

**EFEITOS DA COMPACTAÇÃO SOBRE O SISTEMA SOLO-
PLANTA EM CULTURA DE CANA-DE-AÇÚCAR**
(*Saccharum spp*)

OSNY OLIVEIRA SANTOS BACCHI

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Energia Nuclear na Agricultura.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Agosto - 1976

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

- Ao Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-Açúcar (IAA-PLANALSUCAR), pelas facilidades colocadas à nossa disposição.

- À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela bolsa concedida.

- Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), pelos equipamentos fornecidos e bolsa concedida.

- Ao Dr. Klaus Reichardt, pela orientação.

- Ao colega Luiz Roberto Angelocci, pela preciosa colaboração.

- Aos técnicos Sérgio Rubens Grachet e Armando Roberto Candido, pelos auxílios prestados nos trabalhos de campo e laboratório.

- Ao Sr. José Zurita Fernandes, Sra. Ana Maria Zaia Gheller, Srta. Maria Elizabeth C. Pariz e Srta. Marilda de Cassia Dezotti pela revisão, bibliografia e datilografia.

- E, a todos aqueles que de uma forma ou de outra contribuíram para a realização deste trabalho.

Í N D I C E

	<u>Página</u>
1. RESUMO	1
2. INTRODUÇÃO	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	6
3.1. O processo de compactação dos solos agrícolas	6
3.2. Forças responsáveis pela compactação	10
3.2.1. Compactação sob as rodas dos veículos	10
3.2.2. Compactação por implementos de preparo de solo.	13
3.3. Efeitos da compactação sobre o sistema solo-planta ...	14
3.3.1. Efeitos da compactação sobre as relações hídri- cas entre o solo e a planta	14
3.3.2. Efeitos da compactação sobre a aeração do solo.	17
3.3.3. Efeitos da compactação sobre as propriedades térmicas do solo	18
3.3.4. Efeitos da compactação sobre o comportamento dos nutrientes no sistema solo-planta	20
3.3.5. Efeitos mecânicos da compactação sobre o compor- tamento do sistema radicular	22
4. MATERIAL E METODOS	24
4.1. Solo	24
4.2. Planta	25
4.3. Atmosfera	25
4.4. Delineamento experimental	27

	Página
4.5. Adubação, espaçamento e época de plantio.....	28
4.6. Determinações feitas.....	28
4.6.1. Determinações feitas no solo	28
4.6.2. Determinações feitas na planta	30
4.6.3. Determinações feitas na atmosfera	30
5. RESULTADOS OBTIDOS	32
5.1. Solo.....	32
5.1.1. Densidade global dos perfís.....	32
5.1.2. Umidade do solo	37
5.1.3. Potencial da água no solo	37
5.2. Planta e atmosfera	37
5.2.1. Altura final dos colmos	37
5.2.2. Peso final dos colmos	45
5.2.3. Desenvolvimento da parte aérea e condições atmos- féricas	46
5.2.4. Sistema radicular e as condições físicas do solo	48
6. DISCUSSÃO	52
7. CONCLUSÕES	56
8. SUMMARY	58
9. LITERATURA CITADA	60

LISTA DAS TABELAS

<u>Tabela</u>	<u>Página</u>
1. Composição granulométrica do solo	25
2. Normais climatológicas de Piracicaba	26
3. Densidades globais do perfil de solo no tratamento 1	34
4. Densidades globais do perfil de solo no tratamento 2	34
5. Densidades globais do perfil de solo no tratamento 3	35
6. Densidades globais do perfil de solo no tratamento 4	35
7. Densidades globais do perfil de solo no tratamento 5	36
8. Densidades globais do perfil de solo no tratamento 6	36
9. Umidades dos perfis em % volume - Dados obtidos com a son- da de neutrons às profundidades de 30, 60 e 90 cm	38
10. Armazenamento de agua nas diversas camadas dos perfis	39
11. Armazenamento de agua nos perfis, de 15 à 105 cm de pro- fundidade	41
12. Potencial da agua no solo	43

13. Altura dos colmos no final do experimento (cm) até o primeiro "DEWLAP" visível	44
14. Peso dos colmos no final do experimento (Kg) após a retirada dos "palmitos"	45

1. RESUMO

No presente trabalho foram estudados os efeitos da compactação do solo sobre as características de armazenamento e retenção da água nos perfis de solo, desenvolvimento do sistema radicular da cana-de-açúcar e suas consequências sobre o comportamento da parte aérea das plantas.

Os tratamentos foram constituídos por 6 perfis de solo compactados artificialmente, procurando-se simular condições de campo com ocorrência do problema de compactação.

O acompanhamento das condições de umidade nos perfis foi feito com a utilização de uma sonda de nêutrons, tomando-se as medidas nas profundidades de 30, 60 e 90 cm. a partir da superfície do solo. Para observação dos potenciais de água no solo foram instalados tensiômetros de mercúrio às profundidades de 15, 30, 60 e 90 cm. As observações na planta consistiram de medidas periódicas do comprimento dos colmos, sua pesagem ao final do experimento e observação qualitativa da distribuição do sistema radicular.

Não foram observadas correlações positivas entre o desenvolvimento do sistema radicular em profundidade e o desenvolvimento e peso dos colmos. Apesar da pouca coerência entre os resultados, pareceu haver uma tendência de melhores produções nos tratamentos que mantiveram maiores níveis de umidade na camada de 15 à 45 cm.

A presença de camadas adensadas de sub-superfície mostrou ser mais prejudicial ao desenvolvimento radicular quando comparada com perfis homogêneos de densidades altas.

Os resultados obtidos sugerem que a execução de operações de preparo de solo a grandes profundidades (além de 40 cm) devem apenas ser indicadas para condições em que o revolvimento do solo represente uma melhoria na capacidade de armazenamento e translocação da água, aeração e desenvolvimento do sistema radicular, uma vez constatadas as limitações destes fatores sobre o desenvolvimento da parte aérea.

2. INTRODUÇÃO

A compactação de solos agrícolas pode parecer de fácil conceituação se for considerado apenas o aspecto físico, como se faz em estudos de mecânica de solos. No entanto, o problema é mais complexo, envolvendo aspectos físicos, químicos e biológicos, bem como fatores climáticos e de manejo.

O assunto já mereceu atenção de muitos pesquisadores, tendo sido bastante divulgado nos Estados Unidos por volta de 1950. Apesar do grande número de trabalhos publicados à respeito do problema há deficiências de informações fundamentais sobre: 1) o comportamento do solo quando submetido a forças de compressão; 2) o efeito desse comportamento sobre características do solo considerado como meio ambiente para as raízes e 3) as respostas das plantas a este ambiente. Estas informações necessárias são difíceis de se obter e, uma vez obtidas, são difíceis de se aplicar. Conseqüentemente outros campos de pesquisa têm tido prioridade e o problema da compactação ficou parcialmente esquecido (BARNES et alii, 1971).

A compactação artificial, induzida pelo manejo do solo tem características acumulativas, intensificando-se com a modernização das operações agrícolas. Além do crescente número de operações executadas, tem havido também um aumento nas dimensões dos equipamentos utilizados, agravando ainda mais o problema (McKIBBEN, 1971).

A cultura da cana-de-açúcar no Brasil vem sofrendo um rápido processo de modernização, onde são adotadas técnicas de cultivo e colheita intensamente mecanizadas que põem em risco as boas propriedades físicas do solo e o próprio rendimento dos canaviais.

Este fato foi constatado por TROUSE e HUMBERT (1961), no Havai, onde o problema surgiu como consequência da adoção do sistema mecanizado de colheita, exigido pela falta de mão de obra durante e logo após a segunda guerra mundial. Decréscimos na produtividade da ordem de 60 toneladas de cana por hectare e 3 toneladas de açúcar por hectare foram atribuídos à compactação do solo provocada pelas colhedadeiras e carretas de transportes, em locais onde as produções são da ordem de 200 t/ha e 18 t/ha, respectivamente. Recentemente SHUKLA (1974) cita a ocorrência de problemas de movimentação e armazenamento de água e ar no solo nos canaviais de Porto Rico, atribuindo as causas à recente introdução de pesadas máquinas na ilha para a operação de colheita.

GILL (1971) estima que nos Estados Unidos aproximadamente 30% da área cultivável é sujeita a compactação, sendo metade desse total constituída de áreas submetidas às operações culturais intensivas que podem compactar severamente os solos e baixar o rendimento das culturas. Considerando uma queda de 10% na produtividade dessa área, o autor estimou em 1,18 bilhões de dólares anuais o valor das perdas decorrentes do problema. Além

das perdas atribuídas a diminuição dos rendimentos agrícolas, poder-se-ia acrescentar os gastos adicionais que são necessários no manejo do solo compactado, exigindo máquinas de elevado custo e grande potência.

Acreditando na importância do problema e na falta de informações sobre o assunto conduzimos o presente trabalho, onde procuramos observar alguns efeitos da compactação sobre o sistema solo-planta. Foram estudados aspectos do armazenamento e tensão da água em perfis de solo compactados e o comportamento da cana-de-açúcar em um solo com diferentes condições físicas.

3. REVISÃO DE LITERATURA

Embora o presente trabalho trate apenas de alguns efeitos da compactação sobre o sistema solo-planta, incluímos nesse capítulo outros tópicos que julgamos de interesse para uma visão geral do problema.

3.1. O processo de compactação artificial dos solos agrícolas

"A compactação do solo é um processo dinâmico pelo qual o estado de compactação é aumentado (Gill e Vanden Berg (1967) citado por BAVER et alii (1972)). A mudança no estado de compactação resulta de uma variação no volume do solo quando este é submetido a uma força de compressão. Isto ocorre principalmente devido a uma reorganização das partículas do solo, conferindo-lhe um comportamento plástico (LAMBE, 1958). Esta plasticidade realmente se deve à reorganização das partículas, pois as demais alterações que ocorrem no solo durante a compressão são reversíveis. A compressão das micelas coloidais, a compressão e movimentação de gases e líquidos, apontados por LAMBE (1958) e HARRIS (1971) na descrição do processo

de compressão do solo, participam, segundo os próprios autores, apenas na mudança temporária do estado de compactação. Após cessada a ação da força ocorre a expansão das micelas e dos gases, e o líquido (água) retorna aos espaços entre as partículas, conferindo ao solo uma elasticidade parcial.

Assim, a suscetibilidade de um solo à compactação se deve principalmente a estrutura e a todos os fatores que de uma maneira ou de outra nela interferem.

Segundo BODMAN e CONSTANTIN (1965), RANEY e EDMINISTER(1955) os solos mais susceptíveis à compactação são os de textura média à moderadamente grosseira (francos, franco arenosos e franco siltosos) pela maior facilidade de reorganização de suas partículas. Obviamente os solos altamente porosos são mais susceptíveis ao processo de compactação que os solos menos porosos.

A água exerce um papel importante no processo como demonstram os dados obtidos por SOEHNE (1958) representados na figura 1.

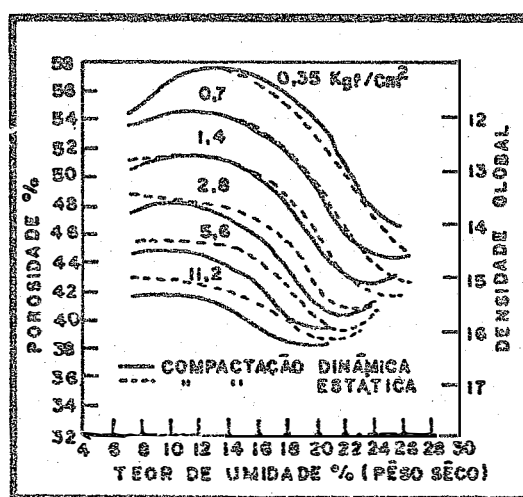


Fig. 1 - Compressibilidade de um solo por compressão estática e dinâmica em relação ao teor de umidade (SOEHNE, 1958).

Em geral, para condições parcialmente saturadas, quanto maior o teor de umidade do solo maior será a compactação para uma dada pressão aplicada. Após atingido o ponto de saturação as mudanças de volume da massa de solo ocorrem somente por perda de água da amostra. Pode-se observar pela figura 1 que as diferenças observadas nos efeitos dos tipos de força aplicada (estática e dinâmica) são pequenas, acentuando-se para cargas maiores.

Na prática este é um dos fatores mais importantes no manejo do solo e segundo WEAVER (1950) a umidade ótima para execução das operações de preparo do solo coincide aproximadamente com o teor que proporciona a máxima compactação do solo. Sendo assim, deve-se procurar outros meios de facilitar essa operação, procurando trabalhar o solo à umidades mais baixas ou a utilização de máquinas que exerçam o mínimo de pressão possível sobre o solo.

Além desses fatores já comentados, o tipo do mineral de argila exerce também alguma influência sobre a susceptibilidade do solo à compactação. Dois solos argilosos com a mesma distribuição granulométrica podem apresentar grandes diferenças nas propriedades coloidais, dependendo do tipo de mineral presente em cada um. Segundo HARRIS (1971) as partículas de argila estão sempre envolvidas por filmes de água e, a plasticidade, compactação, as ligações entre as partículas e o movimento da água no solo estão intimamente relacionados com estas camadas de água adsorvidas. As forças de atração e repulsão entre as partículas são dependentes do tipo de argila e responsáveis em grande parte pelo arranjo das mesmas na massa do solo. No caso das argilas montmoriloníticas ocorre grande repulsão entre as partículas conferindo-lhes uma estrutura casualizada. Em um

solo argiloso com minerais de caolinita as partículas de argila exibem uma estrutura floculada. Assim, o comportamento dos dois tipos de argila será diferente quando submetidos a uma força de compressão externa. Segundo YONG e WARKENTIN (1966) o comportamento dos dois tipos de estrutura é o apresentado na figura 2.

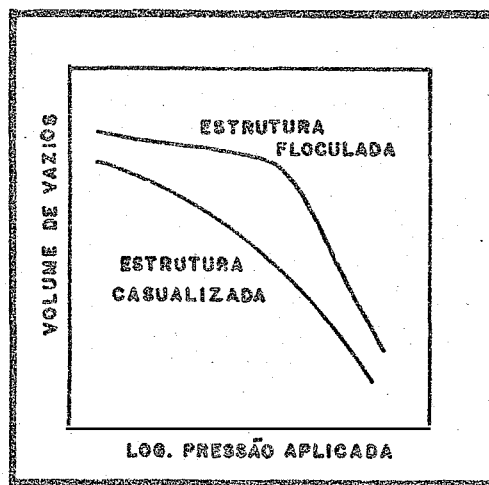


Fig.2 - Curvas típicas pressão x razão de vazios mostrando a influência do tipo de argila (YONG e WARKENTIN, 1966)

No caso da estrutura casualizada (Argilas montmoriloníticas), durante a compressão, as partículas são reorganizadas numa orientação mais paralela e então aproximadas uma das outras tendo que se vencer apenas as forças de repulsão. Na estrutura floculada (Argilas caoliniticas), para que ocorra uma grande variação de volume, as ligações estruturais devem ser rompidas, daí a razão das diferenças observadas na figura 2.

3.2. Forças responsáveis pela compactação

Embora outros fatores como o secamento e a contração do solo possam causar compactação, faremos aqui um comentário geral sobre os processos artificiais onde as causas se referem à aplicação de forças mecânicas durante as operações agrícolas.

3.2.1. Compactação sob as rodas dos veículos

A distribuição de pressão no solo sob as rodas dos veículos dependerá: 1) do peso do veículo que determinará o total da força exercida; 2) do tamanho da área de contato entre a roda e o solo, que determinará a quantidade de pressão exercida; 3) da distribuição da força dentro da área de contato e 4) do conteúdo de umidade e da densidade do solo (SDENNE, 1958).

Segundo GILL e REAVES (1956) a compactação resulta das forças horizontais causadas pelo deslocamento lateral do solo, bem como das forças verticais produzidas pela carga.

A profundidade de penetração dos pneus bem como a dos seus efeitos no solo aumentam com a umidade e com o menor estado de compactação inicial do solo (JAMISON et alii, 1951). Os autores observaram efeitos até à profundidade de 43 cm nos seus ensaios, nos tratamentos em que o perfil de solo se encontrava mais úmido.

REAVES e COOPER (1960) apresentam um gráfico (Fig.3) onde se pode observar a distribuição de pressões no perfil de um solo de textura barro limosa sob as rodas de um trator de pneus, à esquerda, e de um trator de esteiras, à direita. As pressões exercidas na superfície do solo fo-

ram de $0,865 \text{ Kgf/cm}^2$ para o trator de esteira e $1,786 \text{ Kgf/cm}^2$ para o trator de pneus, embora ambos apresentassem o mesmo peso total, devido a maior área de contato da esteira.

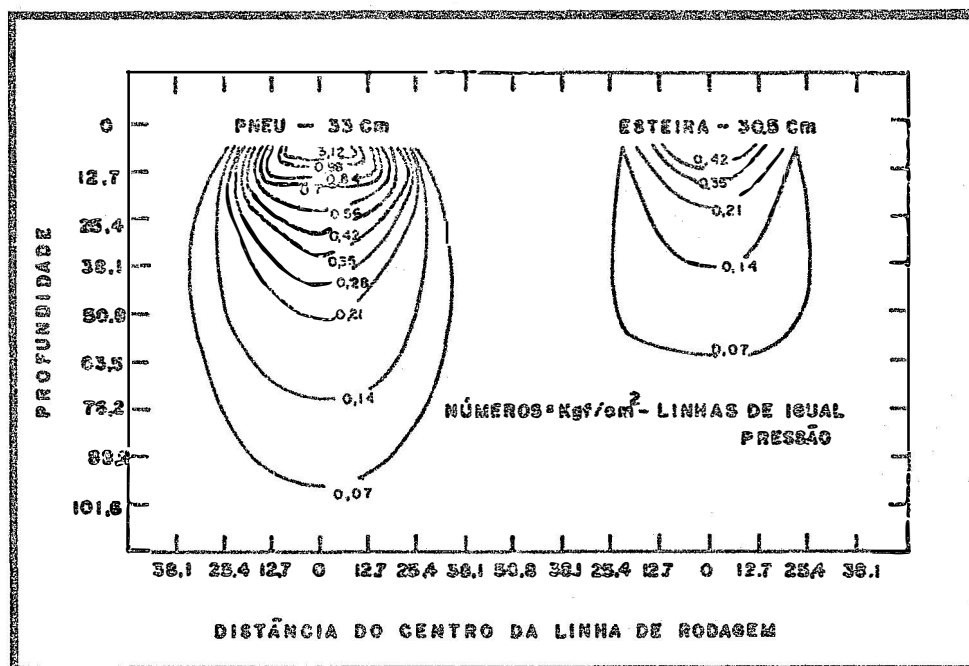


Fig.3 - Linhas de igual pressão perpendicularmente à direção do caminhamento para um trator de pneus e um de esteiras igualmente carregados (REAVES e COOPER, 1960).

Segundo TROUSE e HUMBERT (1961) as grandes carretas de transporte utilizadas no Havaí com peso total carregado de cerca de 45 à 70 ton exercem uma pressão no solo de aproximadamente $5 \text{ à } 6 \text{ Kgf/cm}^2$. Em condições de solo seco foram observados efeitos pronunciados sobre a densidade do perfil até à profundidade de 15 cm e em condições úmidas até à profundidade de 50 cm. No sentido de controlar o problema de compactação nos dias de chuva, foram desenvolvidos na região carretas menores, de esteiras longas

e largas, com capacidade para 8 ton e que exercem uma pressão de 0,42 Kgf/cm² quando carregadas. Essas carretas fazem o transporte do campo de colheita para as grandes carretas que por sua vez fazem o transporte dos carregadores para a usina.

Trouse e Baver, citados por BAVER et alii (1972) demonstraram que as colhedeiras mecanizadas, exercendo pressões de até 2,5 Kgf/cm² sobre a superfície do solo, nas entrelinhas, podem causar em decréscimo de 62% no espaço poroso do solo nos primeiros 15 cm superficiais, diminuindo a taxa de infiltração de água em 74%, como mostra a figura 4.

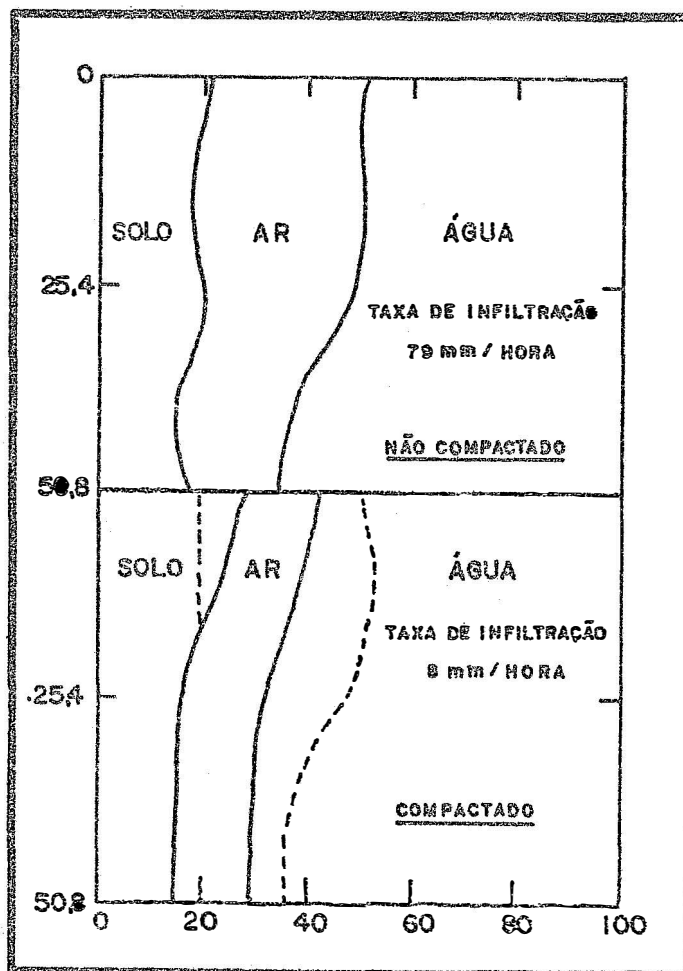


Fig.4 - Efeito da compactação causada por uma colhedeira em um latossol húmico (Trouse e Baver, citados por BAVER et alii, 1972)

3.2.2. Compactação por implementos de preparo de solo.

É indiscutível o efeito benéfico das operações de preparo de solo para o plantio da cana-de-açúcar, como mostram os resultados obtidos por GLOVER (1967). No entanto, em determinados tipos de solo, principalmente os argilosos, as ferramentas podem dar origem às chamadas soleiras, como mostram os resultados obtidos por TROUSE e BAVER (1965) que testaram vários implementos agrícolas. Estas superfícies compactadas pela ação dos implementos reduzem a permeabilidade do solo à água e restringem o desenvolvimento do sistema radicular às profundidades de ação das ferramentas, podendo após vários anos de cultivo anular os efeitos benéficos iniciais de tais operações.

Quanto as arações e gradagens são feitas sempre à mesma profundidade o problema pode se agravar, até que seja necessário quebrar aquela camada compacta que se forma, utilizando-se ferramentas de ação mais profunda como os subsoladores. No entanto, o mesmo efeito ocorre com os subsoladores, de modo que a sua utilização apenas significa a transferência do problema para uma superfície mais profunda (TROUSE e BAVER, 1965).

Estas superfícies compactas surgem pela ação de compressão das ferramentas, acompanhada pelo atrito das mesmas com as partículas de argila, que formam uma fina camada na superfície superior da camada compactada (NICHOL et alii, 1958). Estudando a prática da subsolagem no Havai TROUSE e HUMBERT (1959) observaram que a densidade do solo nas proximidades da abertura feita pelos subsoladores aumentava de $0,2 \text{ g/cm}^3$.

Segundo BAVER et alii (1972), estudos realizados no Havai mostraram que a operação de gradagem, após a subsolagem, anula praticamente os efeitos desta última, elevando a densidade do solo aos valores ori-

ginais. Este fato fez com que houvesse no período de 1956 à 1964 um decréscimo de 50% no número de propriedades canavieiras que continuaram a utilizar a gradagem como prática de rotina no preparo de solo.

Portanto, certas operações de preparo de solo, que teriam como finalidade principal promover ótimas condições físicas para o desenvolvimento das raízes podem, em determinados tipos de solo, causar problemas adversos.

3.3. Efeitos da compactação sobre o sistema solo-planta

As modificações estruturais que ocorrem no solo após a compactação são responsáveis por uma série de alterações nos processos de armazenamento e transferência de água, gases, nutrientes e calor no solo, assim como no desenvolvimento do sistema radicular das plantas, quer por efeitos mecânicos de impedimento quer como consequência das alterações nos processos de armazenamento e transferência.

Analisando os tratamentos teóricos sobre os processos de armazenamento e transferência daqueles componentes do solo, amplamente discutidos por REICHARDT (1973), pode-se observar claramente as consequências da compactação sobre esses processos e de certa forma interpretar os resultados experimentais sobre os efeitos agronômicos da compactação.

3.3.1. Efeitos da compactação sobre as relações hídricas entre o solo e a planta.

O efeito da compactação sobre a condutividade hidráulica dos solos é fato conhecido e este parâmetro tem sido até recomendado como indi-

cador do estado estrutural do solo, como mostram RICHARDS et alii (1960). Evidências experimentais são inúmeras sobre o decréscimo na condutividade hidráulica pela compactação e, teoricamente, o fato pode ser explicado pelo exame da equação de Darcy:

$$v = -K(\theta) \frac{\partial \psi}{\partial z} \quad \text{onde:}$$

v = velocidade de fluxo

$K(\theta)$ = condutividade hidráulica

θ = umidade do solo

ψ = potencial da água no solo

z = distância

$$K = \frac{k \rho_e g}{n} \quad \text{onde:}$$

k = propriedade do solo denominada permeabilidade intrínseca (cm^2) que depende do arranjo geométrico das partículas e da umidade que determinam a secção transversal útil para o fluxo.

ρ_e = densidade do líquido

g = aceleração da gravidade

n = viscosidade do líquido

Como se observa o valor de k exprime a área útil para o fluxo, que pode ser modificada pelo estado de compactação e pela umidade do solo.

Como exemplo prático da influência da compactação na condutividade hidráulica podemos citar os resultados obtidos por MARTINEZ e LUGO-LOPEZ (1953). Os autores, estudando os efeitos do preparo de solo sobre as características físicas de perfis de solo, encontraram taxas de infiltração da ordem de 142 mm/h para os tratamentos que receberam

arações e gradagens contra 13 mm/h nos perfis não trabalhados.

PARKER e JENNY (1945), em estudos comparativos das propriedades físicas de solos virgens e cultivados, encontraram valores muito baixos nas taxas de infiltração de água em camadas de solo situadas logo abaixo da profundidade de aração, quando comparadas com as camadas de mesma profundidade dos solos virgens.

Quanto à capacidade de armazenamento e às características de retenção de água, a compactação exerce sua influência, diminuindo a quantidade retida em condição de saturação (baixas tensões) e aumentando a quantidade armazenada à altas tensões como mostram os resultados obtidos por CHANG e WARKENTIN (1968). Isto acontece pelo aumento do número de pequenos poros como consequência da diminuição dos macroporos, como explicam BOX e TAYLOR (1962) e HILL e SUMNER (1967).

As consequências agronômicas da diminuição da velocidade de infiltração de água nos solos e das alterações nas características do armazenamento dependem de uma série de condições, como tipo da cultura e seu estágio de desenvolvimento, condições climáticas do local, etc. De uma maneira geral pode-se dizer que as principais consequências são: redução na capacidade de aproveitamento das precipitações com consequente aumento do "runoff"; possibilidade de constante saturação do perfil quando ocorrem camadas adensadas de sub-superfície, causando danos às raízes por excesso de água; diminuição na translocação de água e nutrientes em direção às raízes.

3.3.2. Efeitos da compactação sobre a aeração do solo.

A aeração do solo, definida como a renovação da composição de seu ar, é de grande importância para o desenvolvimento dos vegetais e dos microorganismos do solo, condicionando diretamente a vida nesse ambiente, por falta de oxigênio e/ou excesso de gás carbônico, ou indiretamente, pela indução à formação de materiais tóxicos pelos microorganismos, perdas de nitrato por diminuição da atividade microbiana, alterações no pH e a consequente disponibilidade de nutrientes (GRABLE, 1966; CAMARGO e GROHMANN 1972).

Sendo a aeração altamente dependente da porosidade do solo, quer pelo mecanismo de fluxo de massa quer por difusão, processos amplamente abordados por GRABLE (1971) e REICHARDT (1975), a compactação pode alterá-la e conseqüentemente modificar o ambiente das raízes em todos os aspectos apontados anteriormente.

Embora a compactação provoque grandes restrições às trocas gasosas entre o solo e a atmosfera, podendo causar, em curtos períodos, danos irreparáveis ao sistema radicular de muitas plantas, muitos trabalhos de campo demonstram que sob determinadas condições a compactação não chega a modificar sensivelmente a composição do ar do solo (PHILLIPS e KIRKHAM, 1962). Essas condições se referem àquelas que promovem aumento nos gradientes de pressão, responsáveis pela movimentação dos gases, tais como: mudanças de temperatura do ar do solo, flutuações na pressão barométrica, ventos, chuva e irrigação.

Segundo BAVER (1956), VOMOCIL e FLOCKER (1961), pode-se considerar que 10% em volume é o menor valor de porosidade para o qual ainda ocorrem trocas gasosas no solo, mas no entanto, ROBINSON (1964) mostra que

à porosidades próximas à esta a cana-de-açúcar desenvolveu-se bem sem mostrar problemas decorrentes de aeração deficientes. Vários trabalhos, comentados por GRABLE (1966), demonstram que para cada tipo de solo e para cada cultura existem limites de porosidade considerados ótimos, limites estes que variam sob determinadas condições tais como idade da planta, nutrição, temperatura, intensidade luminosa, etc.

Para se ter uma idéia da ordem de grandeza das composições do ar do solo e do ar atmosférico podemos citar os dados obtidos por Russel e Appleyard citados por CAMARGO (1972) que são os seguintes:

	O ₂	CO ₂	N ₂
atmosfera livre	20,9%	0,03%	78,9%
atmosfera do solo	19,6%	0,9 %	79,5%

À respeito da influência da aeração sobre o crescimento das plantas, alguns trabalhos parecem demonstrar que o principal problema é a deficiência de oxigênio e não tanto o de excesso de gás carbônico como mostram os resultados obtidos por ERICKSON (1946) trabalhando com tomateiros e LEONARD e PINCKARD (1946), trabalhando com algodoeiros.

3.3.3. Efeitos da compactação sobre as propriedades térmicas do solo.

A compactação pode alterar as propriedades térmicas do solo na medida em que modifica uma série de características responsáveis por estas propriedades tais como a densidade, o conteúdo e transmissão de água e refletividade da superfície.

Segundo REICHARDT (1975), WILLIA e RANEY (1971) a transmis-

são de calor nos solos se dá principalmente por condução, podendo ser expressa pela seguinte equação:

$$q = -K \frac{\partial T}{\partial x} \quad \text{onde:}$$

q = quantidade de calor transferido por unidade de área e de tempo

K = condutividade térmica do solo

T = temperatura

x = coordenada de posição

O fator K, segundo os autores, é afetado principalmente pelo tipo de solo, densidade e conteúdo de umidade, apresentando valores mais altos para solos arenosos compactos e úmidos. Assim, para o Latossol Roxo com o qual trabalhamos, DECIC (1967) encontrou a seguinte expressão que mostra a dependência de K com os dois últimos fatores mencionados.

$$K = 10^{-4} (1,28 \log \theta - 0,71) 10^{1,07} \rho_g \quad \text{onde:}$$

θ = umidade em % volume

ρ_g = densidade global (g/cm^3)

GRADWELL (1963) mostra que aumentos de apenas $0,4 \text{ g/cm}^3$ na densidade global dos solos ($0,9 \text{ g/cm}^3$ à $1,26 \text{ g/cm}^3$) podem aumentar de até duas vezes a condutividade térmica do solo.

Em medidas feitas durante noites de inverno, os autores observaram que os solos compactos perdem de 10 à 20 cal/cm^2 à mais que os solos soltos.

Resultados semelhantes foram obtidos por DECIC (1967) estudando três tipos de solo do Estado de São Paulo.

Por sua vez, o calor específico dos solos, definido como a quantidade de calor cedida ou recebida pela unidade de massa ou de volume quando sua temperatura varia de 1°C , é dado pela seguinte expressão, apresentada por REICHARDT (1975)

$$C = (1-P)C_s + \theta.C_a \quad \text{onde:}$$

C = calor específico do solo

P = porosidade

C_s = calor específico da fração sólida

θ = umidade % volume

C_a = calor específico da água

Como se pode observar, a compactação poderá diminuir o valor de P e aumentar o valor de θ resultando em um aumento do valor de C .

As implicações práticas das alterações de K (condutividade térmica) e C (calor específico) dos solos pela compactação são bastante discutidos por WILLIS e RANEY (1971) onde são abordados problemas de transferência de calor entre o solo e a atmosfera em várias situações particulares como em diferentes épocas do ano, períodos do dia, cobertura morta, etc. De um modo geral pode-se dizer que a compactação modifica as condições térmicas do ambiente das raízes que, como sabemos, são muito importantes nos processos de germinação, desenvolvimento radicular, atividade microbiana, difusão de solutos e gases, reações químicas, etc.

3.3.4. Efeitos da compactação sobre o comportamento dos nutrientes no sistema solo-planta.

Os nutrientes, assim como a água e os gases, movem-se no so-

lo pelos mecanismos de difusão e fluxo de massa que, como já vimos, são processos dependentes do estado de compactação do meio.

Segundo KEMPER et alii (1971) além de modificar os mecanismos pelos quais os nutrientes são translocados no solo, a compactação pode alterar a quantidade de nutrientes disponíveis, na medida em que altera a mineralização dos compostos orgânicos, afetando o processo de aeração do solo. Os autores comentam que a compactação aumenta a velocidade de translocação da maioria dos nutrientes e que por outro lado, diminui a quantidade de nutrientes mineralizados.

PARISH (1971) discute os efeitos benéficos e maléficos da compactação sobre a nutrição das plantas, mostrando que a disponibilidade de alguns nutrientes pode ser aumentada em solos neutros e alcalinos pelo abaixamento do pH quando o solo é compactado.

Resultados obtidos por JUANG e UEHARA (1969) mostram claramente que ocorre uma diminuição na absorção de fósforo pela cana-de-açúcar à medida em que se aumenta a compactação do solo. Além disso ocorre também uma diminuição no tamanho do sistema radicular que pode agravar ainda mais o problema da absorção, considerando-se que o volume de solo explorado torna-se menor.

Além dos problemas de translocação, mineralização dos nutrientes orgânicos e disponibilidade por variações de pH deve-se salientar o fato de que a compactação pode criar barreiras entre as raízes e o local onde é colocado o fertilizante diminuindo assim a sua eficiência,

3.3.5. Efeitos mecânicos da compactação sobre o comportamento da do sistema radicular.

A resistência do solo à compressão volumétrica ou à deformação linear são maiores para solos compactados do que para solos soltos nas mesmas condições de umidade como demonstram VOMOCIL e CHANCELLOR (1967). Isto significa logicamente maior dificuldade de penetração das raízes em solos compactados como demonstram vários autores tais como JUANG e UEHARA (1969), TROUSE e HUMBERT (1961), TROUSE (1967), TAYLOR (1971) e outros.

TROUSE e HUMBERT (1961) e TROUSE (1967) estudando os solos cultivados com cana-de-açúcar no Havaí determinaram, para cada tipo de solo, valores de densidade global considerados limites críticos para o desenvolvimento da cultura.

WIERSUM (1957) demonstra que as raízes são capazes de penetrar no solo quando o diâmetro dos poros é maior que o seu diâmetro e que a rigidez dos poros é fator muito importante para o desenvolvimento das raízes que neles penetram.

GROHMANN e QUEIROZ NETO (1966) estudando os efeitos da compactação sobre a penetração das raízes de arroz, concluíram também que a rigidez dos poros foi o fator limitante no desenvolvimento radicular.

Vários autores tais como MONTEITH e BANATH (1965), TACKETT e PEARSON (1964), TAYLOR e BURNETT (1964), ZIMMERMAN e KARDOS (1961), TAYLOR e GARDNER (1963) tentaram separar os efeitos do impedimento mecânico dos efeitos das demais condições do solo sobre o desenvolvimento do sistema radicular, trabalhando em condições controladas.

Os resultados, no entanto, são bastante contraditórios e como explica VOMOCIL (1957) todos os fatores podem ser igualmente importan-

tes, dependendo de cada situação em particular e devendo-se levar em conta a interação entre todos os efeitos.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Solo

O experimento foi conduzido em área da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" nas proximidades do posto meteorológico, apresentando as seguintes coordenadas geográficas: 22^o42' latitude Sul, 47^o38' longitude Oeste e 576 metros de altitude.

O solo do local é um Latossol Roxo que, de acordo com a 7.^a Aproximação, foi classificado como ACROHUMOX. A área mapeada com este tipo de solo compreende 14,7% da superfície do Estado, ocupando uma área bastante representativa nas regiões canavieiras paulistas. Trata-se de um solo de coloração vermelho-arroxeadada, argiloso, bastante poroso e profundo com a seguinte composição granulométrica: (Tabela 1)

Tabela 1. Composição granulométrica do solo.

Profundidade (cm)	% Argila	% Limo	% Areia
0 - 30	60	17	23
30 - 60	63	23	14
60 - 90	55	26	19
90 - 120	52	26	22
120 - 150	54	24	22
150 - 180	49	28	23

4.2. Planta

A variedade de cana utilizada foi a CB41-76 cujas mudas foram obtidas junto à Estação Experimental de Cana-de-Açúcar do Instituto do Açúcar e do Alcool em Araras-SP. Optou-se por esta variedade dada a sua grande utilização nos plantios comerciais dentro do Estado de São Paulo, ocupando o 1º lugar entre as variedades mais cultivadas, com 39% da área canavieira paulista. Ocupa ainda o 3º lugar entre as variedades mais plantadas no Brasil, com 18% do total da área canavieira.

4.3. Atmosfera

As normais climatológicas de Piracicaba de acordo com as observações do posto meteorológico da ESALQ num período de 11 anos são as apresentadas na Tabela 2 .

Tabela 2. Normais climatológicas de Piracicaba no período de 1960 à 1970.

mês.	Press. barom. mm	Temperatura - °C		Umidade - %		Vento m/s	Dias nubl.	Chuva - mm		Inso- lação hs	Eva- po- ração mm								
		máxima	mínima	Relat. Umid. %	Nebul. %			1939-70	1960-70										
	média	absol	absol	média	média	média	cls.	Total	dias	ano.	total								
Jan.	711,8	23,9	29,9	36,0	18,7	12,3	1968	76	6,9	2,3	3	13	15	223,8	16	70,7	1966	203,1	108,6
Fev.	712,2	23,8	29,9	38,5	18,9	12,3	1943	77	7,1	2,1	2	11	15	190,1	15	95,3	1942	170,9	86,1
Mar.	713,2	23,2	29,6	35,2	17,8	11,0	1961	74	5,3	2,1	6	16	9	131,1	12	88,9	1962	210,9	106,5
Abr.	714,2	21,1	28,0	33,5	14,6	3,7	1952	71	3,9	2,1	10	16	4	52,7	6	95,3	1945	216,8	110,4
Mai.	715,7	18,5	26,0	33,8	11,7	1,6	1968	72	3,9	1,7	11	16	4	37,9	5	80,0	1958	214,1	101,0
Jun.	716,6	17,2	24,8	30,8	10,1	-0,5	1942	72	3,7	2,0	11	15	4	37,9	4	77,7	1945	185,3	97,2
Jul.	717,2	17,0	25,0	32,0	9,4	-0,8	1942	67	3,5	2,1	12	16	3	22,8	4	39,5	1946	215,4	125,0
Ago.	715,8	19,2	27,6	35,8	10,9	-2,6	1955	60	3,4	2,3	14	13	4	24,3	3	32,7	1970	219,6	165,6
Set.	714,5	21,2	28,8	38,0	13,2	0,7	1943	60	4,9	2,7	10	11	9	48,4	6	41,9	1966	192,2	185,9
Out.	713,4	22,0	28,9	38,4	15,6	5,1	1947	69	6,7	3,1	4	13	14	112,6	10	65,1	1940	188,4	151,4
Nov.	712,0	22,8	29,4	39,5	16,3	8,4	1950	68	6,0	3,2	5	14	11	130,1	11	104,9	1942	211,8	147,3
Dez.	711,8	23,4	29,4	38,5	17,7	11,9	1944	73	7,0	3,0	2	13	16	191,0	14	111,2	1944	192,5	126,1
Ano	714,0	21,1	28,1	39,5	14,6	-2,6	1955	70	5,2	2,4	90	167	108	1202,7	106	111,2	1944	2421,0	1511,1

4.4. Delineamento experimental

O experimento foi constituído por 6 tratamentos, sendo que 5 foram representados por modificações artificiais das densidades globais do perfil de solo original, procurando simular diferentes condições que poderiam ocorrer num perfil compactado pela ação de máquinas agrícolas.

Foram abertas trincheiras de 1,10 m de profundidade, 1,50 m de largura por 3,0 m de comprimento que funcionaram como grandes recipientes onde foram plantadas as linhas de cana. As camadas de terra foram retiradas e recolocadas na ordem natural de sua ocorrência nos perfis para que não se modificasse a sequência original dos horizontes. Um dos tratamentos consistiu de perfil não modificado, onde foi aberto apenas o sulco de plantio.

A compactação dos perfis de solo foi feita manualmente com auxílio de soquetes, em pequenas camadas de 10 cm a medida em que se recolocava o material nas trincheiras abertas.

Os 6 perfis utilizados estão esquematizados na figura 5, onde são mostrados detalhes da instalação dos tubos de acesso para a sonda de nêutrons e dos tensiômetros, bem como o croqui da área do experimento.

As densidades globais das diferentes camadas foram determinadas somente no final do experimento.

Praticamente o experimento constou de 6 grandes recipientes cavados no próprio terreno, sendo que cada um constituiu um tratamento. Em cada uma das trincheiras, dentro de uma linha de cana, foram plantados 6 toletes de 2 gemas que deram origem a 6 touceiras que foram observadas individualmente, constituindo as nossas repetições.

4.5. Adubação, espaçamento e época de plantio

O plantio foi feito em outubro de 1974 empregando-se a adubação correspondente à 60 Kg N/ha, 90 Kg P₂O₅/ha e 120 Kg K₂O/ha. Foram utilizados sulcos de 30 cm de profundidade, espaçados 1,5 m e plantou-se a cana através de toletes de 2 gemas, colocando-se 2 toletes por metro linear de sulco.

4.6. Determinações feitas

4.6.1. Determinações feitas no solo

Durante o preparo do solo para o plantio foi instalado, em cada perfil, um tubo de acesso para sonda de nêutrons, até a profundidade de 1,10 m, onde seriam feitas observações periódicas (10 em 10 dias) de umidade, nas profundidades de 30, 60 e 90 cm. Foram também instalados tensiômetros às profundidades de 15, 30, 60 e 90 cm, com manômetros de mercúrio, para observações diárias dos potenciais de água nos diferentes perfis.

A determinação das densidades globais, necessárias para a transformação dos dados da sonda (contagens por minuto) para umidade (θ % em volume) foi efetuada após o corte do experimento, abrindo-se novamente as trincheiras e utilizando-se anéis volumétricos cravados horizontalmente nos perfis, como mostra a figura 6. O referido amostrador de fabricação da SOILTEST retira um volume de amostra cilíndrica de 136 cm³.

A sonda de neutrons utilizada, pertencente ao CENA (Centro de Energia Nuclear na Agricultura) é de fabricação dinamarquesa NORDISK ELEKTRISK APPARATFABRIK, cujo esquema, em posição de funcionamento, apre-

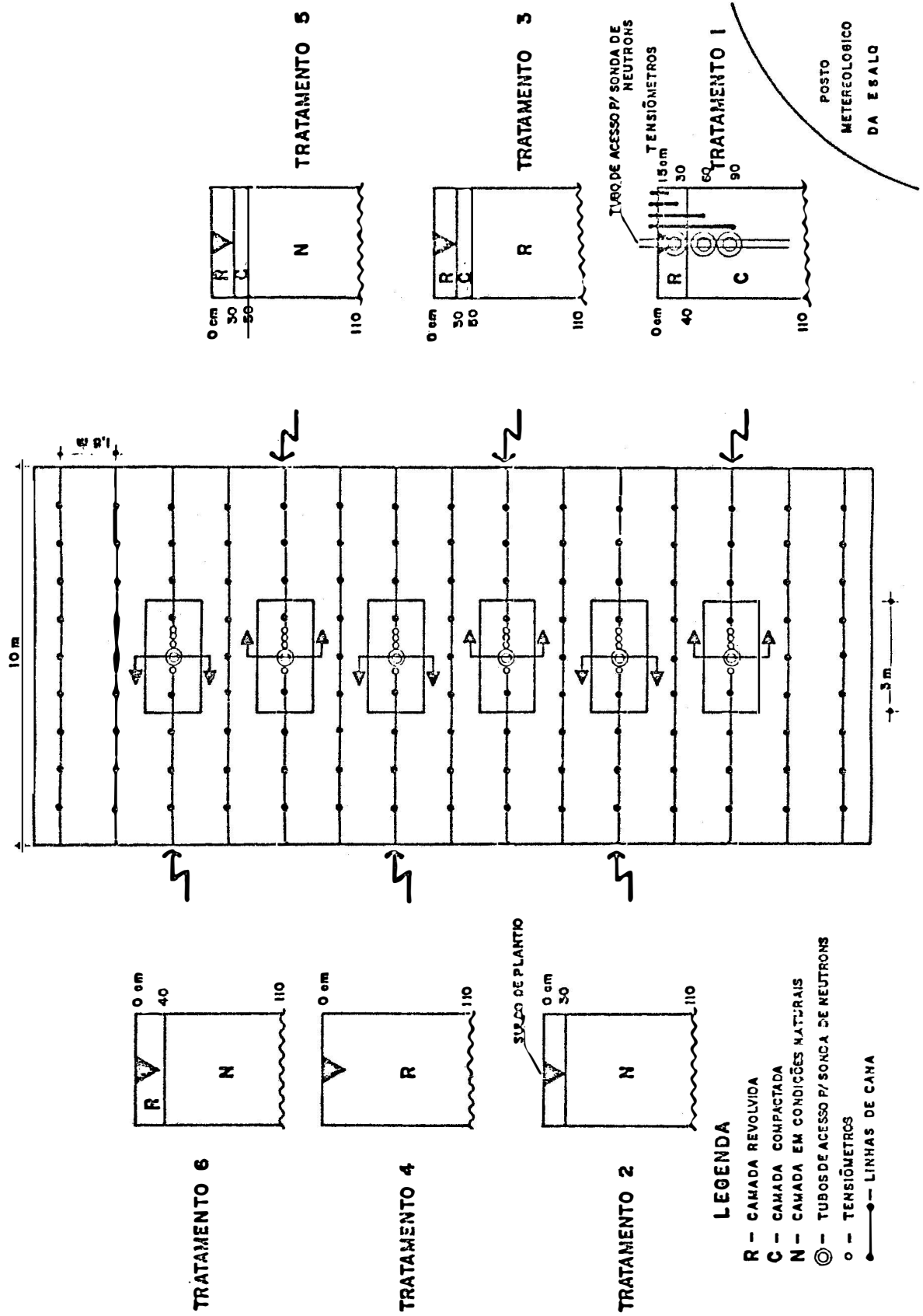


Fig. 5 Croqui da área experimental (centro) e representação esquemática dos tratamentos (esquerda e direita)

sentamos na figura 7 .

4.6.2. Determinações feitas na planta

Durante todo o ciclo foram feitas medidas periódicas do comprimento dos colmos, tomando-se 4 colmos por touceira num total de 24 colmos por tratamento.

Depois do corte foram tomados os pesos individuais dos colmos, após a retirada dos "palmitos". Por ocasião da reabertura das trincheiras, para determinação das densidades, foram feitas observações visuais do sistema radicular das plantas nos diferentes tratamentos procedendo-se uma lavagem das raízes para soltá-las do solo, evidenciando a sua distribuição nas três dimensões.

4.6.3. Determinações meteorológicas

Paralelamente às observações no solo e na planta, foram tomados dados referentes à precipitação pluviométrica, evaporação do tanque Classe A e temperatura do ar junto ao posto meteorológico da ESALQ, situado nas proximidades da área do experimento.

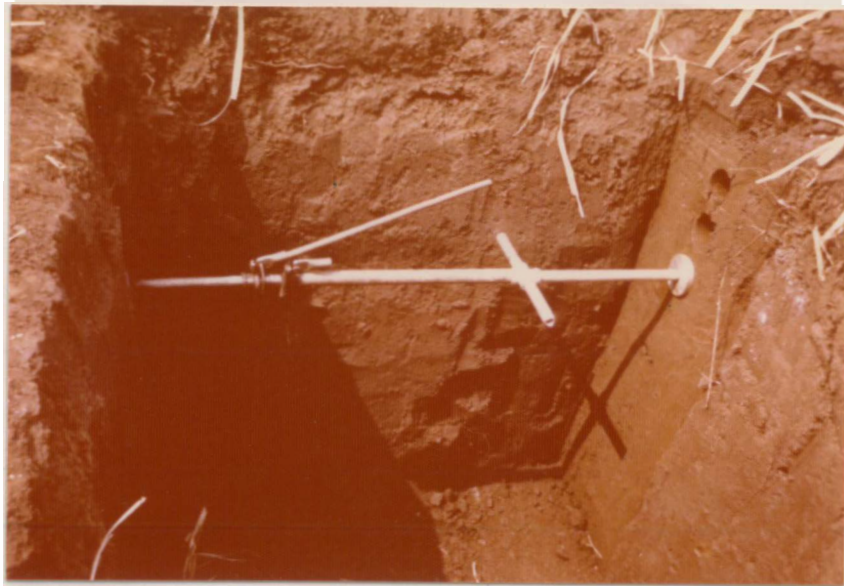


Fig. 6 - Amostrador de solo para determinação da densidade global.

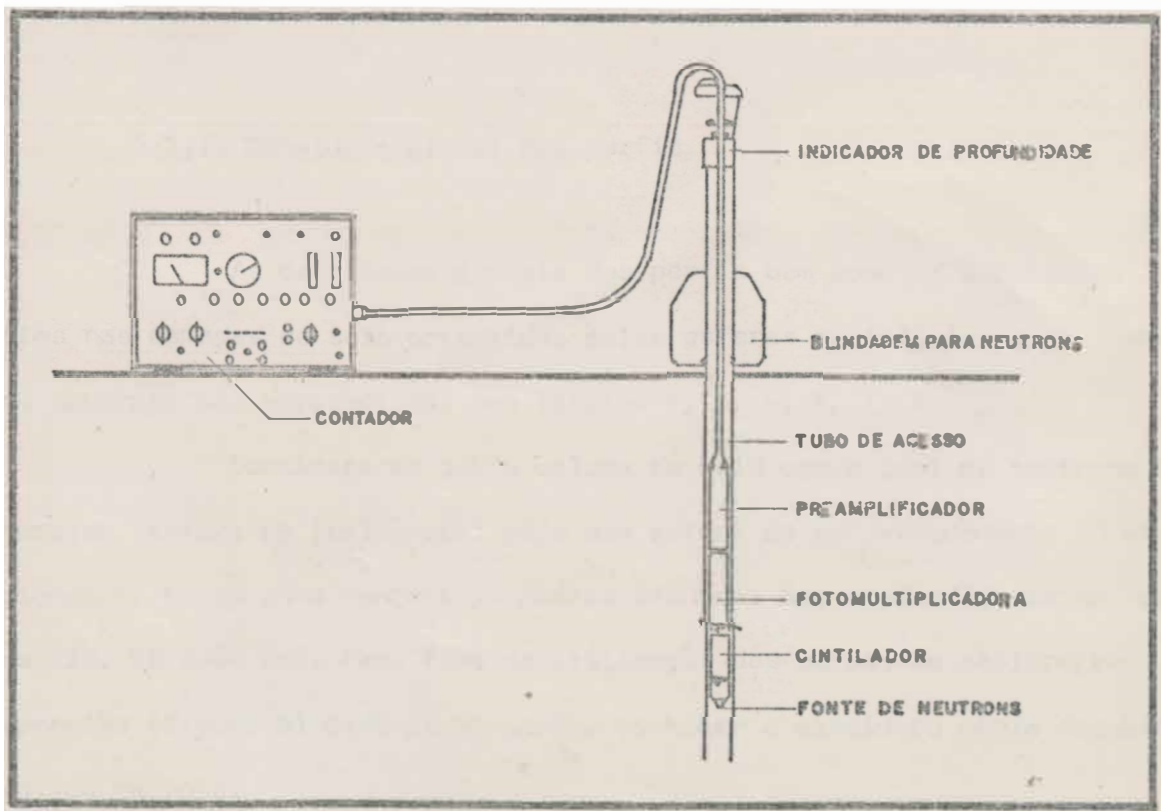


Fig. 7 - Representação esquemática da sonda de neutrons em posição de funcionamento.

5. RESULTADOS OBTIDOS

5.1. Solo

5.1.1. Densidade global dos perfis

As densidades globais dos perfis bem como as densidades médias nas camadas de solo abrangidas pelas esferas de influência da sonda de neutrons são apresentados nas Tabelas 3, 4, 5, 6, 7, e 8.

Considera-se que o volume de solo com o qual os neutrons interagem (esfera de influência) seja uma esfera de aproximadamente 30 cm de diâmetro, tendo como centros os pontos situados nas profundidades de medição (30, 60 e 90 cm). Para fins de utilização das curvas de calibragem do aparelho (figura 8) deve-se portanto, conhecer a densidade média daquele volume de solo.

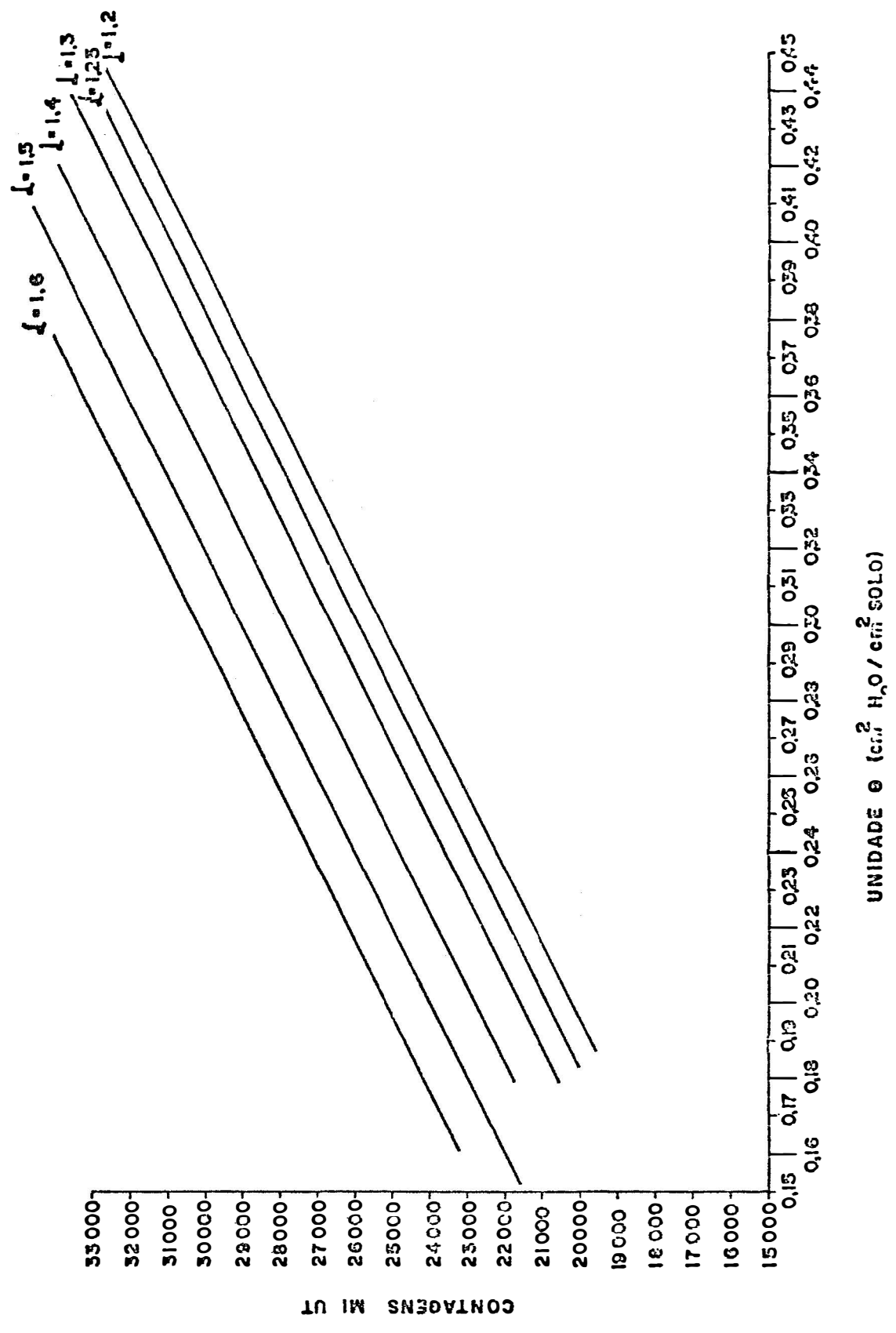


Fig. 8 - Curvas de calibragem da sonda de neutrons.

Tabela 3. Densidades globais do perfil de solo no tratamento 1.

Profundidades (cm)	Densidades (g/cm ³)				Densidades médias nas esferas de influência da sonda de neutrons (g/cm ³)
	Média				
0 - 10	1,25	1,37	1,37	1,33	
10 - 20	1,16	1,23	1,19	1,19	
20 - 30	1,25	1,25	1,23	1,24	1,22
30 - 40	1,25	1,20	1,24	1,23	
40 - 50	1,56	1,61	1,63	1,60	
50 - 60	1,58	1,65	1,63	1,62	1,59
60 - 70	1,61	1,55	1,49	1,55	
70 - 80	1,56	1,47	1,47	1,50	
90 - 110	1,40	1,49	1,52	1,47	1,49

Tabela 4. Densidades globais do perfil de solo no tratamento 2.

Profundidades (cm)	Densidades (g/cm ³)				Densidades médias nas esferas de influência da sonda de neutrons (g/cm ³)
	Média				
0 - 10	1,45	1,48	1,54	1,49	
10 - 20	1,60	1,58	1,59	1,59	
20 - 30	1,58	1,41	1,45	1,48	1,51
30 - 40	1,39	1,46	1,50	1,45	
40 - 50	1,40	1,40	1,37	1,39	
50 - 60	1,39	1,44	1,37	1,40	1,40
60 - 70	1,42	1,38	1,46	1,42	
70 - 80	1,40	1,41	1,33	1,38	
90 - 110	1,41	1,44	1,38	1,41	1,40

Tabela 5. Densidades globais do perfil de solo no tratamento 3.

Profundidades (cm)	Densidades (g/cm ³)				Densidades médias nas esferas de influência da sonda de neutrons (g/cm ³)
	Média				
0 - 10	1,21	1,28	1,32	1,27	
10 - 20	1,10	1,20	1,12	1,14	
20 - 30	1,20	1,21	1,13	1,18	1,20
30 - 40	1,25	1,25	1,34	1,28	
40 - 50	1,60	1,60	1,30	1,50	
50 - 60	1,38	1,41	1,41	1,40	1,44
60 - 70	1,44	1,39	1,40	1,41	
70 - 80	1,35	1,41	1,38	1,38	
90 - 110	1,43	1,39	1,32	1,38	1,38

Tabela 6. Densidades globais do perfil de solo no tratamento 4.

Profundidades (cm)	Densidades (g/cm ³)				Densidades médias nas esferas de influência da sonda de neutrons (g/cm ³)
	Média				
0 - 10	1,34	1,29	1,30	1,31	
10 - 20	1,23	1,24	1,16	1,21	
20 - 30	1,14	1,04	1,03	1,07	1,15
30 - 40	1,12	1,19	1,20	1,17	
40 - 50	1,12	1,19	1,17	1,16	
50 - 60	1,20	1,24	1,25	1,23	1,21
60 - 70	1,20	1,20	1,29	1,23	
70 - 80	1,24	1,25	1,26	1,25	
90 - 110	1,17	1,22	1,18	1,19	1,22

Tabela 7. Densidades globais do perfil de solo no tratamento 5.

Profundidades (cm)	Densidades (g/cm ³)				Densidades médias nas esferas de influência da sonda de neutrons (g/cm ³)
	Média				
0 - 10	1,19	1,20	1,22	1,20	
10 - 20	1,15	1,20	1,16	1,17	
20 - 30	1,20	1,18	1,10	1,16	1,25
30 - 40	1,35	1,44	1,41	1,40	
40 - 50	1,45	1,47	1,60	1,50	
50 - 60	1,30	1,30	1,36	1,32	1,40
60 - 70	1,30	1,24	1,33	1,29	
70 - 80	1,42	1,40	1,40	1,41	
90 - 110	1,44	1,40	1,36	1,40	1,40

Tabela 8. Densidades globais do perfil de solo no tratamento 6.

Profundidades (cm)	Densidades (g/cm ³)				Densidades médias nas esferas de influência da sonda de neutrons (g/cm ³)
	Média				
0 - 10	1,20	1,31	1,24	1,25	
10 - 20	1,33	1,24	1,18	1,25	
20 - 30	1,20	1,17	1,23	1,20	1,22
30 - 40	1,21	1,21	1,23	1,22	
40 - 50	1,31	1,44	1,45	1,40	
50 - 60	1,44	1,44	1,43	1,44	1,41
60 - 70	1,37	1,43	1,40	1,40	
70 - 80	1,44	1,39	1,43	1,42	
90 - 110	1,40	1,38	1,44	1,41	1,42

5.1.2. Umidade do solo

Os dados de umidade do solo nas profundidades de 30, 60 e 90 cm, obtidos através das medidas com a sonda de nêutrons encontram-se na Tabela 9.

Através destes dados foram calculados os armazenamentos de água em milímetros para as camadas de solo compreendidas entre 15 e 45 cm; 45 e 75 cm; 75 e 105 cm que se encontram na Tabela 10 e na figura 9.

Foram também calculados os armazenamentos totais nos perfis considerando a camada de solo compreendida entre 15 e 105 cm, que se encontram na Tabela 11 e na figura 10.

O armazenamento na camada de 0 a 15 cm não foi determinado devido as limitações do equipamento de medida.

5.1.3. Potencial da água no solo

Os resultados obtidos com os tensiômetros encontram-se na Tabela 12, onde os valores com asterisco representam os dados mais altos em cada dia de observação, em cada profundidade.

5.2. Planta e atmosfera

5.2.1. Altura final dos colmos

Os dados de altura dos colmos no final do experimento encontram-se na Tabela 13.

Tabela 9. Umidades dos perfis em % volume. Dados obtidos com a sonda de neutrons.

DIA	TRATAMENTO 1			TRATAMENTO 2			TRATAMENTO 3			TRATAMENTO 4			TRATAMENTO 5			TRATAMENTO 6		
	30cm	60cm	90cm	30cm	60cm	90cm	30cm	60cm	90cm	30cm	60cm	90cm	30cm	60cm	90cm	30cm	60cm	90cm
14/11	22,16	29,86	25,92	28,36	31,38	24,26	28,78	29,62	23,88	23,22	26,22	28,00	23,46	29,08	23,24	25,08	24,78	25,68
19/11	32,32	29,68	22,02	32,24	30,90	25,32	41,40	27,06	22,16	26,64	26,32	28,68	35,54	28,02	24,82	30,72	25,66	29,48
22/11	38,38	31,40	24,16	35,14	33,16	29,72	45,54	29,50	22,26	33,54	26,20	34,94	40,26	32,84	28,96	34,82	30,00	31,92
25/11	34,90	31,70	23,78	34,30	32,26	28,22	43,38	28,46	22,80	30,30	30,52	31,34	38,36	31,16	26,44	32,98	28,62	30,58
27/11	36,70	32,08	24,82	34,52	32,80	28,80	42,42	27,74	23,64	30,46	30,66	30,86	38,46	30,28	26,02	33,00	28,58	30,16
07/12	36,14	31,90	24,60	35,06	32,68	28,18	37,88	29,26	24,28	32,52	31,24	32,50	40,30	31,52	27,16	34,30	29,08	30,90
11/12	38,70	31,18	23,32	35,20	32,28	27,58	44,32	28,48	23,40	33,68	31,46	30,82	41,24	31,88	26,48	33,54	28,18	30,12
26/12	35,26	30,84	23,32	34,28	32,92	28,98	43,80	28,74	22,96	31,96	30,82	32,56	40,94	31,52	26,70	34,12	28,42	30,20
04/01	35,28	31,84	23,38	34,50	32,02	28,64	43,22	28,44	23,28	31,02	30,78	31,50	40,00	30,92	26,46	32,82	28,60	31,60
15/01	35,12	31,58	22,78	33,84	32,24	27,38	43,12	26,96	21,84	31,70	30,58	30,76	39,26	31,60	25,60	31,58	26,94	29,32
22/01	32,20	31,02	22,62	33,74	31,26	27,08	41,34	27,30	22,26	30,02	29,12	29,60	38,18	29,44	25,54	28,74	27,24	29,12
29/01	25,92	28,08	21,90	29,90	29,68	24,46	26,56	24,66	20,76	24,62	26,00	27,54	30,76	26,82	23,72	25,02	23,16	27,74
06/02	36,98	31,64	22,98	35,68	33,18	29,90	43,66	26,82	20,90	33,48	31,80	32,06	40,44	31,34	28,24	32,80	29,14	23,58
13/02	34,26	30,52	23,14	34,74	31,98	28,20	41,80	26,92	21,90	30,64	29,32	30,44	37,84	29,84	26,08	30,54	27,48	29,48
19/02	29,22	28,30	22,22	32,44	29,80	25,28	41,86	25,62	22,10	27,28	27,90	27,42	33,40	27,50	24,24	29,02	23,20	29,32
26/02	38,18	31,72	23,86	35,40	32,26	30,44	43,62	28,74	21,34	33,18	32,20	32,12	40,20	31,76	29,36	33,24	28,84	31,66
05/03	32,94	31,02	22,52	32,84	31,44	26,82	43,12	26,54	21,58	30,06	29,12	29,16	36,70	29,08	25,46	31,78	26,42	29,66
14/03	26,84	26,22	22,02	29,90	27,02	25,08	38,62	24,34	19,40	27,88	27,20	27,94	32,36	27,64	23,84	27,72	22,82	27,14
20/03	26,14	25,48	20,56	26,98	24,84	22,58	36,44	22,62	19,98	24,70	25,74	26,64	30,30	25,44	23,00	25,86	21,22	26,36
26/03	26,36	25,08	19,42	27,38	24,26	21,44	35,84	21,70	18,58	23,42	25,44	25,26	29,58	23,84	22,44	25,18	21,58	25,36
02/04	25,28	24,64	18,08	27,32	23,52	20,42	35,46	20,98	17,50	22,68	24,32	24,80	28,90	23,64	20,78	24,36	20,78	23,82
09/04	19,72	25,92	18,64	26,56	23,38	19,74	34,52	20,76	16,38	22,06	23,44	23,82	28,90	22,40	20,18	24,14	20,64	23,54
23/04	29,24	26,60	19,70	29,78	28,04	20,54	39,56	25,10	15,62	28,00	26,62	26,50	32,76	26,42	20,92	29,36	22,06	26,48
01/05	26,74	24,30	16,96	28,28	25,00	20,02	35,96	22,36	17,08	25,36	25,56	24,74	29,34	24,36	19,80	26,40	18,64	26,20
09/05	22,42	24,04	16,04	27,62	23,80	19,96	36,72	21,86	17,26	24,34	23,82	24,02	29,12	23,66	19,52	26,18	21,58	24,78
25/05	24,90	23,08	15,22	25,84	23,04	19,70	34,40	20,22	15,54	23,16	23,02	21,90	26,88	22,48	18,94	24,20	20,44	22,38
11/07	23,68	21,40	14,18	25,78	21,96	18,26	32,14	17,64	15,22	20,28	21,15	21,00	25,74	19,94	17,40	22,62	19,48	20,96
14/08	22,88	21,08	13,98	22,66	24,06	16,92	31,54	17,12	14,78	19,68	20,54	20,28	24,98	20,08	16,66	22,64	19,32	20,88

Tabela 10. Armazenamento de água nas diversas camadas dos perfis (milímetros)

DIA	TRATAMENTO 1			TRATAMENTO 2			TRATAMENTO 3			TRATAMENTO 4			TRATAMENTO 5			TRATAMENTO 6		
	15-45	45-75	75-105	15-45	45-75	75-105	15-45	45-75	75-105	15-45	45-75	75-105	15-45	45-75	75-105	15-45	45-75	75-105
14/11	66	90	78	85	94	73	86	89	72	70	79	84	70	87	70	75	74	77
19/11	97	89	66	76	93	76	123	81	66	80	79	86	107	84	74	92	80	88
22/11	115	94	72	105	99	89	137	89	67	101	79	105	121	99	87	104	90	96
25/11	105	95	71	103	97	85	130	85	68	91	92	94	115	93	79	99	86	92
27/11	110	96	74	104	98	86	127	83	71	91	90	93	115	91	78	99	86	90
07/12	108	96	74	105	98	90	114	88	73	98	94	98	121	95	81	103	87	93
11/12	116	94	70	106	97	83	133	85	70	101	94	92	124	96	79	101	85	90
26/12	106	93	70	103	99	87	131	86	69	96	92	98	123	95	80	102	85	91
04/01	106	96	70	104	96	86	130	85	70	93	92	95	120	93	79	98	86	95
15/01	105	95	68	102	97	82	129	81	66	95	92	92	118	95	77	95	81	88
22/01	97	93	68	101	94	81	124	82	67	90	87	89	115	88	77	86	82	87
29/01	78	84	66	90	89	73	80	74	62	74	78	83	92	80	71	75	69	83
06/02	111	95	69	107	100	90	131	80	63	100	95	96	121	94	85	98	87	71
13/02	103	92	69	104	96	85	125	81	66	92	90	91	114	90	78	92	82	88
19/02	88	85	67	97	89	76	126	77	66	82	84	82	100	83	73	87	70	85
23/02	115	95	72	106	97	91	131	86	64	100	97	96	121	95	88	100	87	95
05/03	99	93	68	99	94	80	129	80	65	90	87	87	110	87	76	95	79	89
14/03	81	79	66	90	81	75	116	73	58	84	82	84	97	83	72	83	68	81
26/03	78	76	62	81	75	68	109	68	63	74	77	80	91	76	69	78	64	79
20/03	79	75	58	82	73	64	108	65	56	70	76	76	89	72	67	76	65	76
02/04	76	74	54	82	71	61	106	63	53	68	73	74	87	69	62	73	62	71
09/04	59	78	56	80	70	59	104	62	49	66	70	71	87	67	61	72	62	71
23/04	88	80	59	89	84	62	119	75	47	84	80	80	98	79	63	88	66	79
01/05	80	73	51	85	75	60	108	67	51	76	77	74	88	73	59	79	57	79
09/05	67	72	48	83	71	60	110	66	52	73	71	72	87	71	59	79	65	74
25/05	75	69	46	78	69	59	103	61	47	69	69	66	81	67	57	73	61	67
11/07	71	64	43	77	66	55	96	53	46	61	63	63	77	60	52	68	58	63
14/08	69	63	42	68	72	51	95	51	44	59	62	61	75	60	50	68	58	63

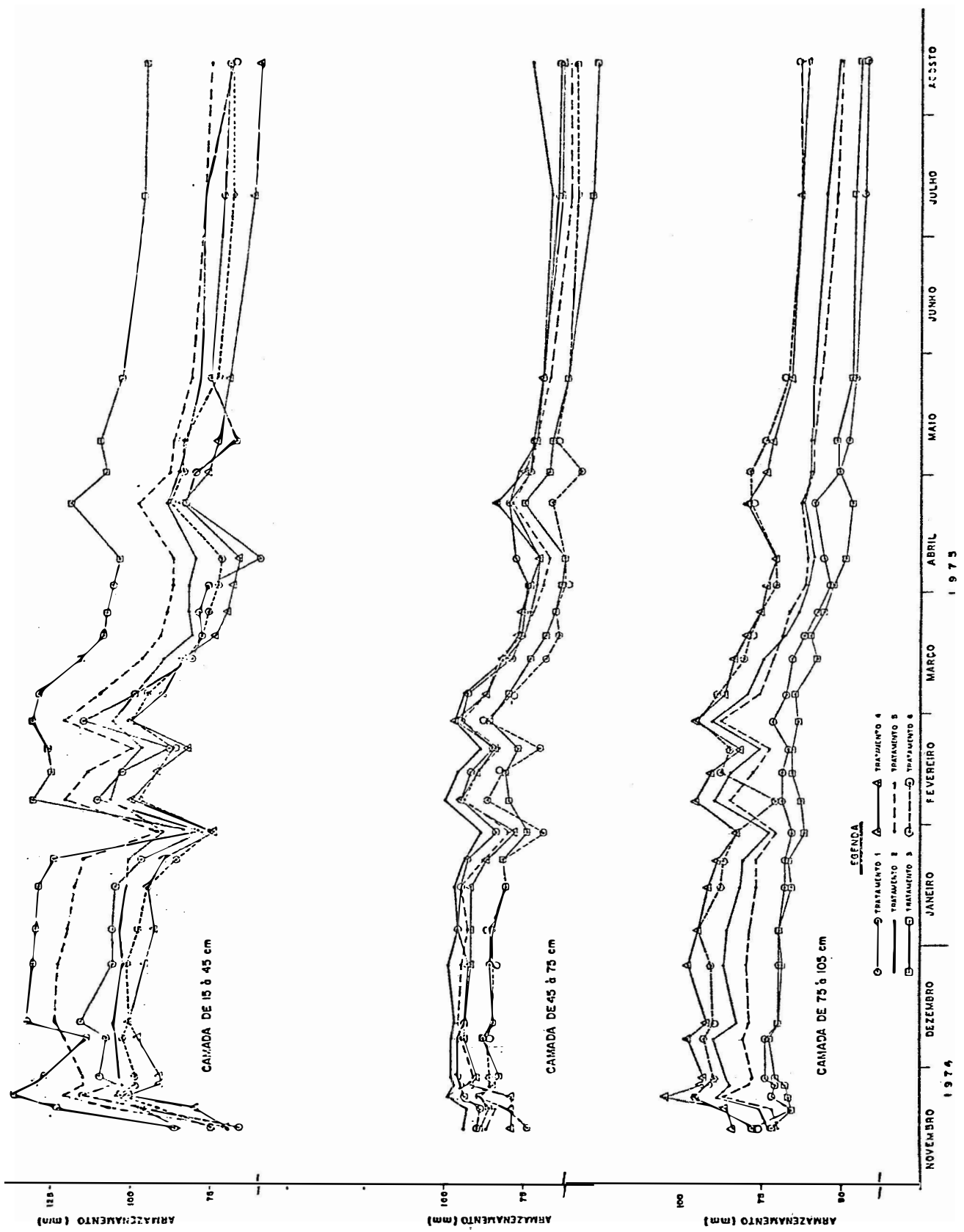


Fig. 9 Variações do armazenamento de água nos erfis, nas camadas de 15 a 45 m, 45 à 75 cm e 5 à 105

Tabela 11. Armazenamento de água nos perfis, de 15 à 105 cm de profundidade (milímetros)

DIA	TRATAMENTO 1	TRATAMENTO 2	TRATAMENTO 3	TRATAMENTO 4	TRATAMENTO 5	TRATAMENTO 6
14/11	234	252	247	233	227	226
19/11	252	266	270	245	265	260
22/11	281	293	293	285	307	290
25/11	271	285	283	277	287	277
27/11	280	288	281	274	284	275
07/12	278	293	275	290	297	283
11/12	280	286	288	287	299	276
26/12	269	289	286	286	298	278
04/01	272	286	285	280	292	279
15/01	268	281	276	279	290	264
22/01	258	276	273	266	280	255
29/01	228	252	216	235	243	227
06/02	275	297	274	291	300	256
13/02	264	285	272	273	282	262
19/02	240	262	269	248	256	242
26/02	282	294	281	293	304	282
05/03	260	273	274	264	273	263
14/03	226	246	247	250	252	232
20/03	216	224	237	231	236	221
26/03	212	219	229	222	228	217
02/04	204	217	222	215	218	206
09/04	193	209	215	207	215	205
23/04	227	235	241	244	240	233
01/05	204	220	226	227	220	215
09/05	187	214	228	216	217	218
25/05	190	206	211	204	205	201
11/07	178	198	195	187	189	189
14/08	174	191	190	182	185	189

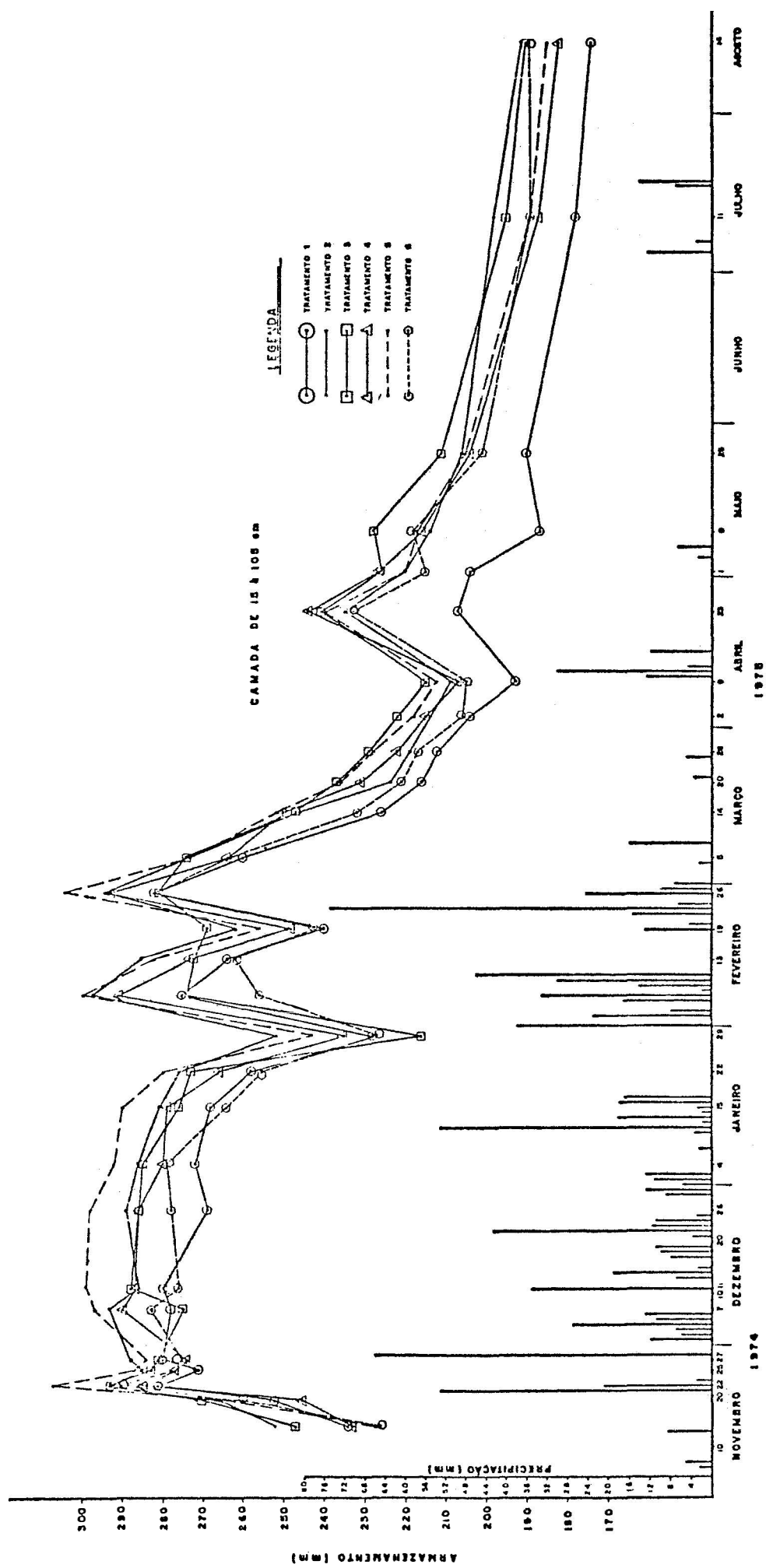


Fig 10 Variações do a zenamento de água nos perfis na camada de 15 à 105 cm

Tabela 12. Potencial da água no solo (centímetros de coluna d'água)

DIA	TRATAMENTO 1						TRATAMENTO 2						TRATAMENTO 3						TRATAMENTO 4						TRATAMENTO 5						TRATAMENTO 6.					
	15	30	60	90	15	30	30	60	90	15	30	60	30	60	90	15	30	60	30	60	90	15	30	60	30	60	90	15	30	60	30	60	90	15	30	60
01/11	55,72	35,68	4,42	114,28*	68,32*	35,68	27,1	91,6	56,98	31,90	51,04	77,74	64,54	50,80*	59,6*	94,12	54,46	44,5	34,66	77,74	48,16	35,68	37,18	58,84												
04/11	91,00	20,8	24,58	111,76*	131,32*	43,24	29,62	91,6	87,22	44,50	69,94	86,56	93,52	60,88*	71,2*	107,98	80,92	48,28	39,70	89,09	68,32	40,72	39,70	62,62												
05/11	103,60	57,1	24,58	113,02*	141,40*	44,5	29,62	86,56	97,82	50,80	59,86	87,82	98,56	60,88*	80,02*	106,72	98,56	50,8	43,48	91,6	72,1	40,72	39,70	64,4												
07/11	123,76	65,92	22,05	113,02*	160,30	45,76	30,88	86,56	122,5	65,92	63,68	87,82	140,16	68,44*	80,02*	110,5	174,16*	62,14	9,46	82,86	102,34	40,72	39,70	68,92												
09/11	132,58	67,18	25,84	111,76*	166,46	48,28	33,4	87,82	141,4	67,18	63,68	87,82	165,18	72,72*	81,80*	110,5	179,2*	64,66	8,2	85,38	106,12	43,24	60,98	68,92												
13/11	239,60	94,90	39,7	142,0	369,3	79,78	57,1	123,10	406,0	129,0*	81,80	129,4	494,2	132,10	109,0*	167,2*	522,0*	113,8	8,2	123,1	269,9	88,6	51,94	91,6												
14/11	242,20	102,46	61,12	130,58	307,72	82,13	54,82	123,16	310,24	164,2*	82,62	128,36	469,0	141,52	120,34*	162,16*	565,8*	116,32	-	118,05	273,7	94,9	49,78	95,38												
16/11	374,10	87,34	47,26	126,88	286,30	92,38	59,86	123,16	332,92	157,9*	82,62	128,36	469,0	141,52	120,34*	162,16*	565,8*	116,32	8,2	123,1	327,88	120,1	52,30	97,9												
18/11	576,10	113,8	62,38	147,64	471,52	132,7	74,98	146,78	369,8	258,9*	115,3	139,68	658,0	176,8	136,20*	179,8*	714,7	151,6	-	133,18	471,52	167,98	58,6	94,12												
19/11	777,7	132,7	77,5	160,9	519,4	151,6	64,9	142,0	632,8	258,9*	115,3	139,68	658,0	176,8	136,20*	179,8*	714,7	151,6	-	133,18	562,24	217,12	49,78	96,62												
23/11	21,7	6,7	-	129,4*	21,7	31,9*	20,8	96,64	28,0	13,0	46,0	66,4	28,0	21,82	46,0*	79,0	28,0	19,3	14,5	53,8	28,0*	25,6	27,10	47,5												
25/11	59,5	25,6	1,9	116,8*	84,7*	31,9*	20,8	91,6	46,9	31,9	52,3	77,7	59,5	44,5	56,6*	91,6	65,8	31,9	20,8	72,7	59,5*	25,6	27,10	47,5												
27/11	34,3	19,3	1,9	91,6	65,8	25,6	14,5	66,4	65,8	57,1	58,6	85,04	91,0	57,1	71,2*	110,5*	172,9*	50,8	27,10	79,0	116,2	94,9	27,10	53,8												
28/11	15,4*	13,0	1,9	53,8	15,4*	6,7	-	60,1	15,4*	0,4	30,88	85,3	15,4	19,3	33,4*	79,0*	15,4*	0,4	8,2	79,0*	2,8	0,4	14,5	47,5												
29/11	40,5	25,6	14,5	79,0	40,6	25,6	14,5	60,1	34,3	19,3	33,4*	79,0*	40,6	38,2*	33,4*	79,0*	46,9*	31,9	33,4	66,4	33,3	25,6	27,1	41,2												
30/11	34,3	13,0	0	72,7	46,9	19,3	8,2	60,1	28,0	13,0	46,0	56,32	40,6	31,9	46,0*	79,0*	33,4*	25,6	14,5	53,8	34,3	25,6	14,5	34,9												
05/12	35,56	31,9	33,4	84,0*	46,9*	25,6	27,1	66,4	40,6	44,5	58,6	85,3	34,3	25,6	32,7	75,22	30,52	31,9	33,4	38,68	21,7	9,22	-	426,8*												
07/12	28,0	13,0	0	84,0*	46,9*	25,6	8,2	61,36	31,78	13,0	33,4	60,1	46,0	38,2	30,1*	110,5*	106,12*	31,9	17,02	87,82	56,98	41,98*	20,8	61,2												
09/12	38,08	19,3	1,9	104,2*	87,22	19,3	14,5	85,3	63,28	47,02	52,3	79,0	66,32	49,34	64,9*	97,9*	185,5*	48,28	23,32	79,0	113,68	97,42*	22,16	53,8												
11/12	9,1	4,18	-	104,2*	17,92	13,0	5,68	89,08	17,92	2,92	54,82*	85,3	21,7*	15,52	27,1	87,82	20,44	9,22	7,46	87,82	21,7*	23,08*	27,1	53,8												
13/12	24,22	4,18	-	95,38*	40,6	25,6	8,2	87,82	30,52	10,48	52,3*	79	31,78	25,6	34,66	72,7	40,6	20,56	10,72	85,3	24,22	23,08	17,02	53,8												
16/12	30,52	13,0	-	85,3	43,12*	15,52	23,32	87,82	30,52	15,52	52,3*	81,52	35,56	31,9	43,48	82,78	44,38*	28,12	17,02	85,3	34,3	41,98*	15,76	51,28												
20/12	17,92	-	-	75,22*	21,7	9,22	-	46,24	24,22*	0,4	39,7*	57,58	17,92	16,78	23,32	63,88	21,7	10,48	15,76	89,08*	25,48	26,86*	10,72	53,8												
26/12	26,3*	13,0	-	51,29	40,6	18,04	-	32,38	29,26	7,96	35,92*	43,72	24,22	16,78	24,38	55,06*	44,38*	13,0	4,42	41,2	25,48	34,42*	1,9	21,02												
29/12	85,96	59,62	19,54	97,9	166,6	50,8	20,8	85,3	84,7	86,08	52,1	79,0	65,8	50,8	64,9*	104,2*	242,2*	60,88	30,88	79,0	166,6	265,0*	30,48	53,8												
03/01	24,22	6,7	0	87,82*	36,82*	21,82	1,9	57,58	28,0	10,48	52,1*	79,0	46,9	21,82	21,1	65,14	28,0	19,3	11,98	50,01	28,0	24,34*	14,5	31,12												
05/01	53,2	31,9	14,5	91,6*	91,0*	38,20	14,5	66,4	53,2	35,56	52,3*	66,4	46,9	38,2	51,04	79,0	75,88	35,68	23,32	68,4	59,5	69,7*	20,8	47,5												
05/01	132,58	123,68	4,42	81,52	302,68*	94,90	1,9	70,18	162,82	106,24	61,12*	72,7	116,72	113,80	61,12*	94,12*	235,9	68,44	24,38	73,96	250,08	305,32*	20,8	43,72												
07/01	210,7	123,88	8,2	89,08	661,78*	135,22	23,32	81,52	208,18	141,52	66,16	79,0	87,22	50,8	73,72*	95,38*	283,78	94,9	32,14	79,0	433,72	489,28*	24,58	47,5												
10/01	89,2	202,0	10,72	79,0	892,36*	554,80	5,68	85,3	797,86	491,8	102,7*	82,78	257,32	218,38	101,44	116,8*	692,02	319,18	66,9	86,56	434,98	821,92*	39,7	79,0												
13/01	30,52	4,18	0	81,52	148,96*	59,62	-	63,28	53,2	13,0	136,72	100,42*	29,26	25,6	30,88	82,7	49,42	154,52	8,2	68,92	132,58	116,32	14,5	50,02												
15/01	45,64	59,62	11,98	107,98	213,22*	101,2*	23,32	99,16	85,96	53,32	170,20*	163,42*	69,58	41,98	63,64	116,8	63,28	25,6	27,1	31,64	116,2	76,0	77,5	85,3												
22/01	57,72	63,40	18,28	125,62	353,05*	161,88*	20,80	106,7	119,98	91,12	222,40*	174,76*	92,26	50,8	73,72	124,36	91,0	25,6	30,88	50,02	213,22	141,52	130,42	97,9												
24/01	72,1	132,70	30,88	126,88	543,34*	353,20*	20,80	111,76	205,66	155,38	260,20*	192,4*	132,58	60,88	86,32	135,7	137,62	6,7	49,78	76,48	403,48	278,66	228,7	194,2												
26/01	112,42	183,1	27,10	126,88	630,28*	558,58*	17,02	124,36	472,78	229,72	303,04*	222,64*	245,98	91,12	107,74	147,04	154,0	43,24	71,2	82,86	461,44	544,72	335,8	134,4*												
25/01	188,02	178,22	31,39	123,1	645,4	666,94*	17,02	124,36	652,96*	379,66	478,18*	348,6*	645,40	174,28	135,46	179,8	256,82	384,7	109,0	102,94	470,26	665,68	642,9	233,9												
27/01	477,98	62,14	48,52	148,1	639,1	746,32*	66,00	152,08	747,46*	687,10	527,34*	457*	695,60	253,68	179,56	173,5	235,06	384,7	144,28	119,32	509,32	694,66	479,4	233,9												
28/01	643,04	-	62,38	148,1	639,1	746,32*	66,00	152,08	747,46*	687,10	527,34*	457*	695,60	253,68	179,56	173,5	235,06	384,7	144,28	119,32	509,32	694,66	479,4	233,9												
29/01	74,94*	245,1	74,98	159,64*	-	-	48,52	160,9	-	-	577,88*	551,5*	72,50	360,76	212,32	178,54	289,92	50,8	163,18	101,56	721,12*	487,0	640,72													
13/02	40,52	23,08	8,2	91,6*	15,4	20,56	15,76	72,7	30,32	-	53,58*	72,7	39,34*	29,38	39,7*	85,3	33,04	6,7	25,84	43,72	15,4	31,9	31,4													
13/02	46,9	40,72	8,2	87,82	31,78	50,8*	19,54	79,0	49,42	2,92	56,16*	85,3	59,34*	35,68	56,82	105,46*	50,68	6,7	25,84	31,12	30,52	33,2	57,10	13,42												
14/02	68,32	72,22	11,98	100,32	56,98	94,9*	23,32	85,3	74,62	-	74,98*	97,9	65,80	45,76	66,9	109,24*	87,22*	2,92	33,4	44,98	15,4	62,9	-	64,9												
18/02	673,12*	282,64	43,48	123,1	-	683,32*	34,66	104,2	406,0	-	150,58	164,68*	481,6	210,82	152,38	150,82	248,5	43,24	83,8	56,32	-	338,08	536,14*	13,48												
19/02	761,32*	183,1	59,86	124,36	-	636,7*	76,24	110,54	402,22	-	187,12	188,62*	484,86	147,82	139,24	168,46	-	48,28	109,0	70,18	-	613,08*	41,2	-												
21/02	765,1*	322,96	96,4	-	-	645,18*	102,7	115,54	-	-	291,70	217,6*	406,0	186,88	183,34	181,06	-	48,28	159,4	77,74	-	630,65*	72,7	-												
25/02	-	-	-	87,82	55,72	28,12	43,48	100,42	12,88	-	8,2	82,78	-	-	10,72	47,5	12,88	-	-	11,98	-	-	66,32*	608,0	-											

Tabela 13 . Altura dos colmos no final do experimento (cm) até o primeiro "DEWLAP" visível. Valores médios de 4 colmos por touceira.

TOUCEIRAS	T R A T A M E N T O S					
	1	2	3	4	5	6
A	227	243	238	232	231	259
B	233	250	226	232	243	258
C	227	240	235	232	253	227
D	230	241	223	245	206	230
E	204	231	220	229	266	258
F	225	239	226	231	238	248
	224	241	228	234	239	247

A partir dos dados observados (24 colmos por tratamento) foi feita uma análise de variância, obtendo-se o resultado que se segue:

C.Variação	GL	SQ	QM	F
Tratamento	5	1742,4	348,48	1,95
Resíduo	138	24660,6	178,70	
Total	143	26403,0		

Como se observa não houve efeito significativo para tratamentos. O coeficiente de variação do ensaio foi de 5,68%.

As médias, todas com um erro padrão de 2,73 cm foram as seguintes:

$$\hat{m}_1 = 224 \text{ cm}$$

$$\hat{m}_2 = 241 \text{ cm}$$

$$\hat{m}_3 = 228 \text{ cm}$$

$$\hat{m}_4 = 234 \text{ cm}$$

$$\hat{m}_5 = 239 \text{ cm}$$

$$\hat{m}_6 = 247 \text{ cm}$$

5.2.2. Peso final dos colmos

Os dados dos pesos dos colmos no final do experimento encontram-se na Tabela 14 .

Tabela 14. Peso dos colmos no final do experimento (Kg) após a retirada dos "palmitos". Valores médios, de 4 canas por touceira.

TOUCEIRAS	T R A T A M E N T O S					
	1	2	3	4	5	6
A	1,287	1,606	1,314	1,350	1,606	1,537
B	1,237	1,562	1,369	1,319	1,450	1,475
C	1,160	1,606	1,412	1,331	1,644	1,430
D	1,250	1,469	1,400	1,175	1,350	1,487
E	1,125	1,294	1,537	1,008	1,306	1,412
F	1,200	1,510	1,404	1,233	1,470	1,244

A partir dos dados observados (24 colmos por tratamento) foi feita uma análise de variância, obtendo-se o seguinte resultado:

C.Variação	GL	SQ	QM	F
Tratamento	5	1,550	0,310	6,078
Resíduo	138	7,04	0,051	
Total	143	8,59		

Conforme se observa, houve um efeito significativo ao nível de 1% de probabilidade para tratamentos.

O coeficiente de variação foi de 16,40%. As médias, todas com um erro padrão de 0,046 Kg foram as seguintes:

$$m_1 = 1,210 \text{ kg (a)}$$

$$m_2 = 1,508 \text{ kg (b)}$$

$$m_3 = 1,406 \text{ kg (b)}$$

$$m_4 = 1,236 \text{ kg (a)}$$

$$m_5 = 1,471 \text{ kg (b)}$$

$$m_6 = 1,431 \text{ kg (b)}$$

A diferença mínima significativa, calculada pelo método de Tukey ao nível de 5% de probabilidade foi $\Delta = 0,190$. Assim as médias com a mesma letra não diferiram e com letras diferentes diferiram ao nível de 5% de probabilidade

5.2.3. Desenvolvimento da parte aerea e condições atmosféricas

O desenvolvimento das plantas durante seu ciclo e os parâmetros climáticos observados no mesmo período encontram-se representados na figura 11. Como não foram observadas diferenças significativas nos tamanhos das plantas em cada uma das observações, a curva do crescimento foi construída com os valores médios dos tratamentos em cada época e as

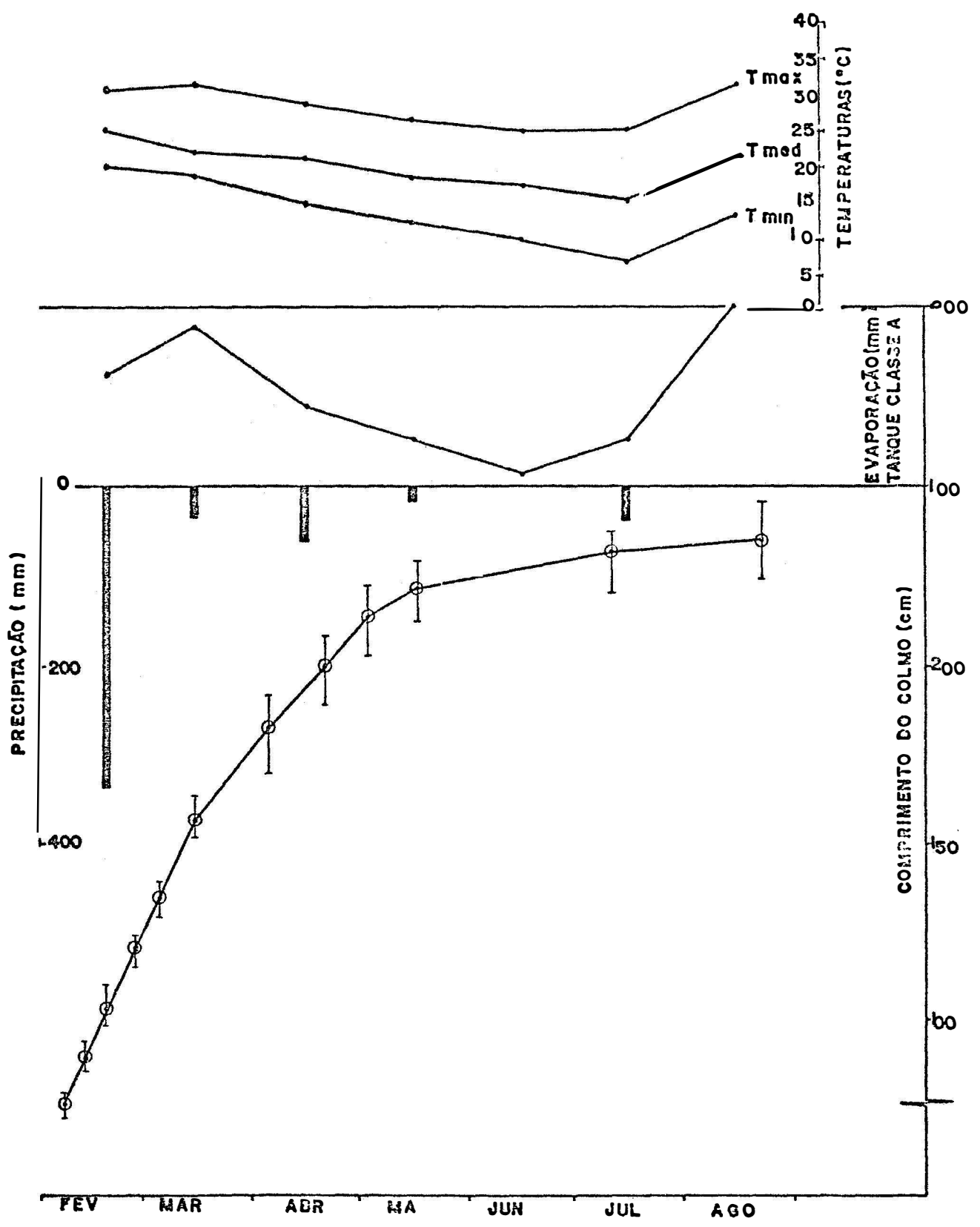


Fig. 11 -Desenvolvimento da parte aérea e condições atmosféricas.

respectivas amplitudes de variação encontradas.

5.2.4. Sistema radicular e as condições físicas do solo

Por ocasião da reabertura das trincheiras, para tomada de amostras de solo, observou-se o sistema radicular das plantas em cada tratamento. A figura 12 mostra a distribuição radicular encontrada no tratamento 1, onde todo o perfil abaixo de 40 cm de profundidade ficou compactado a uma densidade média de $1,54 \text{ g/cm}^3$.

Como se pode observar, o sistema radicular ficou restrito a camada de 0-40 cm e as raízes ao encontrarem a superfície compactada passaram a ter um desenvolvimento horizontal, não se observando penetração alguma além dessa superfície.

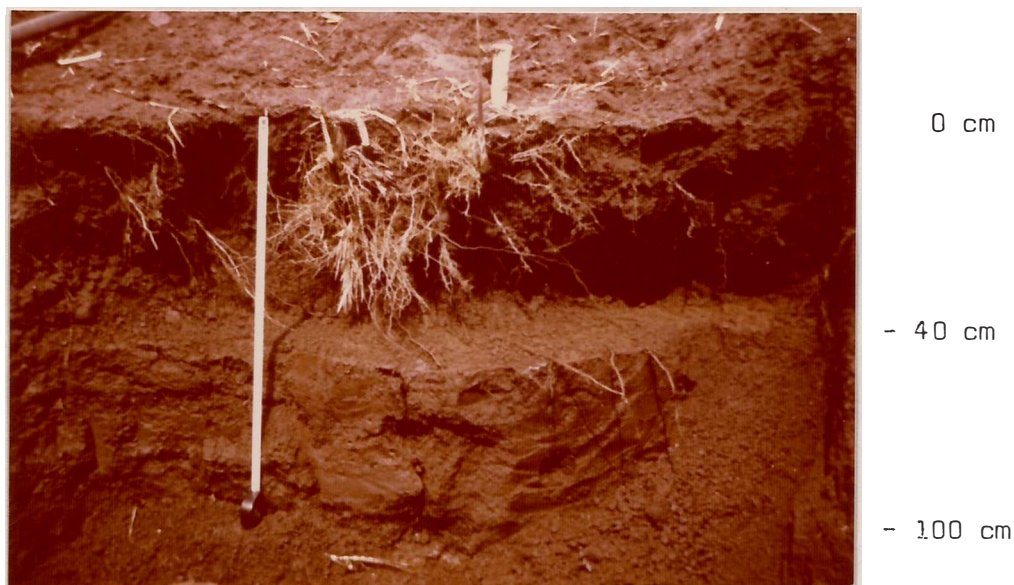


Fig. 12 - Distribuição do sistema radicular encontrado no tratamento 1.

A figura 13 mostra a distribuição de raízes encontrada nos tratamentos 3 e 5. Pode-se observar a presença da camada compactada de 30 à 50 cm de profundidade impedindo a penetração das raízes.

Quanto à distribuição do sistema radicular das plantas, os tratamentos 3 e 5 comportaram-se igualmente, ficando as raízes restritas à camada de 0-30 cm de profundidade.

A figura 14 mostra o desenvolvimento radicular atingido nos tratamentos 2, 4 e 6 sendo que o tratamento 4 apresentou maior abundância de raízes na profundidade de 1 m.

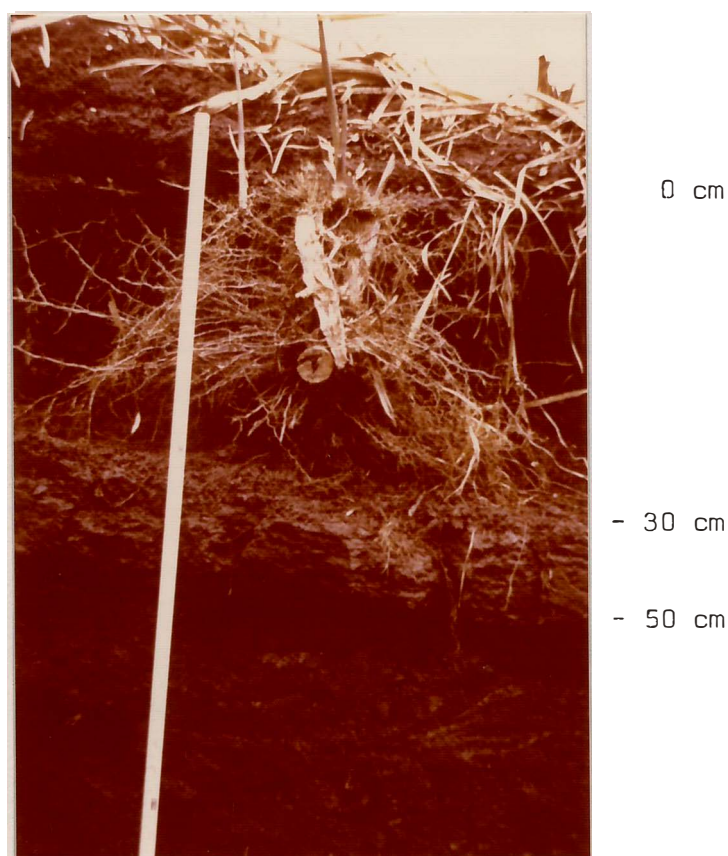


Fig. 13 Distribuição do sistema radicular encontrada nos tratamentos 3 e 5.

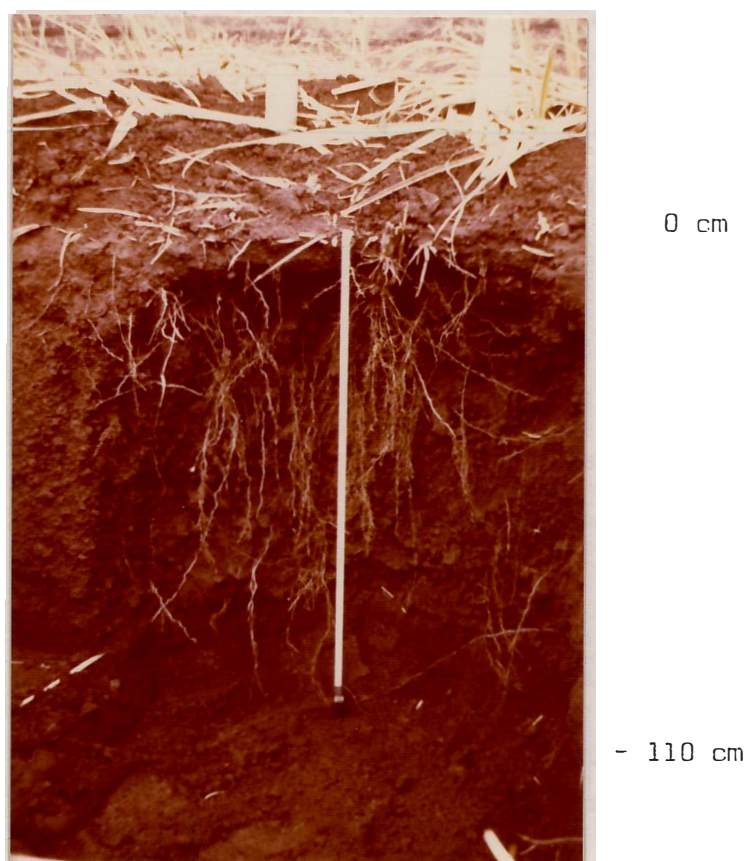


Fig. 14 - Distribuição do sistema radicular encontrada no tratamento 4.

A figura 15 mostra o desenvolvimento atingido nos tratamentos 2 e 6.

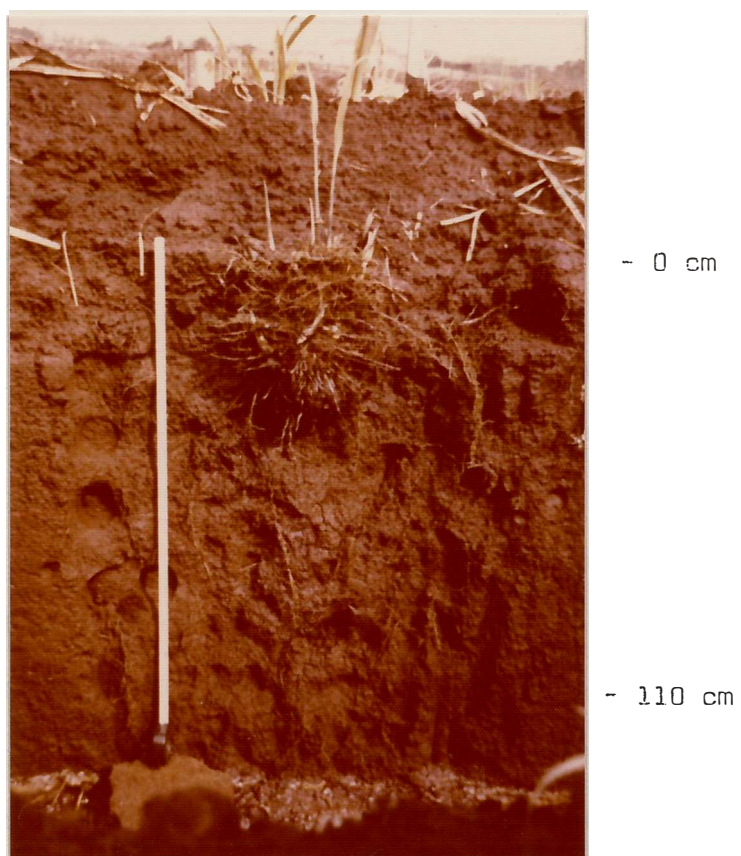


Fig. 15.- Distribuição do sistema radicular encontrada nos tratamentos 2 e 6.

6. DISCUSSÃO

O presente trabalho foi conduzido procurando-se simular algumas condições físicas que podem ocorrer nos perfis de solo quando compactados pelo uso de máquinas e implementos agrícolas.

O tratamento 1 pode representar um perfil inicialmente homogêneo, com densidades altas, em que as operações de preparo de solo atingem uma profundidade de 40 cm. O tratamento 2 representaria um solo que após algum tempo sem sofrer mecanização alguma receberia apenas os sulcos de plantio. No tratamento 5 teríamos um solo constantemente trabalhado a mesma profundidade (30 cm), apresentando uma camada compactada logo abaixo da superfície de ação dos implementos (soleira). A condição do tratamento 6 seria diferente da do tratamento 5 apenas na profundidade de ação dos implementos que seria de 40 cm. O caso do tratamento 3, apesar de fugir um pouco das condições naturais, poderia representar um perfil inicialmente com densidades baixas, com o mesmo problema dos representados pelos tratamentos 5 e 6, ou seja, a presença de uma soleira causada pelos implementos.

Finalmente, o tratamento 4 estaria representando um solo trabalhado até a profundidade de 1,10 m, na tentativa de propiciar condições ótimas para o desenvolvimento da cana-de-açúcar.

Das observações feitas no sistema radicular das plantas pode-se notar que a profundidade de penetração das raízes foi idêntica para os tratamentos 1, 3 e 5 devido a presença das camadas adensadas, cujas densidades variaram de 1,40 à 1,54 g/cm³. No entanto, nos tratamentos 2 e 6 as raízes se aprofundaram além de 1 m nos perfís cujas densidades eram de 1,4 g/cm³.

As diferenças que ocorreram nas profundidades de penetração das raízes entre os tratamentos parece indicar que a presença de camadas adensadas de sub-superfície é mais prejudicial ao desenvolvimento das raízes do que perfís homogêneos de densidades próximas às das camadas adensadas. Isto talvez se deva ao fato de que em perfís homogêneos a penetração das raízes no solo denso inicia-se logo após a brotação das gemas, com as raízes novas forçando a penetração nos pequenos poros. Por outro lado, no caso das camadas adensadas mais profundas as raízes ao atingirem aquela profundidade acham-se mais desenvolvidas em diâmetro, pelas condições que encontravam-se anteriormente, e mostram maior dificuldade de penetração nos pequenos poros da camada. Essas observações em parte concordam com as de WIERSUM (1957) citadas neste trabalho.

Com base apenas no desenvolvimento do sistema radicular, as observações anteriores sugerem que em solos sujeitos à formação de soleiras, pela ação dos implementos, a não perturbação da estrutura natural pode dar resultados melhores do que arações e gradagens anuais à pequena profundidade (30 - 40 cm), considerando que a execução dessas operações à pro

fundidades maiores, exigidas para o máximo desenvolvimento das raízes, impraticável.

Entretanto, considerações dessa natureza devem ser levadas em conta apenas para condições em que realmente ocorrem efeitos da profundidade de penetração do sistema radicular sobre o comportamento da parte aérea da planta. Como se pode observar pelos resultados de peso dos colmos, o tratamento 4 foi o que indicou menor peso, embora tenha apresentado o melhor desenvolvimento radicular em profundidade. Estatisticamente esse tratamento não diferiu do tratamento 1 no qual o desenvolvimento radicular estava restrito à 40 cm de profundidade. Analisando os dados de armazenamento podemos notar que o tratamento 4 foi o que apresentou piores condições de umidade na profundidade de 15 à 45 cm, não mostrando muita diferença das condições do tratamento 3. Os colmos mais pesados foram obtidos nos tratamentos 2, 3, 5 e 6, sem diferenças significativas entre si mas acusando desenvolvimentos radiculares bastante diferentes, principalmente quando comparado o grupo 2 e 6 com o grupo 3 e 5. Para os tratamentos 3 e 5 os armazenamentos de água nos perfis foram superiores na profundidade atingida pelas raízes, justificando em parte os melhores resultados neles obtidos quando confrontados com os tratamentos 1 e 4. Porém, o mesmo raciocínio é contraditório quando comparamos o grupo 2 e 6 com o grupo 3 e 5, pois embora o armazenamento do primeiro grupo tenha sido menor, naquela profundidade, as produções não diferiram do segundo. Apesar da pouca coerência dos resultados, parece haver uma tendência de maiores pesos nos colmos dos tratamentos em que o armazenamento na camada de 15 à 45 cm é maior.

Observando ainda os gráficos de armazenamento podemos notar que para períodos sem chuva o tratamento 4 tende a armazenar menos água na

camada de 15 à 45 cm.

Quanto ao potencial da água, os tensiômetros não registraram diferenças entre os tratamentos.

Talvez, sob regime de precipitação diferente do que tivemos no período, possam ocorrer diferenças mais acentuadas no comportamento hídrico dos perfis e conseqüentemente no desenvolvimento e produção.

Acreditamos que as diferenças constatadas nos armazenamentos não foram suficientes para criar condições também diferentes para os processos de absorção de água, aeração do solo e translocação de nutrientes.

Como sugestões para trabalhos futuros podemos indicar:

a) Condução de experimento semelhante sob outros regimes de precipitação, com o objetivo de confirmar a possibilidade de ocorrência de efeitos mais significativos da compactação sobre o comportamento hídrico dos perfis e suas conseqüências sobre a planta.

b) Utilização de áreas experimentais maiores, provocando as compactações por técnicas que simulem condições mais naturais, utilizando de preferência as próprias máquinas e implementos que induzem a compactação nas operações de cultivo e preparo de solo.

c) Utilização de técnicas que permitam observações sobre a aeração do solo.

7. CONCLUSÕES

Das observações feitas pôde-se concluir que:

1- Camadas compactadas de sub-superfície são mais prejudiciais ao desenvolvimento do sistema radicular do que perfís homogêneos de densidades altas.

2- Para as condições de precipitação pluviométrica sob as quais o experimento foi conduzido, a restrição ao desenvolvimento radicular não proporcionou diminuição no rendimento da parte aérea.

3- O revolvimento do solo a grandes profundidades (além de 1 m), apesar de ter proporcionado o maior desenvolvimento radicular, foi a condição que resultou em menor produção, provavelmente devido ao menor armazenamento de água que ocasionou na camada de 15 à 45 cm.

4- As operações de preparo de solo em profundidade devem ser indicadas apenas para condições em que o revolvimento do solo representa uma melhoria na capacidade de armazenamento e translocação da água, aeração e desenvolvimento radicular, uma vez constatadas as limitações destes fatores sobre o desenvolvimento da parte aérea.

5- Para os níveis de umidade mantidos nos perfís, nas condições do ex perimento, não ocorrem diferenças no potencial da água entre as camadas compactadas e revolvidas.

B. SUMMARY

This work consists of the study of the effect of soil compaction upon storage and water retention characteristics, root development and its consequences on the behavior of a sugar cane crop.

The treatments consisted of six soil profiles artificially compacted, trying to simulate field conditions similar to those in which compaction problems arise.

Soil moisture measurements were made at depths of 30, 60 and 90 cm from soil surface, using a neutron probe. Soil water potential was measured at depths of 15, 30, 60 and 90 cm, using mercury manometer tensiometers. Observation on the plant consisted of periodic measurements of stalks length, their weights at the end of the experiment, and qualitative observation of root distribution.

Positive correlations between root development in depth and the development and weight of stalks were not found.

Despite of the little coherence of the data, it seems that

there is a tendency of better results in the treatments in which a higher level of soil moisture was maintained in the layer of 15 to 45 cm depth.

The presence of compacted layers inside the soil profile showed greater influence upon root development than a throughout compacted profile.

The results suggest that management practices for soil preparation that range great depths (more than 40 cm) should only be applied in conditions where the operation implies in an improvement of soil water storage capacity, water translocation, aeration and root development, once the limitations of these factors upon the development of the aerial part are shown.

9. LITERATURA CITADA

BARNES, K.K.; W.M. CARLETON; H.M. TAYLOR; R.I. THROCKMORTON e G.E. VANDEN BERG, Orgs., 1971. Foreword. *In: Compaction of agricultural soils.* Michigan, ASAE, p. III-IV.

BAVER, L.D., 1956. Soil physics. 3.ed. New York, John Wiley, 489p.

BAVER, L.D.; W.H. GARDNER e W.R. GARDNER, 1972. Soil physics. 4.ed. New York, John Wiley, 492p.

BODMAN, G.B. e G.K. CONSTANTIN, 1965. Influence of particle size distribution in soil compaction. Hilgardia, 36:567-591.

BOX, J.E. e S.A. TAYLOR, 1962. Influence of soil bulk density on matric potential. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 26:119-122.

CAMARGO, O.A., 1972. Aeração. *In*: MONIZ, A.C., Coord. Elementos de pedologia. São Paulo, Polígono/Editora da USP, p.85-91.

CAMARGO, O.A. e F. GROHMANN, 1972. Noções básicas da metodologia empregada no estudo da aeração do solo. Campinas, Instituto Agronômico, 24p. (Circular, 13).

CHANG, R.K. e B.P. WARKENTIN, 1968. Volume change of compacted clay soil aggregates. Soil Sci., 105:106-111.

DECICO, A., 1967. Condutividade térmica dos solos. Piracicaba, ESALQ/USP, 26p. (Tese de Doutorado).

ERICKSON, L.C., 1946. Growth of tomato roots as influenced by oxygen in the nutrient solution. Amer. J. Bot., 33:551-561.

GILL, W.R., 1971. Economic assessment of soil compaction. *In*: Compaction of agricultural soils. Michigan, ASAE, p.431-458.

GILL, W.R. e C.A. REAVES, 1956. Compaction patterns of smooth rubber tires. Agr. Eng., 37:677-680, 684.

GLOVER, J., 1967. The simultaneous growth of sugarcane roots and tops in relation to soil and climate. *In*: Congr. S. Afr. Sug. Tech. Assoc., 41., Durban. Proceedings. p.143-159.

GRABLE, A.R., 1966. Soil aeration and plant growth. Advances in Agronomy, 18:57-106.

GRABLE, A.R., 1971. Effects of compaction on content and transmission of air in soils. *In*: Compaction of agricultural soils. Michigan, ASAE, p.154-164.

GRADWELL, M.W., 1963. Overnight heat losses from the soil in relation to its density. New Zeal. J. Sci., 6:463-473.

GROHMANN, F. e J.P. QUEIROZ NETO, 1966. Efeito de compactação artificial de dois solos limo-argilosos sobre a penetração das raízes de arroz. Bragantia. Campinas, 25(38):421-431.

HARRIS, W.L., 1971. The soil compaction process. *In*: Compaction of agricultural soils. Michigan, ASAE, p.9-43.

HILL, J.N.S. e M.E. SUMNER, 1967. Effect of bulk density on moisture characteristics of soils. Soil Sci., 103:234-238.

JAMISON, V.C.; H.A. WEAVER e I.F. REED, 1951. The distribution of tractor tire compaction effects in Cecil clay. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 15: 34-37.

JUANG, T.C. e G. UEHARA, 1969. Effects of ground-water table and soil compaction on nutrient element uptake and growth of sugarcane. Proc. Int. Soc. Sug. Cane Tech., 58(3):679-687.

KEMPER, W.D.; B.A. STEWART e L.K. PORTER, 1971. Effects of compaction on soil nutrient status. *In*: Compaction of agricultural soils. Michigan, ASAE, p.287.

LAMBE, W.T., 1958. The engineering behavior of compacted clay. J. Soil Mech. Fdns. Div. ASCE, (1655):1-34.

LEONARD, O.A. e J.A. PINCKARD, 1946. Effect of various oxygen and carbon dióxide concentration on cotton root development. Plant Physiol., 21: 18-36.

MARTINEZ, M.B. e M.A. LUGO-LOPEZ, 1953. Influence of subsoil shattering and fertilization on sugarcane production and soil infiltration capacity. Soil Sci., 75:307-314.

McKIBBEN, E.G., 1971. Introduction. *In*: Compaction of agricultural soils. Michigan, ASAE, p.4-5.

MONTEITH, N.H. e C.L. BANATH, 1965. The effect of soil strenght on sugar cane root growth. Trop. Agr. Trinidad, 42(4):293-296.

- NICHOLS, M.L.; I.F. REED e C.A. REAVES, 1958. Soil reaction: to plowshare design. Agr. Eng., 39:336-339.
- PARISH, D.H., 1971. Soil conditions as they affect plant establishment, root development, and yield. *In: Compaction of agricultural soils.* Michigan, ASAE, p.287.
- PARKER, E.R. e H. JENNY, 1945. Water infiltration and related soil properties as affected by cultivation and organic fertilization. Soil Sci., 60:365-370.
- PHILLIPS, R. e D. KIRKHAM, 1962. Soil compaction in the field and corn growth. Agron. J., 54:29-34.
- RANEY, W.A. e T.W. EDMINISTER, 1955. Current status of research in soil compaction. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 19:423-428.
- REAVES, C.A. e A.W. COOPER, 1960. Stress distribution in soils under tractor loads. Agr. Eng., 41:20-21, 31.
- REICHARDT, K., 1973. Física dos processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera. Piracicaba, CENA, USP/CNEN, pt. 2., p.68-180.

- REICHARDT, K., 1975. Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera. Piracicaba, CENA, USP/CNEN, Fundação Cargill, 286p.
- RICHARDS, S.J.; L.V. WEEKS e J.E. WARNEKE, 1960. Compacted bulk density and hydraulic conductivity for indicating the structural status of soils. *In: Int. Congr. Soil Sci., 7., Madison. Proceedings, 1:249-255.*
- ROBINSON, F.E., 1964. Required per cent air space for normal growth of sugarcane. Soil Sci., 98:206-207.
- SHUKLA, L.N., 1974. Soil compaction due to harvest traffic in sugarcane fields on a Lajas Valley Farm of Puerto Rico. J. Agric. Univ. P.R., 58 (3):279-292.
- SOEHNE, W., 1958. Fundamentals of pressure distribution on soil compaction under tractor tires. Agr. Eng., 39(5):276-281, 290.
- TACKETT, J.L. e R.W. PEARSON, 1964. Oxygen requirements of cotton seedling roots for penetration of compacted soil cores. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 28:600-605.
- TAYLOR, H.M., 1971. Effects of soil strength on seedling emergence, root growth and crop yield. *In: Compaction of agricultural soils.* Michigan, ASAE, p.292-305.

TAYLOR, H.M. e E. BURNETT, 1964. Influence of soil strength on the root growth habits of plants. Soil Sci., 98:174-180.

TAYLOR, H.M. e H.R. GARDNER, 1963. Penetration of cotton seedling taproots as influenced by bulk density, moisture content and strength of soil. Soil Sci., 96:153-156.

TROUSE JR., A.C., 1967. Effects of soil compression on the development of sugarcane roots. *In*: Congr. Int. Soc. Sug. Cane Tech., 12., Puerto Rico. Proceedings. Amsterdam, Elsevier, p.137-152.

TROUSE JR., A.C. e L.D. BAVER, 1965. Illage problems in the Hawaiian Sugar Industry. IV. Seedbed preparation and cultivation. Tech. Suppl. Soils Reprtr. HSPA., n^o 12.

TROUSE JR., A.C. e R.P. HUMBERT, 1959. Deep tillage in Hawaii. I. Subsoiling. Soil Sci., 88:150-158.

TROUSE JR., A.C. e R.P. HUMBERT, 1961. Some effects of soil sompaction on the development of sugar cane roots. Soil Sci., 91:209-217.

VOMOCIL, J.A., 1957. Measurement of soil bulk density and penetrability: a review of methods. Advances in Agronomy, 9:159-175.

- VOMOCIL, J.A. e W.J. CHANCELLOR, 1967. Investigation of compressive and tensile failure strengths of three agricultural soils. Trans. Amer. Soc. Agr. Engrs., 10:771.
- VOMOCIL, J.A. e W.J. FLOCKER, 1961. Soil compaction its effects on storage and movement of soil air and water. Trans. Amer. Soc. Agr. Engrs., 4: 242-246.
- WEAVER, H.A., 1950. Tractor use effects on volume weight of Davidson loam. Agr. Eng., 31:182-183.
- WIERSUM, L.K., 1957. The relationship of the size and structural rigidity of pores and their penetration by roots. Plant and Soil, 9:75-85.
- WILLIS, W.O. e W.A. RANEY, 1971. Effects of compaction on content and transmission of heat in soils. In: Compaction of agricultural soils. Michigan, ASAE, p.126.
- YONG, R.N. e B.P. WARKENTIN, 1966. Introduction to soil behavior. New York, Macmillan, 353p.
- ZIMMERMAN, R.P. e L.T. KARDOS, 1960. Effect of bulk density on root growth. Soil Sci., 91:280-288.