960.
- SOKOLOVSKY, A. N., 1933. The problem of soil structure. Trans. First Comn. Internat. Soc. Soil Sci. (Soviet. Sec. Mowcos) A , 1: 84-110.
- STEWART, V. I. ; W. A. ADAMS and H. H. ABDULLA, 1970. Quantitative pedological studies on soils derived from silurian mudstones. II - The relationships between stone content and apparent density of the fine earth. J. Soil. Sci., Oxford, 21: 248-255.
- THOMPSON, L. M. e F. R. TROEH, 1973. Soil and Soil Fertility. Third Edition. McGraw Hill Book Company, New York, 495 p.

- TIULIM, A., 1933. Certain considerations on the genesis of soil structure and on methods for its determination. Trans. First Comn. Internat. Soc. Soil Sci. (Soviet Sec. Moscow) A, 1: 111-132.
- UHLAND, R. E., 1949. Physical properties of soils as modified by crops and management. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Arnn Arbor, 14: 361-366.
- VETTORI, L., 1969. Métodos de análises de solo. Bol. Tec., Rio de Janeiro, 7.
- WHITE, L. M. e W. A. ROSS, 1936. Influence of fertilizers on concentration of the soil solution. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Arnn Arbor, 181-185.
- WHITE, L. M. e W. A. ROSS, 1939. Effect of various grades of fertilizers on the salt content of the soil solution. Jour. Agric. Research., 59: 81-99.
- WIERSUM, L. K., 1957. The relationships of the size and structural rigidity of pores to their penetration by roots. Plant and Soil, 9: 75-85.