

VARIAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA DO SOLO PELO  
CACAUEIRO (*Theobroma spp.*).

ANTONIO CADIMA ZEVALLOS

Orientador: Prof. Dr. ZILMAR ZILLER MARCOS

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do Título de Mestre em "Solos e Nutrição de Plantas".

PIRACICABA  
Estado de São Paulo - Brasil  
Abril - 1977

*Aos meus pais e irmãos,  
pelo carinho e dedicação*

*A minha esposa Urtinet e aos  
filhos Vilma, Pablo e Sergio,  
pela razão de viver,*

D E D I C O

## AGRADECIMENTOS

O autor agradece às seguintes pessoas e instituições que tornaram possível a realização deste estudo:

- Ao Prof. Dr. ZILMAR ZILLER MARCOS pela atenciosa orientação na realização e preparo deste trabalho.
  - Ao Prof. Dr. Humberto de Campos, pela orientação nas análises estatísticas.
  - Ao Prof. Dr. Nilson A. Vila Nova, pela orientação sobre épocas de radiação solar.
  - À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" e ao seu Departamento de Solos e Geologia pela acolhida.
  - À Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC) pela oportunidade oferecida.
  - Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudos concedida.
  - Aos Professores e Colegas do Curso de "Solos e Nutrição de Plantas" pela amizade e colaboração;
- E a todos que, de uma maneira ou de outra colaboraram para que este trabalho fosse realizado.

## ÍNDICE

	Página
Lista de Tabelas .....	vi
Lista de Figuras .....	vii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DA LITERATURA .....	3
2.1. Generalidades .....	3
2.2. Efeitos da Aeração do Solo na Relação Solo Planta .....	4
2.3. Efeito da água nas relações Solo-Planta .....	6
2.3.1. Efeitos sobre o sistema radicular .....	10
2.3.2. Efeitos no desenvolvimento e crescimento das plantas .....	12
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	15
3.1. Local do estudo .....	15
3.2. Solo .....	15
3.3. Clima .....	16
3.4. Delineamento experimental .....	21
3.5. Amostras do solo para diversas finalidades .....	24
3.5.1. Amostras não deformadas para determinações de umidade .....	24
3.5.2. Amostras não deformadas para densidade do solo .....	25
3.5.3. Amostras deformadas para outras determinações .....	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	27
4.1. Análise física do solo em estudo .....	27
4.2. Teores de umidade do solo nas épocas estudadas ..	30
4.3. Análise de variância dos resultados obtidos para umidade .....	34
4.4. Análise de tendência dos resultados .....	39

	Página
4.4.1. Variação da umidade com a distância .....	39
4.4.2. Variação de umidade com a profundidade ....	43
4.5. Influência da radiação solar .....	51
4.5.1. Temperatura do solo .....	52
4.5.2. Descrição da incidência dos raios solares..	55
5. CONCLUSÕES .....	58
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	59
7. RESUMO .....	60
8. SUMMARY .....	62
9. LITERATURA CITADA .....	64

## LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1	Análise física de amostras de terra tomadas dos 6 perfis e às 3 profundidades estudadas .....	28
2	Teores de umidade do solo (em % de volume para os tratamentos e blocos nas épocas estudadas .....	31
3	Análise de variância do teor de umidade referente às 9 épocas de amostragem .....	35
4	Teste de Tuckey para profundidades (5%) .....	38
5	Dados de temperatura de 2 profundidades em cada lado do bloco do experimento .....	52

## LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Valores anuais de 5 anos (1964-1968) da precipitação pluviométrica do Centro de Pesquisas do Cacau (Silva e Melo, 1970) .....	17
2	Valores médios mensais de 4 anos (1964-67) da precipitação pluviométrica do Centro de Pesquisas do Cacau (Silva e Melo, 1970) .....	18
3	Valores médios mensais de 4 anos (1964-67) da temperatura do ar do Centro de Pesquisas do Cacau (Silva e Melo, 1970) .....	19
4	Balço hídrico para o Centro de Pesquisas do Cacau, segundo Thornthwaite, 1948 (SILVA e MELO, 1970) .....	21
5	Localização dos cacaueiros (3 x 3 m) no bloco de 54 m <sup>2</sup> , termômetros e orientação dos mesmos, no Centro de Pesquisas do Cacau .....	22
6	Bloco de terra com 108 m <sup>2</sup> (6 x 9 x 2 m) com o respectivo plástico de 130 m <sup>2</sup> (10 x 13 m) .....	23
7	Varição média de umidade do solo a três profundidades distantes 30 cm do tronco do cacaueiro .....	40
8	Varição média de umidade do solo a três profundidades distantes 50 cm do tronco do cacaueiro .....	41
9	Varição média de umidade do solo a três profundidades distantes 100 cm do tronco do cacaueiro ....	43
10	Esquema do sistema radicular de um cacaueiro adulto .....	44
11	Varição de umidade nas épocas estudadas, densidade e teor de argila do solo para o perfil 1, à distância de 30 cm do tronco e a 3 profundidades ....	45
12	Varição de umidade nas épocas estudadas, densidade e teor de argila do solo para o perfil 2, à distância de 30 cm do tronco e a 3 profundidades ....	46

Figura		Página
13	Varição de umidade nas épocas estudadas, densidade e teor de argila do solo para o perfil 3, a distância de 30 cm do tronco e a 3 profundidades .....	47
14	Varição de umidade nas épocas estudadas, densidade e teor de argila do solo para o perfil 4, a distância de 30 cm do tronco e a 3 profundidades .....	48
15	Varição de umidade nas épocas estudadas, densidade e teor de argila do solo para o perfil 5, a distância de 30 cm do tronco e a 3 profundidades.....	49
16	Varição de umidade nas épocas estudadas, densidade e teor de argila do solo para o perfil 6, a distância de 30 cm do tronco e a 3 profundidades .....	50
17	Varição média do ângulo zenital do Sol sobre os canteiros, durante o período do experimento .....	54

## 1. INTRODUÇÃO

O cacaeiro é originário do continente americano, provavelmente das bacias dos rios Amazonas e Orenoco, onde ainda é encontrado em estado nativo.

No início do século, a América Latina liderava a produção mundial de cacau, respondendo por 85% da safra, sendo o Equador o principal produtor até 1910. O Brasil ficou na liderança até 1920; após esse ano, Ghana passou ao primeiro lugar, posição que mantém até o presente. Atualmente os países africanos contribuem com cerca de 74% da produção mundial (BARROCO, 1972).

A queda, na posição mundial, da produção brasileira, deveu-se provavelmente, ao fato de que a cultura do cacaeiro, no Brasil, foi estabelecida sem orientação técnica adequada. O baixo índice de produção por unidade de superfície cultivada, 300 kg/ha, re

clama maior atenção dos fitotecnistas para os problemas relativos ao desenvolvimento do cacauero.

Um dos problemas mais importantes relaciona-se ao fornecimento de água pelo solo.

Assim, é oportuno estudar o comportamento do cacauero em relação à movimentação da água do solo e subsolo, para definir a que distância da planta há maior absorção de água e elementos minerais e como se efetua a transpiração.

Este trabalho foi planejado com o objetivo de verificar a absorção de água pelo sistema radicular do cacauero em profundidades e distâncias variáveis a partir do seu tronco.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1. Generalidades

É fato conhecido que os solos geralmente apresentam uma diferenciação em camadas (horizontes) ao longo do perfil, ocasionando variações de umidade no ambiente em que as raízes das plantas se desenvolvem.

Deve-se considerar também que, no solo, a ocupação dos poros pela água ou pelo ar, são processos que se complementam. Por esta razão, variação na umidade do solo implica, necessariamente, em variação na quantidade de ar que contém. Além disso, ambos, água e oxigênio do solo, são de importância vital para as plantas superiores. O suprimento de água é regulado pela capacidade de retenção de água pelo solo e a de oxigênio pela aeração.

Segundo PETER e RUSSELL (1967), o uso de medidas de sucção adequadas para obter rendimentos máximos de um determinado solo, são de grande importância para efetuar programações de frequência de irrigação. Deste modo, grande parte do êxito de uma empresa agrícola, baseada na irrigação, depende do uso adequado da água que se adiciona ao solo.

Diversas generalizações sobre este assunto são encontradas na literatura. VOLK (1947), por exemplo, diz que a participação da água, no dinamismo das relações solo-planta, foi estabelecida quando constatou-se que as raízes extraem primeiro a água das camadas superiores do solo e seguidamente das inferiores, sendo que a evaporação à superfície do solo acelera o seu déficit de umidade. Todavia, detalhes sobre o mecanismo da absorção de água pelas plantas, são conhecidos há mais tempo. HARRIS e TURPIN (1916), demonstraram que as raízes absorvem primeiramente a água do solo ao seu redor; portanto, a absorção atua na periferia do sistema radicular.

## 2.2. Efeitos da Aeração do Solo na Relação Solo Planta

A aeração consiste na troca de oxigênio e  $CO_2$  entre o solo, a atmosfera e as raízes das plantas. Em solos bem drenados esta troca é feita através do solo, porém, em solos saturados, esta permuta processa-se através da planta.

LAWTON (1945), trabalhando com milho, em vasos contendo solo barrento, com a finalidade de medir a relação entre condições de aeração e absorção de nutrientes, observou que houve crescimento da planta (parte aérea e raiz) quando a entrada de ar foi forçada e o solo continha alto teor de umidade. Do ponto de vista químico, o teor de nitrogênio, fósforo, cálcio e magnésio, na planta, diminuíram, havendo somente aumento de potássio.

BHAUMIK e CLARK (1947) observaram que a maior produção de  $\text{CO}_2$  (certamente associada com as transformações do nitrogênio no solo) ocorreu, em vários solos, quando a umidade estava com uma tensão correspondente a 50 cm de altura de água. Com tensões maiores do que 3.160 cm de altura de água, o teor de  $\text{CO}_2$  decrescia em 40%. É provável que as variações na população microbiana tenham contribuído para estas diferenças.

STOLZY e outros (1961) verificaram que uma diferença de 0,7% na concentração de  $\text{O}_2$  na superfície do solo, impediu o crescimento de raízes. Mostraram também que quando a difusão de oxigênio no solo era da ordem de  $18 \text{ a } 23 \times 10^{-8} \text{ g/cm}^2/\text{min.}$ , a formação de raízes foi reduzida ou completamente impedida.

VOMOCIL e FLOCKER (1961), citados por BLACK (1968), analisando resultados de diversos pesquisadores, concluíram que existe uma apreciável redução no crescimento ou na produção de vegetais, quando o volume de poros cheio de ar está numa faixa variando entre

5 e 15% do volume total do solo, dependendo naturalmente da estrutura, assim como também de outras condições.

Para RUSSELL (1961), a aeração do solo afeta as raízes por meio de 3 fatores: a) oxigênio contido no ar do solo; b) produtos de decomposição anaeróbica, como  $H_2S$ ,  $CH_4$ ,  $H_2$ , que se acumulam no solo e c) conteúdo de  $CO_2$ ,

### 2.3. Efeito da água nas relações Solo-Planta

É muito conhecida a grande importância que a água assume em todas as atividades biológicas da natureza. É evidente, entretanto, que o seu teor deve estar em equilíbrio com os fenômenos em que se encontra envolvida, pois, um déficit ou um excesso poderão provocar fortes distúrbios nas relações solo-planta.

Estudando algumas relações de umidade e tipos de solos a diferentes profundidades (0 a 120 cm), num período de sete meses, para certas comunidades de plantas na Flórida Central, FRENZEL (1955) concluiu que clima e solo não devem ser considerados separadamente mas, sim, estudados conjuntamente em investigações ecológicas de certas comunidades de plantas. Complexo "CLIMOEDÁFICO" é sugerido como o nome para este conceito.

O tamanho e forma dos frutos também são afetados pela sucção de água do solo. FELDSTEIN e CHILDERS (1957) estabeleceram que

a porcentagem de frutos menores aumenta com a sucção.

Além de servir como meio de transporte de elementos nutritivos do solo à planta, assim como dos componentes que se formam durante o metabolismo, a presença de água é obrigatória em todas as reações do metabolismo vegetal.

ALVIM (1959) estudou a abertura e fechamento dos estômatos das folhas e demonstrou que as do cacau são extremamente sensíveis à deficiências de água. As respostas fisiológicas e por conseguinte a produção, parecem estar limitadas pela influência da diminuição do conteúdo de água do solo abaixo de 60-70 por cento da "umidade disponível". LAMÉE (1955), estudando a fotossíntese das plantas, verificou uma diminuição de 90% a 30% do índice máximo, quando a umidade do solo baixou de 2/3 a 1/3 do valor da água disponível, e que a transpiração diminuiu até 20% do valor máximo quando a umidade do solo alcançou 1/3 do valor da água disponível.

Os motivos pelos quais a deficiência de água diminui o crescimento das plantas, devem-se, segundo KRAMER (1963, 1969), às seguintes funções: a) é necessária para manter a turgidês conveniente para a expansão da célula e seu crescimento; b) é solvente de muitos açúcares, sais e outros compostos que se movem de célula para célula; c) é um reagente da fotossíntese e demais processos hidrolíticos, como por exemplo a digestão do amido; d) é o maior constituinte dos tecidos ativos.

CADIMA e ALVIM (1967), observando a influência da árvore de sombra eritrina (*Erythrina glauca* L.), sobre alguns fatores edáficos relacionados com a produção do cacaueteiro, concluíram que, na camada de 0 a 30 cm de profundidade, o teor de umidade é mais alto em áreas próximas ao tronco das árvores de eritrina do que nas áreas afastadas desta, acontecendo o contrário nas camadas inferiores (60 a 90 cm).

VAN BAVEL (1967), em estudo com alfafa, verificou que, quando o potencial de água na região da raiz foi estimado em - 4 bares, os estômatos fecharam-se para controlar a transpiração.

Estudando as trocas que se apresentam na transpiração, com a progressiva diminuição do potencial de água no solo, num espaço de vários dias, SLATYER (1967) observou que existe um ciclo diário no potencial de água na planta, com período em que a absorção é muito menor que a transpiração. Este autor concluiu que, em solos com teores baixos de umidade, ambos os potenciais diminuem (na planta e no solo) num curto período de dias, até ficarem iguais. É neste período que a planta deixa de absorver água, devido não existir um gradiente de potencial do solo para as raízes. Sendo alto o potencial de água no solo à noite, o potencial da planta torna-se igual ao do solo. Porém, se o potencial no solo decresce, o fenômeno de absorção não ocorre devido a que o movimento de água no sentido das raízes é muito lento para equilibrar as perdas que ocorrem durante o dia. Assim, nesta situação ocorre o ponto de murchamento permanente.

Com referência aos efeitos das tensões de umidade, KRAMER (1969) verificou que afetam diversos fenômenos relacionados com o crescimento da planta. Assim, a fotossíntese é reduzida devido ao fechamento dos estômatos e conseqüente diminuição no suprimento de  $CO_2$ . A redução da fotossíntese traz como conseqüência diminuição na translocação de carboidratos e reguladores de crescimento.

Investigando a influência da umidade do solo sobre o desenvolvimento do cacaueteiro, utilizando tubos de cimento de 1m x 0,80 m cheios com terra homogeneizada, VERLIERE (1970), concluiu que os vários regimes hídricos tiveram influência diferente sobre o crescimento da circunferência do tronco das 3 variedades estudadas, sendo que o valor de crescimento da circunferência do tronco é máximo quando a energia solar é mais acentuada. Mais adiante dá a conhecer que as quantidades de água utilizadas por cada árvore variam segundo as variedades de cacaueteiro e os tratamentos hídricos.

CADIMA e ALVIM (1972), pesquisando os efeitos da drenagem sobre a produção do cacaueteiro, observaram que as plantas sujeitas a condição adversa de drenagem produziram sensivelmente menos que as submetidas a drenagem moderada. Comparando as médias das produções anuais e tendo em conta que os solos das diferentes áreas são muito semelhantes, com respeito à sua fertilidade natural, estes autores concluíram que o fator drenagem é responsável

direto por um decrêscimo da produção em torno de 60%.

KABALIN e BODROV (1973), estudando a dinâmica da umidade do solo e sua variação em cultivos, encontraram que as diferenças no conteúdo de umidade do solo, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, eram maiores sob plantações de batata que sob plantações de ervilha e cevada.

### 2.3.1. Efeitos sobre o sistema radicular

As raízes são consideradas como os órgãos mais importantes na absorção de nutrientes pelas plantas. Esta função é diretamente afetada pelo teor de água no solo. O sistema radicular das plantas superiores é geralmente sensível ao meio em que crescem.

ANDERSON (1943), relacionando a aeração com a difusão de oxigênio, demonstrou que concentrações menores que 10,5% de oxigênio no ar do solo, limitam o crescimento das raízes.

Referindo-se ao sistema radicular, HUNTER (1964) diz que quando não há sucção, isto é, quando as raízes se encontram em contato direto com a água, elas mudam a direção do crescimento de modo que podem crescer em direção contrária à superfície da água, devido ao excesso do líquido.

CADIMA (1970), conclue que em solos da região cacau-eira, o sistema radicular é constituído de 3 ramificações: a) laterais superficiais, que são aquelas que se aprofundam até 40 cm, variando de acordo com o tipo de solo, desenvolvendo-se no horizonte A; b) laterais intermediárias, que crescem entre as superficiais e a parte final da raiz pivotante, possuindo a tendência de se dirigirem para cima ou para baixo: nascem da pivotante na altura do horizonte B; e c) principal, com ramificações que se localizam regularmente no horizonte C (rocha em desintegração).

Estudos conduzidos por TAYLOR e RATLIFF (1971) dão a conhecer que o conteúdo de água no solo e o potencial matricial poderiam afetar o desenvolvimento das raízes de algodão e amendoim. Assim, verificaram que o desenvolvimento das raízes era afetado pelas tensões baixas. Mediram-se também a resistência do solo por meio de penetrômetros observando que, para o algodão, a relação entre o teor de elongação da raiz e penetração do aparelho não foi afetada de -0,17 a -7,0 bares de sucção. Por outro lado, o mesmo ocorreu para o amendoim entre os valores de -0,19 a -12,5 bares. Observaram que o diâmetro das raízes aumentou com o conteúdo de água no solo, particularmente a baixos teores de resistência do solo à penetração.

### 2.3.2. Efeitos no desenvolvimento e crescimento das plantas

Os efeitos podem ser diretos quando estão relacionados à participação da água no metabolismo e na turgidões das células e indiretos quando dizem respeito à atuação da água como agente de movimentação de solutos e produtos metabolizados.

BLACK (1968) cita os trabalhos de EATON e ERGLE (1948) dizendo que, com a deficiência de água, ocorre um aumento de carboidratos na parte aérea da planta, sendo que este excesso é translocado para as raízes, contribuindo para seu crescimento. Assim, verificaram um aumento considerável de amido e açúcar nas raízes de algodão em relação ao conteúdo nas folhas.

DENMEAD e SHAW (1962) observaram que, quando o potencial de transpiração era alto, de 6 a 7 mm por dia, um declínio na transpiração ocorria a  $-0,3$  atmosferas. Enquanto que, quando o potencial de transpiração era somente de 1,4 mm por dia, a transpiração não decrescia até próximo de  $-12,0$  atmosferas.

KOOPMAN (1969), trabalhando com algodão, observou que, mantendo a umidade do solo a um nível de 50% da água disponível

ou acima desse valor, a produção de algodão era elevada, sendo que a níveis de umidade do solo mais elevados, a produção foi sensívelmente diminuída devido ao aparecimento de doenças e ervas daninhas. O processo de crescimento depende da expansão celular que é afetada pelo déficit de água durante os períodos de seca.

JORDAN (1970), trabalhando com algodão, observou uma diminuição no peso e altura das plantas de algodão, quando o solo foi submetido a um teor de umidade menor que -8 bares; tendo observado também diminuição na altura das plantas, área foliar e peso fresco de "seedlings" de algodão, quando o solo foi submetido a um teor de umidade menor do que -8 bares.

MILLAR e GARDNER (1972), constataram que a transpiração e produção de matéria seca decresceram com o potencial de água no solo, sendo que um decréscimo no potencial de -0,28 para -0,40 bares, provocou uma redução de 47% na produção de matéria seca devido à menor resistência dos estômatos axiais da folha, que se fecham a baixos potenciais, prejudicando o crescimento.

A revisão da literatura apresentada mostra que, embora os efeitos no crescimento e desenvolvimento do sistema radicular das plantas superiores mencionadas apresentem particularidades para as espécies vegetais consideradas, há, de comum entre elas, participação da água do solo como fator vital para a normal evolução do ciclo vegetativo da planta. As variações de comportamento verificadas entre as espécies vegetais e, em particular, as observações re-

· gistradas para o cacauero provocam indagações quanto à zona de maior absorção de água pelo sistema radicular do mesmo.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Local do estudo

O experimento foi conduzido em 1973 dentro da área do CEPEC (Centro de Pesquisas do Cacau), situado no Km 26 da Rodovia Ilhéus-Itabuna, Município de Ilhéus, Estado da Bahia, nos arredores do ponto em que o meridiano de  $39^{\circ}11'$  intercepta o paralelo de  $14^{\circ}45'$ .

#### 3.2. Solo

Trata-se de solo classificado por SILVA e MELO (1970) como pertencente à Série Germoplasma, compreendendo solos com "B" textural, saturação de bases alta, argila de atividade alta, profundos e medianamente profundos e originados de sienitos nefelínicos do Pré-Cambria no Indiviso. Consta de solos argilosos, bem drenados e de permeabilil

dade moderada, com ocorrência de concreções ferruginosas em quase todo o perfil e minerais primários nos horizontes subjacentes. Possuem boa capacidade de retenção de água, adaptando-se a qualquer tipo de agricultura e pastagens, sendo um dos bons solos para o cultivo do cacauero.

Segundo a terminologia da 7a. aproximação, foram classificados por SILVA e outros (1971) como sub-grupo Typic Tropudalf.

### 3.3. Clima

O clima do Centro de Pesquisas do Cacau, enquadra-se segundo LOPES DA COSTA (1958), citados por SILVA e MELO (1970) no tipo Af de Koppen, caracterizando-se por apresentar um clima de selvas, quente e úmido, sem estação seca, como evidenciam as Figuras 1, 2 e 3.

Segundo THORNTHWAITE, citado por SILVA e MELO (1970), o clima pode ser definido pela fórmula climática  $B_{1r} A' a'$ , isto é, com pequena ou nenhuma deficiência de água, megatérmico com concentração no verão de evapotranspiração potencial menor que 48% (Figura 4).

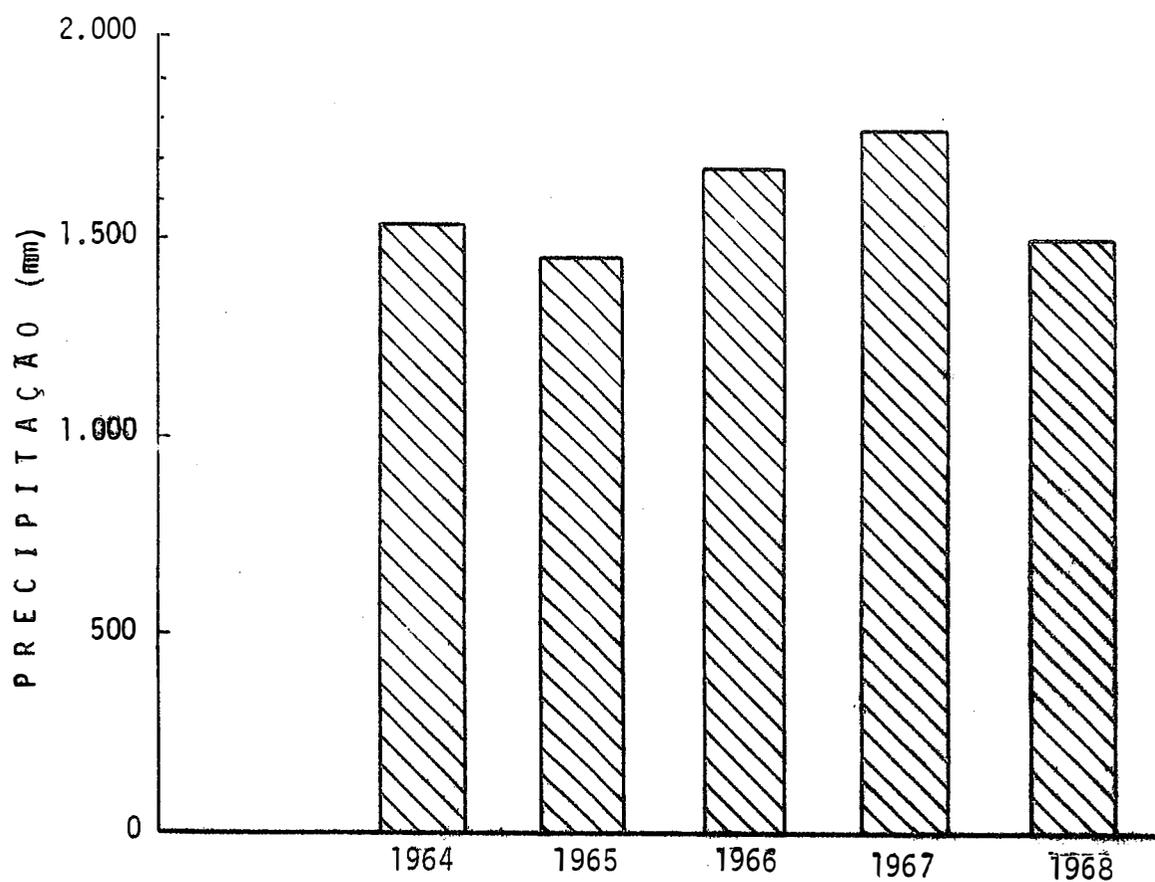


Figura 1 - Valores anuais de 5 anos (1964-1968) da precipitação pluviométrica do Centro de Pesquisas do Cacau (Silva e Melo, 1970).

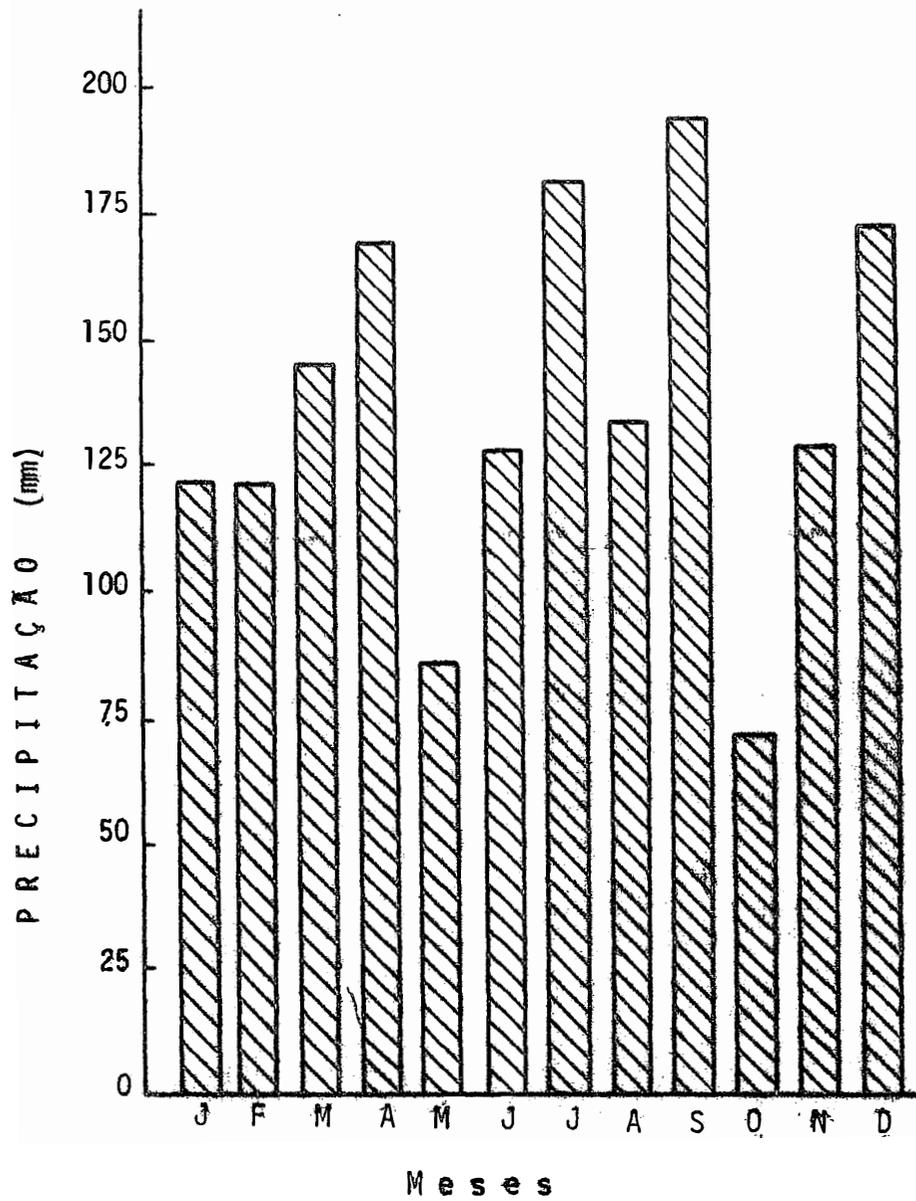


Figura 2 - Valores médios mensais de 4 anos (1964-67) da precipitação pluviométrica do Centro de Pesquisas do Cacau (Silva e Melo, 1970).

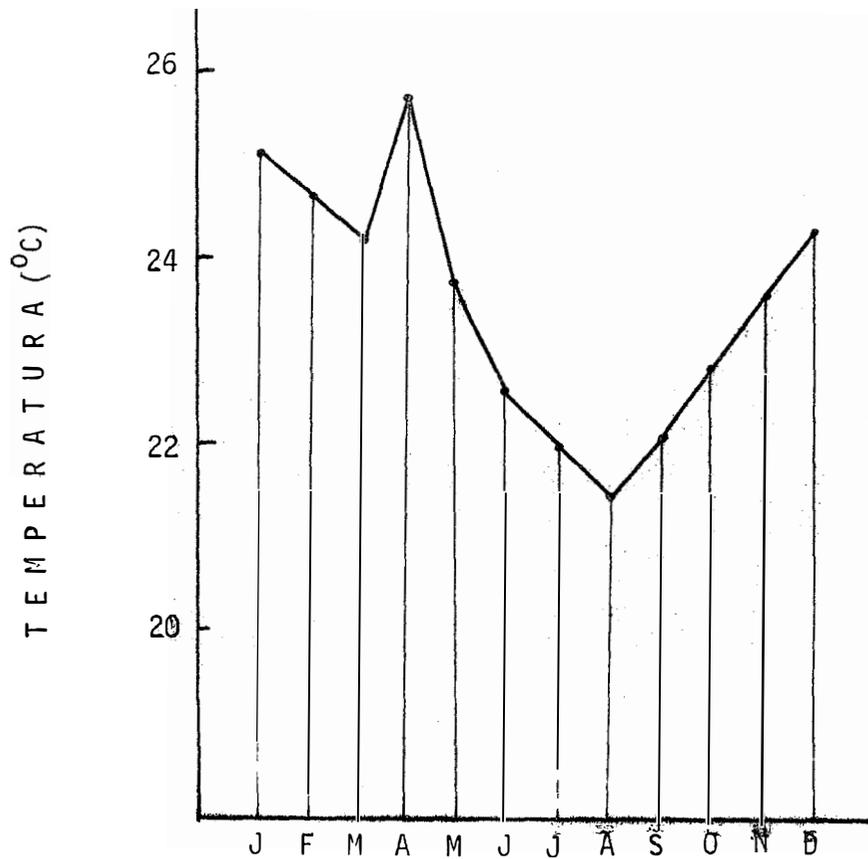


Figura 3 - Valores médios mensais de 4 anos (1964-67) da temperatura do ar do Centro de Pesquisas do Cacau (Silva e Melo, 1970).

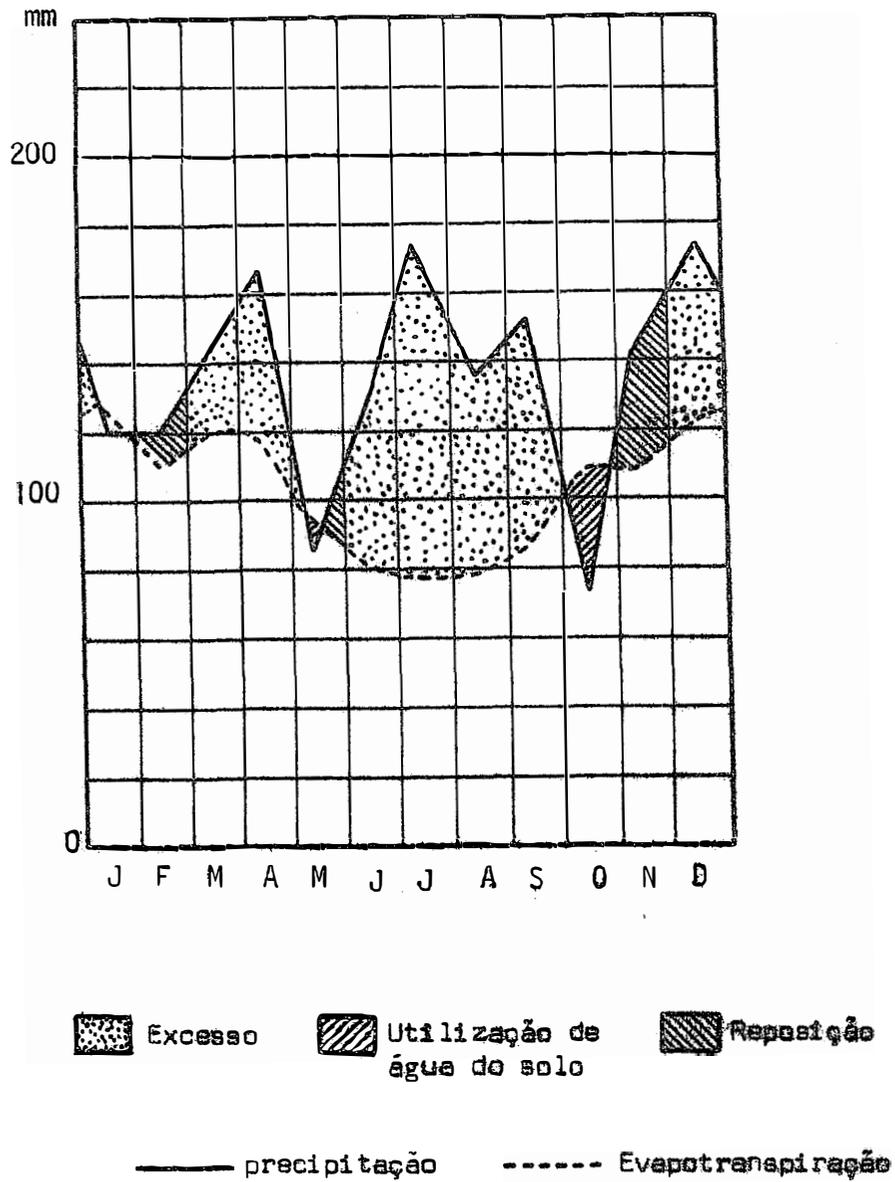


Figura 4 - Balanço hídrico para o Centro de Pesquisas do Cacau, segundo Thornthwaite, 1948 (SILVA e MELO, 1970).

### 3.4. Delineamento experimental

Foram escolhidas 6 plantas com 10 anos de idade, pertencentes a um ensaio de competição de variedades realizado na área do Centro de Pesquisas do Cacau. As plantas são cacaueiros híbridos, resultantes de cruzamentos controlados de clones do Complexo Amazônico (LOCAIS) x Trinitários (UF - 613) e Crioulos (DR - 2).

O bloco de 6 plantas, espaçadas de 3 m entre si, perfazendo  $54 \text{ m}^2$  (6 x 9 m), foi isolado das demais por uma valeta de 70 cm de largura, ao redor do bloco, com 2 metros de profundidade (Figura 5). Este bloco, com  $108 \text{ m}^3$  de terra, foi irrigado durante vários dias até atingir saturação. Na Figura 6 observa-se que após a saturação o bloco foi recoberto por um lençol plástico, de 10 x 13 m ( $130 \text{ m}^2$ ), deixando 2 metros de plástico para cada lado do bloco.

O autosombreamento foi igual para todos os cacaueiros uma vez que existem eritrinas (*Erythrina poeppigiana*) plantadas como árvores de sombra, com espaçamentos de 24 x 24 m.

O experimento constou de 9 tratamentos e 6 repetições delineados conforme o esquema totalmente casualizado. Os tratamentos, referentes aos pontos de determinação da variação da umidade do solo em torno de cada uma das 6 plantas que constituem as repetições, resultam das combinações entre:

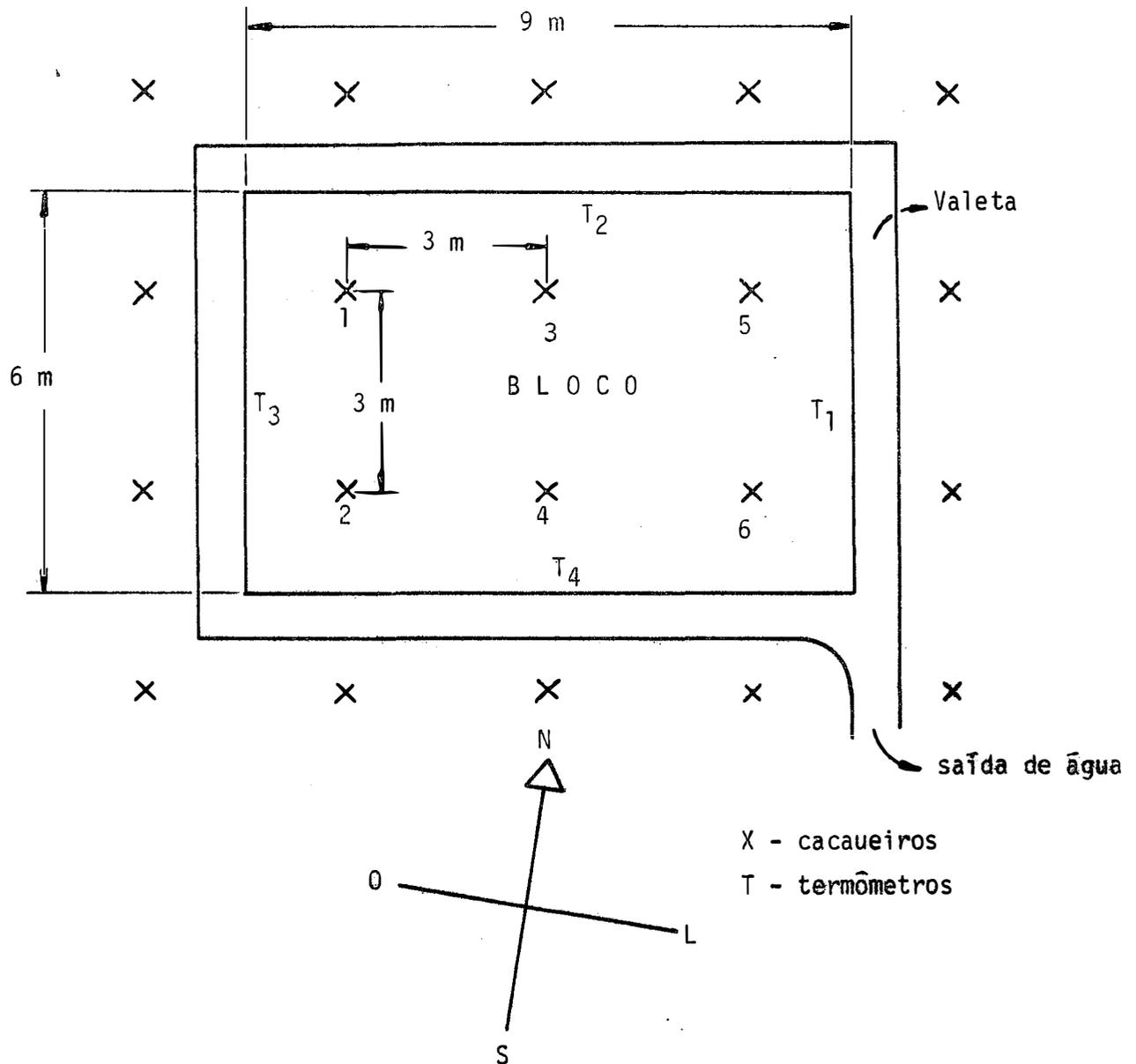


Figura 5 - Localização dos cacaueiros (3 x 3 m) no bloco de 54 m<sup>2</sup>, termômetros e orientação dos mesmos, no Centro de Pesquisas do Cacau.



FIGURA 6 - Bloco de terra com  $108 \text{ m}^3$  (6 x 9 x 2 m) com o respectivo plástico de  $130 \text{ m}^2$  (10 x 13 m).

- 1) 3 distâncias do tronco (30, 50 e 100 cm)
- 2) 3 profundidades (0-30, 30-60 e 60-90 cm).

O experimento foi instalado em agosto de 1973 e teve a duração de 3 meses.

Dois anos depois da instalação do experimento, ~~projeto~~u-se, no mesmo período, um ensaio com geotermômetros (2 a 10 cm de profundidade) para cada lado do bloco, tomando em consideração a orientação dos 4 pontos cardiais, como indica a Figura 5.

### 3.5. Amostras do solo para diversas finalidades

Coletaram-se amostras não deformadas para determinações de umidade, densidade do solo e tensão de umidade e amostras de terra solta para densidade das partículas, análise granulométrica e química.

#### 3.5.1. Amostras não deformadas para determinações de umidade

Empregou-se o trado sonda "CEPEC" de CADIMA(1973) para a coleta de terra em diferentes estágios de umidade.

A coleta de amostras do solo nas distâncias do tronco e profundidades já delineadas, foram efetuadas com auxílio

do trado sonda através de pequeno furo no lençol plástico. Após a retirada das amostras, o furo deixado pelo trado foi vedado com um remendo do mesmo material e colado com araldite, tanto pelo lado interno como externo do plástico, para maior segurança.

A primeira época da coleta das amostras foi 2 dias após a saturação e as seguintes de 7 em 7 dias durante 8 semanas consecutivas. Estas amostragens foram tomadas seguindo uma disposição radial em torno de cada planta e obedecendo sempre as distâncias e profundidades pré-estabelecidas.

Com a finalidade de se obter amostras representativas em profundidade, as coletas foram feitas entre 2 e 15 cm a profundidade de 0-30 cm; de 40 a 53 cm para a profundidade de 30-60 cm e de 70 a 83 cm para a profundidade de 60-90 cm. O volume de cada amostra individual era em torno de  $50 \text{ cm}^3$ . Depois de retiradas, as amostras foram colocadas em latas que foram mantidas fechadas até que o peso total fosse determinado. As amostras foram posteriormente secas em estufa elétrica a  $105-110^\circ\text{C}$  para determinação da unidade. Os resultados foram expressos em % de peso seco em estufa.

### 3.5.2. Amostras não deformadas para densidade do solo

As amostras do solo, não deformadas, foram coletadas nas 3 profundidades referidas, por meio de um anel volumétrico de  $50 \text{ cm}^3$  (anel de Kopecky). O material recolhido pelo anel foi

transportado para o laborat6rio em latas identificadas para a determinaç6o do peso seco em estufa.

### 3.5.3. Amostras deformadas para outras determinaç6es

As amostras deformadas, das profundidades citadas, foram secas ao ar, trituradas e passadas por uma peneira de 2mm de abertura de malha.

A determinaç6o da densidade das part6culas foi feita empregando-se o m6todo do picn6metro (BLAKE, 1965).

As an6lises granulom6tricas, foram efetuadas de acordo com o m6todo da pipeta, modificado por GROHMANN e VAN RAIJ (1973).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Análise física do solo em estudo

A Tabela 1, apresenta os dados obtidos da análise física do solo dos perfis onde se encontram as plantas, às profundidades estudadas. A média destes dados, também apresentada, permite classificar texturalmente este solo como franco argiloso na camada superficial e argiloso nas camadas mais profundas.

A variação observada no teor de argila das profundidades amostradas, pode ser atribuída à coincidência destas camadas com horizontes do perfil. Não se dispõe, entretanto, até o momento, de outra informação sobre a morfologia dos solos da Série Germoplasma que não a que se pode inferir da descrição dada por SILVA e MELO (1970). Estes autores apresentaram o seguinte relato: "Solos de

TABELA 1 - Análise física de amostras de terra tomadas dos 6 perfis e às 3 profundidades estudadas.

Nº da planta	Profundidade (cm)	Análise granulométrica (Método de Grohmann e Van Raij)			D <sub>s</sub> * g/cm <sup>3</sup>	D <sub>p</sub> ** g/cm <sup>3</sup>	Porosidade total %
		areia grossa	areia fina	argila			
1	0-30	13,0	34,0	18,8	1,30	2,84	54,2
	30-60	2,0	41,4	12,3	1,48	2,77	46,6
	60-90	6,0	44,1	17,4	1,36	2,74	50,4
2	0-30	14,0	32,4	19,1	1,16	2,88	59,7
	30-60	6,0	12,8	29,2	1,15	2,79	58,8
	60-90	6,0	20,8	14,6	1,20	2,84	57,7
3	0-30	12,0	34,0	19,0	1,12	2,93	61,8
	30-60	1,0	29,8	16,2	1,27	2,75	53,8
	60-90	2,0	31,0	18,1	1,19	2,75	56,7
4	0-30	13,0	34,6	17,7	1,15	2,91	60,5
	30-60	3,0	29,8	12,6	1,24	2,79	55,6
	60-90	1,0	39,6	16,1	1,25	2,70	53,7
5	0-30	10,0	31,6	19,3	1,39	2,89	51,9
	30-60	3,0	23,5	20,0	1,32	2,90	54,5
	60-90	4,0	28,0	23,8	1,23	2,84	56,7
6	0-30	8,0	33,4	20,8	1,24	2,90	57,2
	30-60	4,0	30,2	21,7	1,27	2,81	54,8
	60-90	3,0	30,2	16,2	1,33	2,75	51,6
MÉDIA	0-30	11,8	33,3	19,1	1,22	2,89	57,5
	30-60	3,2	27,9	18,6	1,29	2,80	54,0
	60-90	3,6	32,3	17,8	1,26	2,77	54,5

\* Densidade do solo.  
\*\* Densidade das partículas.

"B" textural, com espessura superior a 100 cm, argilosos, bem drenados, com declives variáveis de 10 a 15%. Ocupam cerca de 21 hectares da área mapeada".

SILVA (1975) considerou dispensável maiores detalhes sobre estes solos por serem semelhantes aos da Série São Miguel (\*). Há, todavia, variações sensíveis, em certos parâmetros de importância para a identificação de solos, entre os dados apresentados por estes autores para a Série São Miguel e os obtidos para este trabalho com amostras da Série Germoplasma. A densidade média do solo, por exemplo, tem um valor em torno de  $1,1 \text{ g/cm}^3$  para o perfil da Série São Miguel, enquanto que para o solo em estudo é próximo de  $1,3 \text{ g/cm}^3$  (Ver Tabela 1).

Por estas razões os dados são comentados com relação às camadas previamente escolhidas para o estudo.

Os menores teores de argila na profundidade de 60 a 90 cm, dos perfis dos solos das plantas ímpares (1, 3 e 5), relativamente aos perfis dos solos das plantas pares (2, 4 e 6), indicam que, provavelmente, estas amostras foram coletadas de camadas que interceptaram horizontes diferentes. Das amostras coletadas nos perfis pertencentes às plantas 2, 4 e 6, a 4 apresentou menor teor de argila para a profundidade de 60 a 90 cm.

---

(\* ) Comunicação particular.

Na mesma Tabela 1, observa-se que, além da diminuição da argila nos perfis ímpares, a densidade do solo apresenta também valores menores para a profundidade de 60 a 90 cm, enquanto que nos perfis pares foram observados valores maiores para esta profundidade.

Com relação à porosidade total, observa-se que, em média, ela é maior para a profundidade de 0 a 30 cm, quando comparado com as outras profundidades. Observa-se também que a porosidade total é maior na profundidade de 60 a 90 cm, quando comparado com a profundidade de 30 a 60 cm, nos solos das plantas 1, 3 e 5, acontecendo o contrário nos perfis das outras plantas.

Observa-se também, na média das 6 plantas, que a densidade do solo se apresenta menor na profundidade de 60 a 90 cm do que de 30 a 60 cm. A densidade das partículas segue a mesma tendência.

Estes dados estabelecem 2 grupos de perfis, ímpares e pares, que serão assim identificados, quanto necessário, na discussão dos resultados.

#### 4.2. Teores de umidade do solo nas épocas estudadas

Os resultados dos teores de umidade são apresentados na Tabela 2.

TABELA 2 - Teores de umidade do solo (em % de volume para os tratamentos e blocos nas épocas estudadas.

Dis- tân- cia (cm)	Profun- didade (cm)	Á R V O R E 1								
		ÉPOCA DE AMOSTRAGEM								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
30	0-30	52,73	42,42	41,36	40,99	38,44	36,72	35,48	35,54	34,81
	30-60	62,93	59,60	57,91	57,76	57,45	55,93	55,28	55,23	55,60
	60-90	46,69	44,29	41,53	41,27	40,25	39,30	39,78	38,92	38,76
50	0-30	53,39	40,20	37,32	36,46	36,26	34,26	34,52	32,92	32,64
	30-60	60,53	58,84	51,98	51,19	49,16	48,59	48,42	47,98	48,28
	60-90	43,22	38,08	34,67	34,56	34,05	33,81	33,13	33,33	32,75
100	0-30	55,25	37,69	34,23	34,03	32,80	32,66	32,51	32,37	32,08
	30-60	64,31	55,84	53,35	53,15	52,54	52,24	51,58	50,93	52,32
	60-90	52,25	43,79	36,92	36,53	36,46	35,75	35,29	35,48	34,98
		Á R V O R E 2								
30	0-30	52,20	47,94	46,58	41,34	38,60	37,63	35,90	35,54	36,33
	30-60	51,31	49,72	48,80	48,88	48,59	45,98	45,54	44,69	44,43
	60-90	53,52	53,49	52,01	49,09	46,60	44,95	44,24	44,18	42,86
50	0-30	47,41	44,25	43,46	41,53	40,67	39,45	34,29	34,42	34,13
	30-60	53,70	53,07	50,55	48,61	43,72	42,60	42,28	43,25	41,82
	60-90	55,39	55,38	48,92	48,44	46,28	43,48	42,53	42,49	42,02
100	0-30	47,10	43,45	41,03	40,48	38,88	38,17	38,20	35,95	34,58
	30-60	52,13	52,08	52,03	49,33	47,86	46,14	48,25	47,10	45,06
	60-90	51,78	51,06	51,61	45,42	43,62	41,82	41,62	40,76	40,87

- continua -

- continuação -

Dist.	Prof.	Á R V O R E 3									
30	0-30	41,27	38,79	38,99	37,59	35,13	34,15	33,33	31,59	29,40	
	30-60	50,13	48,69	50,69	48,61	49,41	47,34	46,30	45,32	45,41	
	60-90	43,19	39,49	38,21	37,95	37,83	37,72	37,37	36,69	35,90	
50	0-30	44,75	36,90	35,75	35,62	33,24	32,33	29,93	30,17	30,51	
	30-60	49,71	49,57	48,94	47,13	44,86	44,58	44,63	44,77	44,47	
	60-90	42,43	39,92	36,33	36,12	34,06	33,37	33,14	32,99	33,01	
100	0-30	45,89	36,09	35,81	32,95	31,14	30,02	30,10	29,53	29,79	
	30-60	49,59	51,05	51,17	50,33	47,19	46,81	43,93	44,35	43,76	
	60-90	43,21	42,24	35,93	35,59	34,56	35,06	34,63	34,33	33,77	
Á R V O R E 4											
30	0-30	49,57	43,40	40,52	40,01	36,67	36,62	35,63	34,82	34,92	
	30-60	51,39	45,28	45,12	44,82	44,91	44,51	41,97	41,96	42,43	
	60-90	49,80	41,91	40,98	39,81	38,21	38,23	37,80	37,38	37,46	
50	0-30	43,22	41,17	40,04	37,98	38,05	36,95	35,76	36,80	33,40	
	30-60	53,82	44,38	43,49	43,40	43,50	44,25	43,14	43,23	42,56	
	60-90	56,40	47,81	43,54	41,87	39,82	39,36	39,02	39,47	38,37	
100	0-30	44,77	42,77	41,32	39,87	37,98	38,09	37,49	36,53	34,75	
	30-60	53,67	49,90	46,92	46,40	43,93	44,07	43,63	43,78	43,55	
	60-90	47,75	46,25	41,46	40,79	40,00	39,90	38,20	38,76	37,97	

- continua -

- continuação -

Dist.	Prof.	Á R V O R E 5									
30	0-30	60,38	53,58	51,81	49,45	46,62	45,81	43,35	42,73	41,45	
	30-60	65,19	59,43	57,05	56,56	56,68	55,09	54,32	54,54	52,93	
	60-90	52,92	49,36	46,12	45,20	44,31	41,64	42,31	41,79	41,91	
50	0-30	62,65	62,15	60,39	55,24	52,15	46,74	43,45	41,52	39,36	
	30-60	60,39	57,25	56,47	54,70	49,19	48,43	48,09	47,93	48,31	
	60-90	55,82	51,93	50,33	48,98	47,93	46,59	45,89	44,75	44,88	
100	0-30	54,29	52,37	44,99	43,94	41,39	41,14	40,70	40,81	40,64	
	30-60	56,01	58,61	46,91	46,45	47,84	47,72	46,45	45,99	46,41	
	60-90	53,07	50,29	36,94	36,69	35,69	37,75	36,07	36,15	36,94	
Á R V O R E 6											
30	0-30	52,01	46,39	47,83	42,49	39,52	36,97	35,19	35,63	35,66	
	30-60	53,16	49,59	48,29	47,10	45,88	45,17	44,85	45,14	45,04	
	60-90	55,20	52,38	51,88	45,89	44,35	44,44	44,25	43,07	43,55	
50	0-30	50,52	41,40	43,26	41,14	38,19	36,69	36,32	36,01	36,12	
	30-60	52,39	50,62	51,70	46,11	44,87	45,13	44,73	44,88	45,21	
	60-90	52,84	50,25	51,54	49,71	48,34	48,07	45,49	44,43	44,35	
100	0-30	45,10	38,94	39,65	39,39	38,25	35,69	35,93	36,08	35,72	
	30-60	54,52	52,67	50,74	48,72	46,79	46,16	45,44	45,45	45,25	
	60-90	58,21	53,60	54,34	48,64	46,93	44,14	44,23	44,10	44,21	

Confrontando-se estes dados de umidade com a porosidade total calculada (Tabela 1) nota-se uma discrepância nos dados para a profundidade 30-60 cm do perfil da planta 1 e da profundidade 60-90 do perfil da planta 6. Esta discordância de dados é atribuída aos valores elevados obtidos para densidade do solo (Tabela 1), embora seja também possível que as variações nos teores de argila entre as camadas dos perfis, assim como também entre os perfis estudados, resulte em diferentes comportamentos da permeabilidade do solo. Desta forma, o tempo uniforme para drenar o excesso de água, até que se procedesse à primeira amostragem, não foi, provavelmente, igualmente suficiente para todos os perfis.

O teor de argila é, em média, mais elevado na profundidade de 30 a 60 cm (Tabela 1), de maneira que os resultados mais elevados de umidade observados para esta camada eram esperados.

#### 4.3. Análise de variância dos resultados obtidos para umidade

Efetuar-se 9 análises de variância, uma para cada época de amostragem, para separar efeitos e observar significância aos níveis de probabilidade de 1 e 5%. O coeficiente de variação oscilou entre 7,79% e 10,84%. Os resultados obtidos de tais análises estão incluídos na Tabela 3.

Observa-se que o efeito entre profundidades se apresentou altamente significativo a 1% de probabilidade. Observa-se também que os

Tabela 3 - Análise de variância do teor de umidade referente às 9 épocas de amostragem.

Período tomada amostras	Causas de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
1a. Época (2)* 30/7 C.V.=7,79	Profundidade (P)	2	282,1833	141,0919	8,56**
	Distância (D)	2	6,7673	3,3836	0,20
	Interação (DxP)	4	18,4965	4,6241	0,28
	Tratamentos	8	307,4478	38,4309	2,33
	Blocos	5	781,8228	156,3545	
	Resíduo	40	659,0733	16,4768	
	TOTAL	53	1.748,3439		
2a. Época (9)* 06/8 C.V.=8,91	Profundidade (P)	2	689,0885	344,5442	18,89**
	Distância (D)	2	1,8940	0,9470	0,05
	Interação (DxP)	4	46,7102	11,6775	0,64
	Tratamentos	8	737,6827	92,2115	5,05
	Blocos	5	858,0606	171,6121	
	Resíduo	40	729,2313	18,2307	
	TOTAL	53	2.324,9848		
3a. Época (16)* 13/8 C.V.=10,84	Profundidade (P)	2	681,8386	340,9193	13,85**
	Distância (D)	2	73,2412	36,6206	1,48
	Interação (DxP)	4	28,9046	7,2261	0,29
	Tratamentos	8	783,9844	97,9980	3,98
	Blocos	5	638,2413	127,6482	
	Resíduo	40	984,2432	24,6060	
	TOTAL	53	2.406,4692		
4a. Época (23)* 20/8 C.V.=9,56	Profundidade (P)	2	783,3559	391,6779	21,97**
	Distância (D)	2	61,2447	30,6223	1,71
	Interação (DxP)	4	23,1857	5,7964	0,32
	Tratamentos	8	867,7865	108,4733	6,08
	Blocos	5	429,9531	85,9906	
	Resíduo	40	712,8856	17,8221	
	TOTAL	53	2.010,6252		
5a. Época (37)* 3/9 C.V.=8,48	Profundidade (P)	2	865,7431	432,8715	28,10**
	Distância (D)	2	58,3263	29,1631	1,89
	Interação (DxP)	4	58,0346	14,5086	0,94
	Tratamentos	8	982,1041	122,7630	7,97
	Blocos	5	382,7847	76,5569	
	Resíduo	40	616,0177	15,4004	
	TOTAL	53	1.980,9064		

- continua -

Tabela 3 (Continuação)

Período Tomada amostras	Causas de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
6a. Época (37)* 3/9 C.V.=8,48	Profundidade (P)	2	950,0104	475,0052	38,13**
	Distância (D)	2	35,3437	17,6718	1,41
	Interação (DxP)	4	28,1978	7,0494	0,56
	Tratamentos	8	1.013,5521	126,6940	10,17
	Blocos	5	300,3159	60,0631	
	Resíduo	40	498,2102	12,4552	
	TOTAL	53	1.812,0783		
7a. Época (44)*10/9 C.V.=8,29	Profundidade (P)	2	1.041,0139	520,5069	45,44**
	Distância (D)	2	30,1387	15,0693	1,31
	Interação (DxP)	4	16,7225	4,1806	0,36
	Tratamentos	8	1.087,8752	135,9844	11,87
	Blocos	5	288,3888	57,6777	
	Resíduo	40	458,0956	11,4523	
	TOTAL	53	1.834,3596		
8a. Época (51)*17/9 C.V.=7,88	Profundidade (P)	2	1.125,8715	562,9357	55,38**
	Distância (D)	2	24,3159	12,1579	1,19
	Interação (DxP)	4	10,2604	2,5651	0,25
	Tratamentos	8	1.160,4480	145,0560	14,27
	Blocos	5	278,2604	55,6520	
	Resíduo	40	406,5731	10,1643	
	TOTAL	53	1.845,2814		
9a. Época (58)*24/9 C.V.=7,84	Profundidade (P)	2	1.210,9289	605,4644	61,32**
	Distância (D)	2	26,0120	13,0060	1,31
	Interação (DxP)	4	8,7935	2,1983	0,22
	Tratamentos	8	1.245,7346	155,7168	15,77
	Blocos	5	298,2066	59,6413	
	Resíduo	40	394,9185	9,8729	
	TOTAL	53	1.938,8596		

\* Dias após a saturação do solo.

\*\* Significativo a 1% de probabilidade.

valores de F para profundidades mostraram uma tendência a aumentar progressivamente, o que é uma indicação de que as variações de umidade entre as profundidades aumentou em função da época. Pelo mesmo teste, vê-se a inexistência de significação para distâncias e para a interação distância x profundidade.

Na Tabela 4, são apresentadas os resultados do Teste de Tukey. Observa-se que na primeira época o teor de umidade na profundidade de 30-60 cm ( $m_2$ ) difere significativamente das profundidades 0-30 cm ( $m_1$ ) e 60-90 ( $m_3$ ). Assim,  $\bar{m}_2 \neq \bar{m}_1, \bar{m}_3$ . Este modelo se aplica até a quinta época de coleta de amostras de terra. A partir da sexta época observa-se que o teor de umidade na profundidade de 0-30 cm difere significativamente de 30-60 e 60-90 cm, sendo que 30-60 cm difere também significativamente de 60-90 cm. Assim  $m_1 \neq m_2, m_3$  e  $m_2 \neq m_3$ .

A diminuição mais acentuada da umidade, nas profundidades extremas (0-30 e 60-90 cm), é atribuída à maior absorção de água pelas raízes do cacauzeiro a estas profundidades, como será discutido adiante. É possível que o teor menor de argila a estas profundidades tenha também concorrido para este resultado.

Tabela 4 - Teste de Tuckey para profundidades (5%).

Épocas de tomadas das amostras	PROFUNDIDADES			Delta para profundidade
	0-30 ( $m_1$ )	30-60 ( $m_2$ )	60-90 ( $m_3$ )	
1a.	50,1499	55,2710	50,7605	3,2912
2a.	43,8833	52,5660	47,3066	3,4619
3a.	42,4633	50,6727	44,0699	4,0220
4a.	40,5833	49,4027	42,3633	3,4229
5a.	38,5544	48,0205	41,0716	3,1819
6a.	37,2416	47,2633	40,2988	2,8615
7a.	36,0044	46,6016	39,7216	2,7439
8a.	35,4366	46,4733	39,3927	2,5850
9a.	34,7938	46,2794	39,1422	2,5476

#### 4.4. Análise de tendência dos resultados

##### 4.4.1. Variação da umidade com a distância

Embora a análise de variância, não tenha indicado significância para distâncias (30, 50 e 100 cm) do tronco, há uma tendência para maior absorção de água a 100 cm do que a distâncias de 30 ou 50 cm, conforme pode-se observar comparando as Figuras 7, 8 e 9.

Na Figura 7, com referência à distância de 30 cm, quando comparada com a Figura 8, com distância de 50 cm, na profundidade de 0 a 30 cm, a diferença na marcha de absorção de água é mínima, possivelmente devido a serem distâncias próximas ao tronco. Na profundidade de 30 a 60 cm, observa-se maior absorção na distância de 50 cm, provavelmente devido à conformação das raízes que nascem da metade da pivotante, sendo que umas se dirigem para cima e outras para baixo, resultando que se encontram mais raízes finas a 50 cm de distância do que a 30 cm. Com referência à profundidade de 60 a 90 cm as diferenças são muito pequenas, pois em ambas situações a absorção de água pelas raízes do final da pivotante é semelhante.

Comparando a distância de 30 cm com a de 100 cm (Figura 9) na profundidade de 0 a 30 cm, verifica-se que as diferenças são marcantes, devido que as raízes absorvem mais umidade na distân

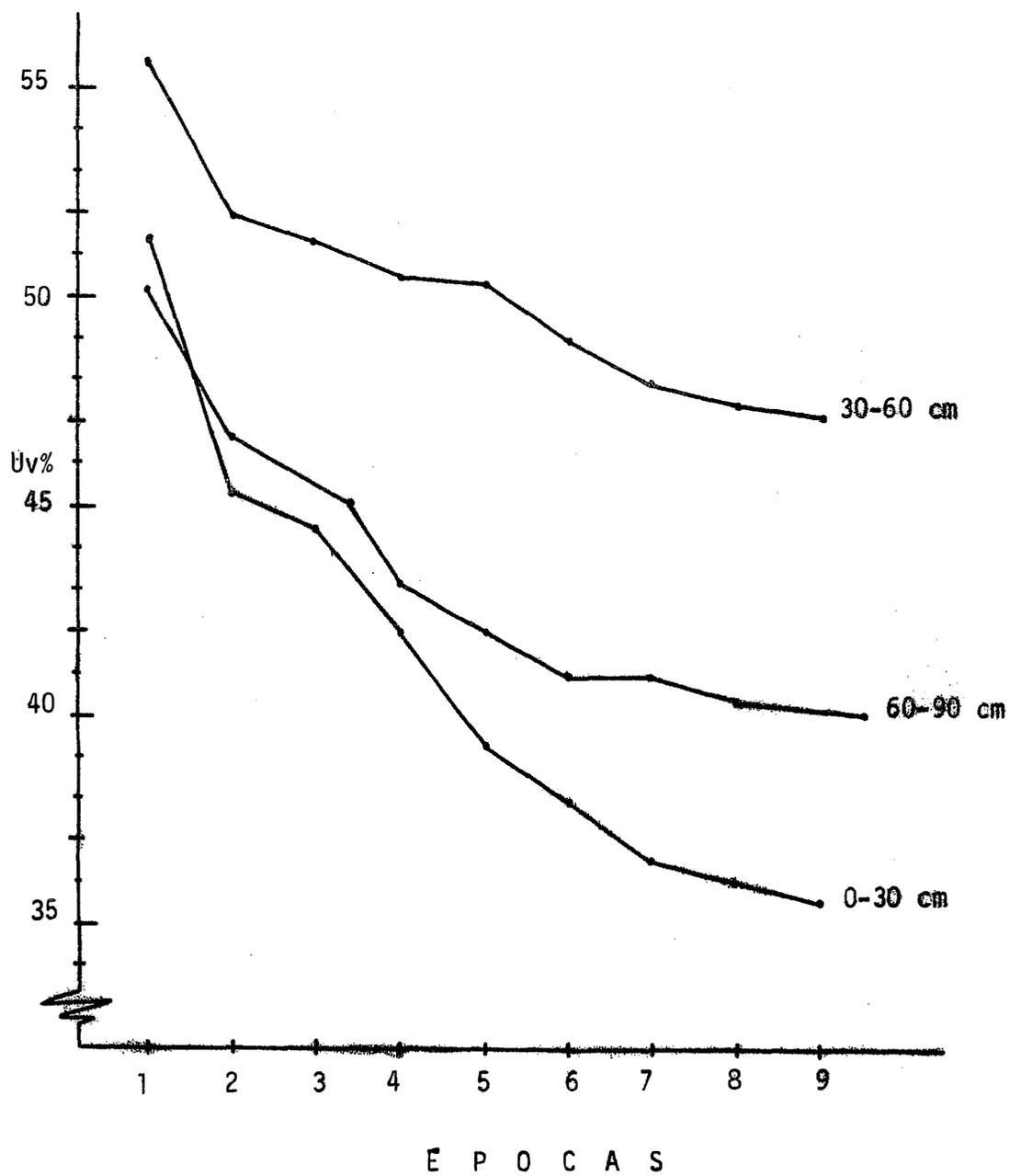


Figura 7 - Variação média de umidade do solo a três profundidades distantes 30 cm do tronco do cacauero.

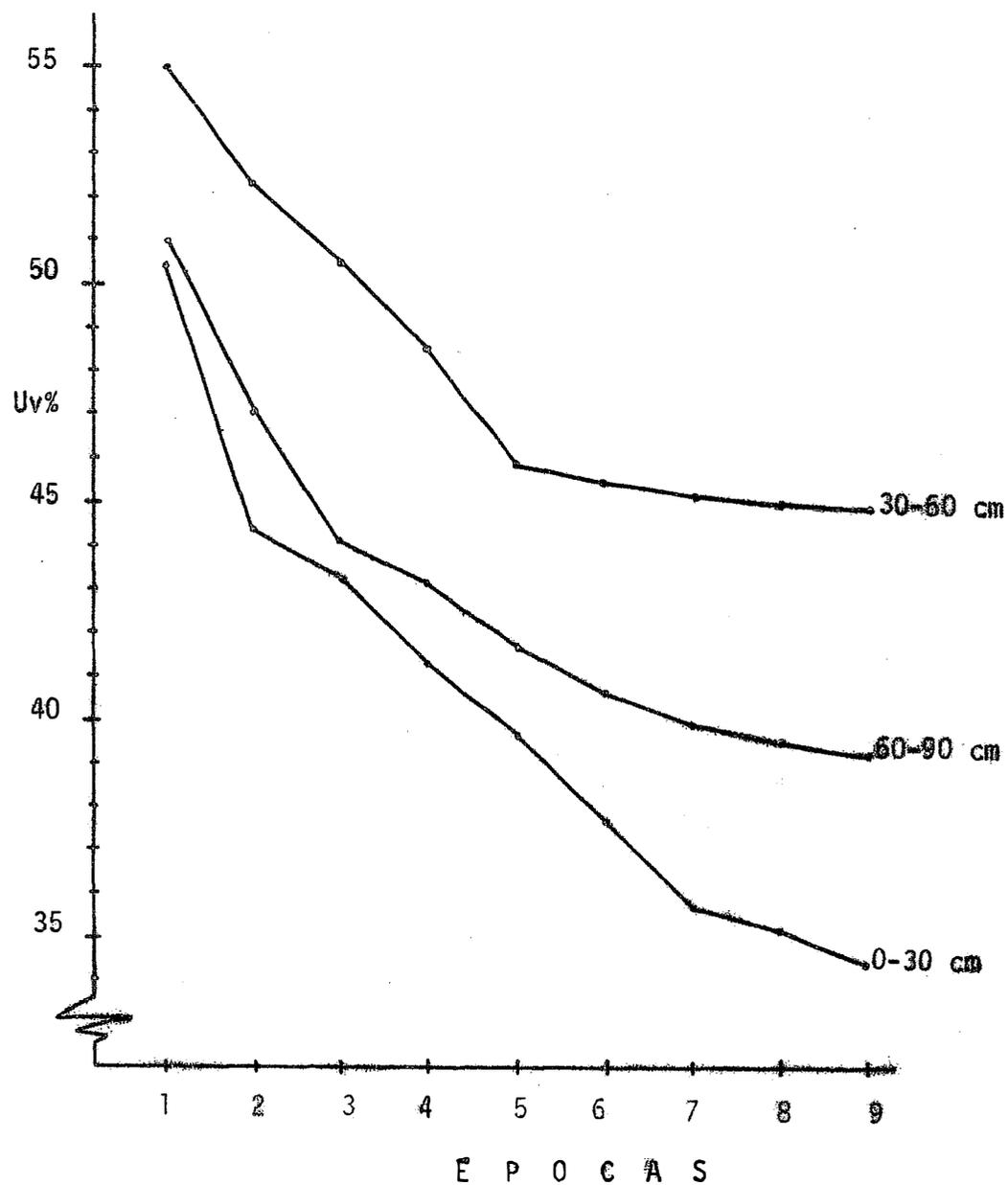


Figura 8 - Variação média de umidade do solo a três profundidades distantes 50 cm do tronco do cacaueteiro.

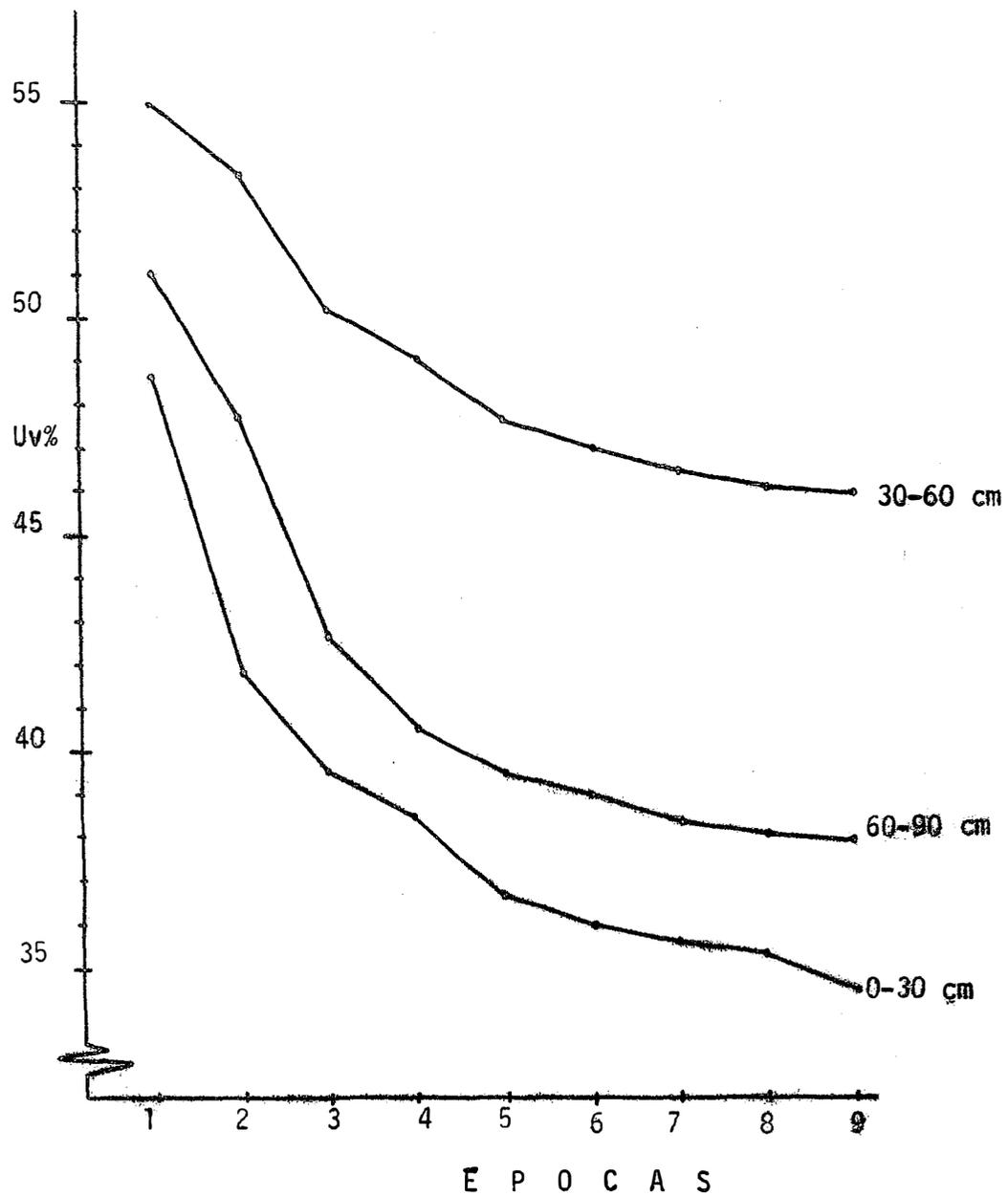


Figura 9 - Variação média de umidade do solo a três profundidades distantes 100 cm do tronco do cacaueteiro.

cia de 100 cm, pois, existem nesta situação raízes mais finas cuja absorção é mais ativa. Na profundidade de 30 a 60 cm existem diferenças de umidade, sendo que a absorção é maior aos 100 cm de distância, visto que, a esta distância há também as raízes que nascem do meio da pivotante dirigindo-se para baixo e para cima. Na profundidade de 60 a 90 cm existe maior absorção a 100 cm tronco devido às raízes do final da pivotante, e às raízes que nascem da metade da mesma e se dirigem para baixo.

A Figura 10 ilustra este tipo de desenvolvimento. Trata-se de um esquema do sistema radicular do cacauzeiro reproduzindo a observação de uma exposição, por escavação, de perfil rente ao tronco de uma árvore adulta. Os dados de umidade e as tendências observadas confirmam o desenvolvimento radicular observado no campo (CADIMA, 1970).

Com relação à comparação entre as distâncias de 50 cm (Figura 8) e 100 cm do tronco (Figura 9), nota-se quase as mesmas diferenças encontradas entre as distâncias de 30 e 100 cm.

#### 4.4.2. Variação de umidade com a profundidade

Dados de umidade do solo (% de volume), densidade do solo e argila em porcentagem para as 3 profundidades (0 a 30, 30 a 60 e 60 a 90 cm), estão incluídos nas Figuras 11 a 16, correspondentes aos seis cacauzeiros, com dados de umidade desde a primeira até a nona época.

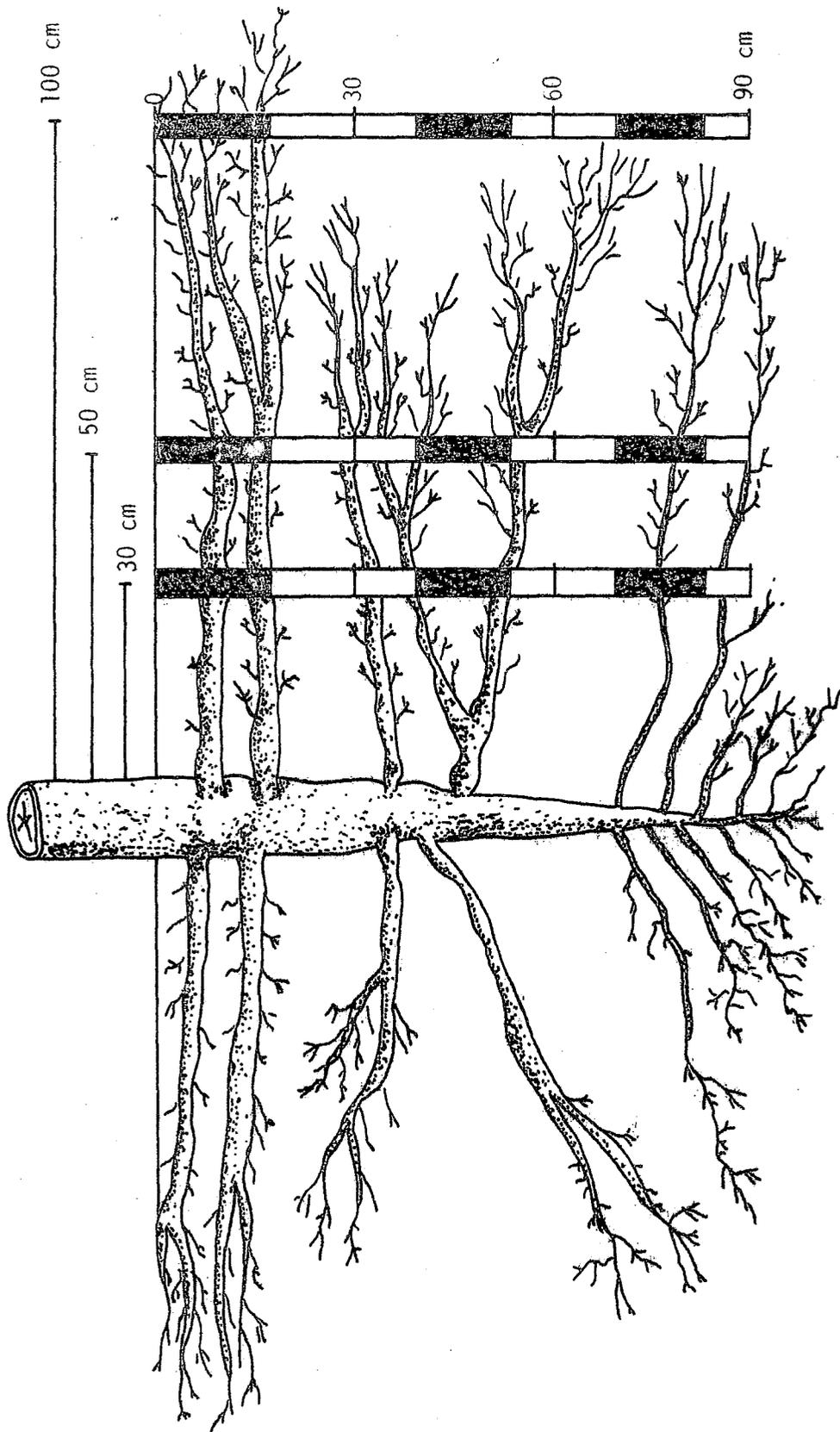
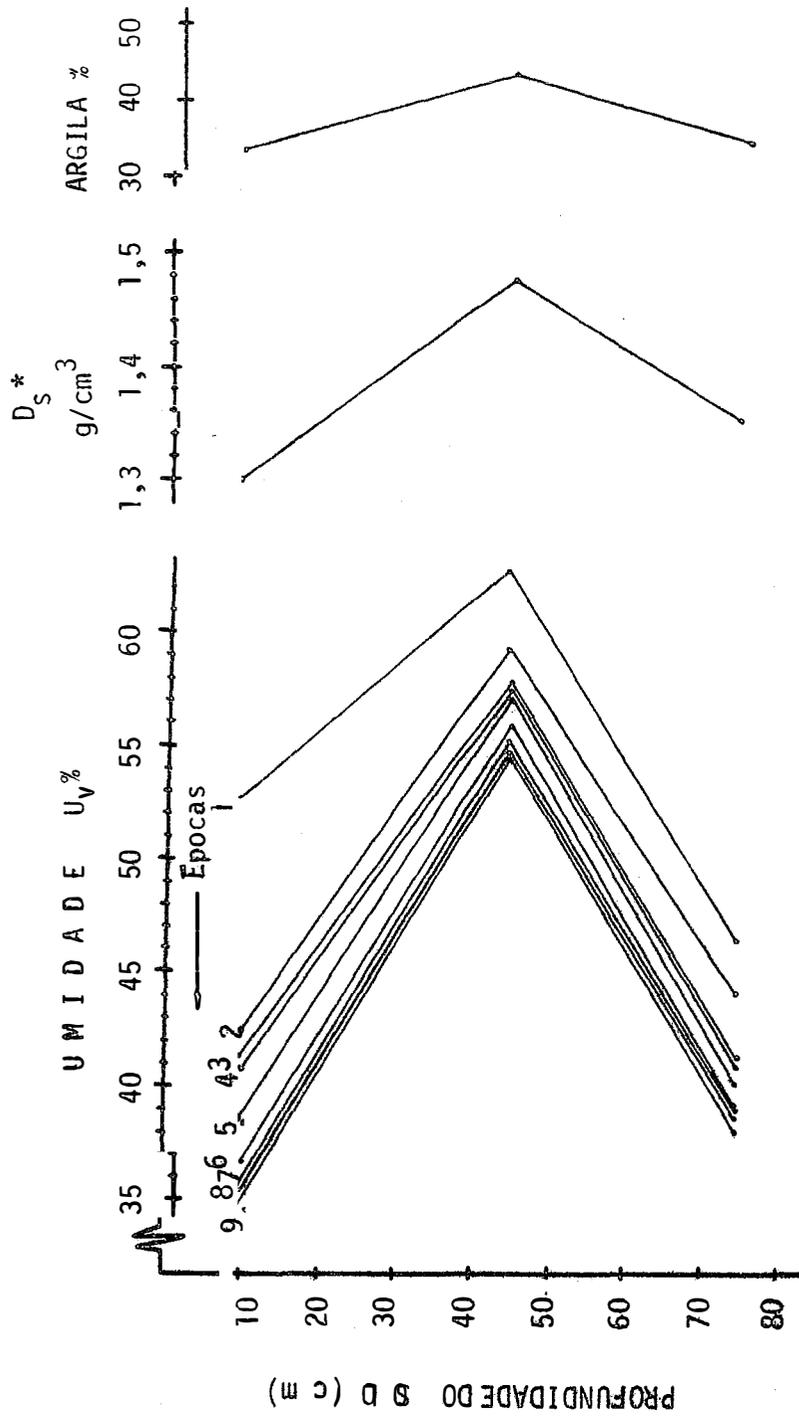
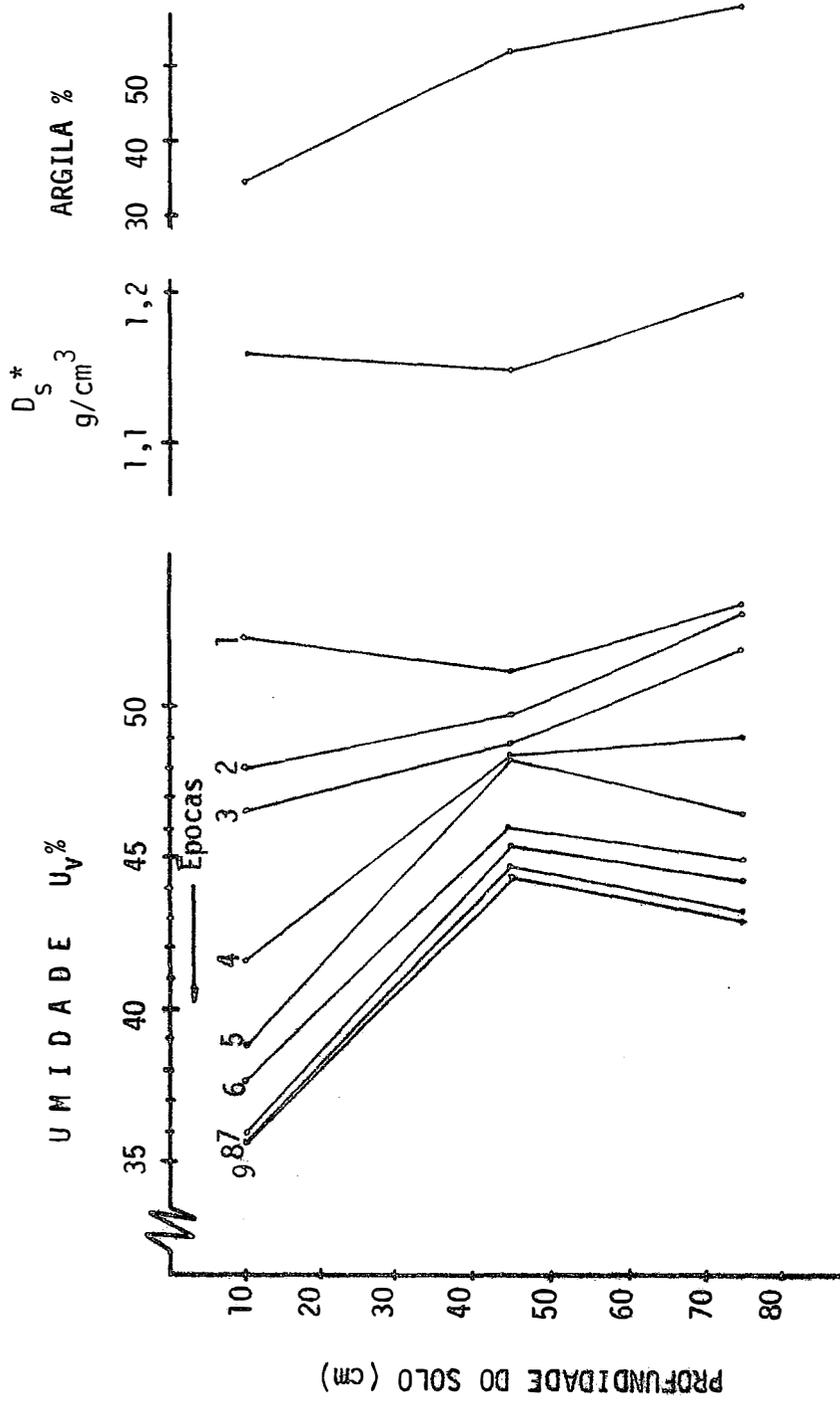


Figura 10 - Esquema do sistema radicular de um cacauzeiro adulto.



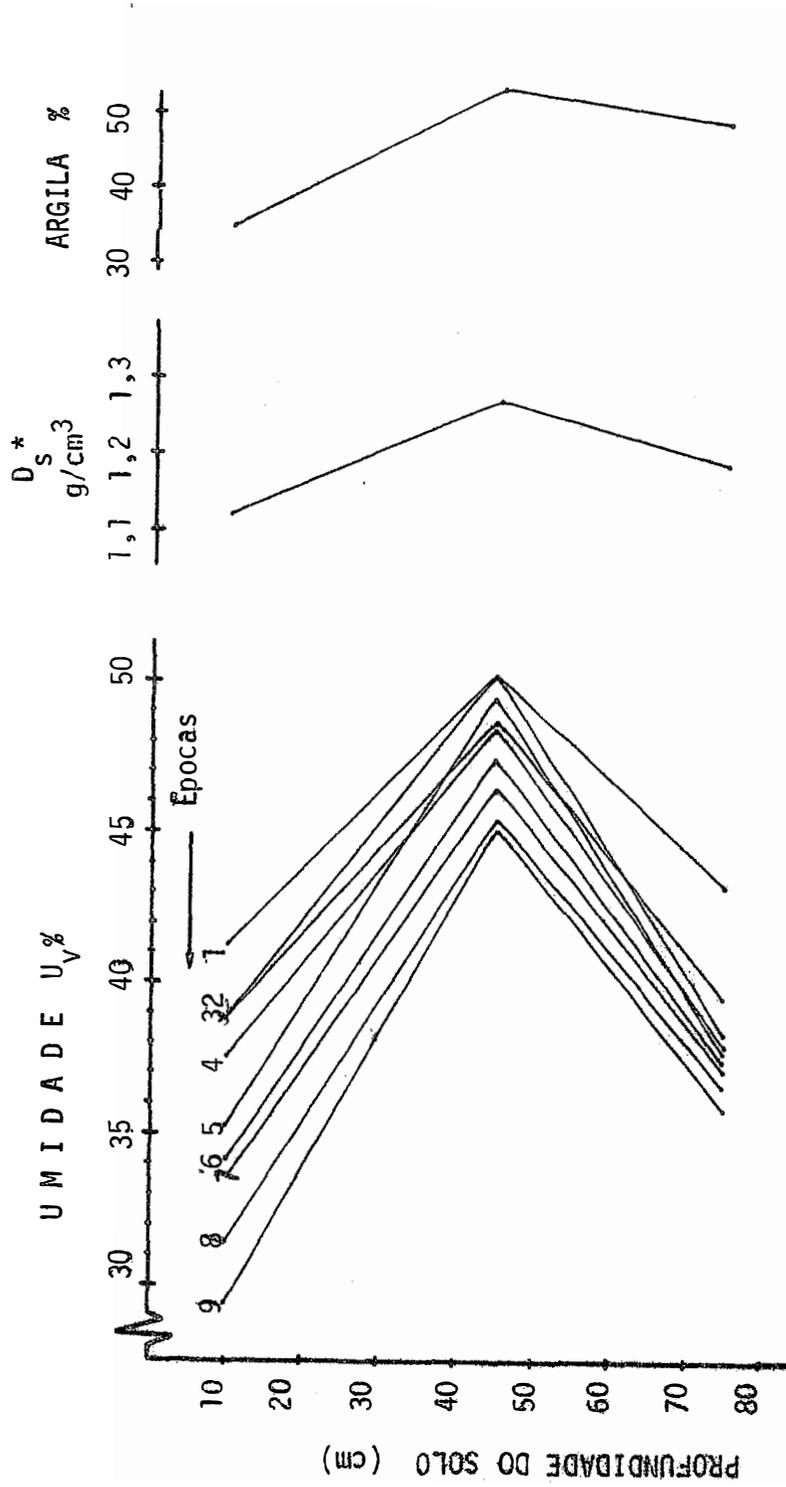
\* D<sub>s</sub> = Densidade do solo

Figura 11 - Variação de umidade nas épocas estudadas, densidade e teor de argila do solo para o perfil 1, à distância de 30 cm do tronco e a 3 profundidades.



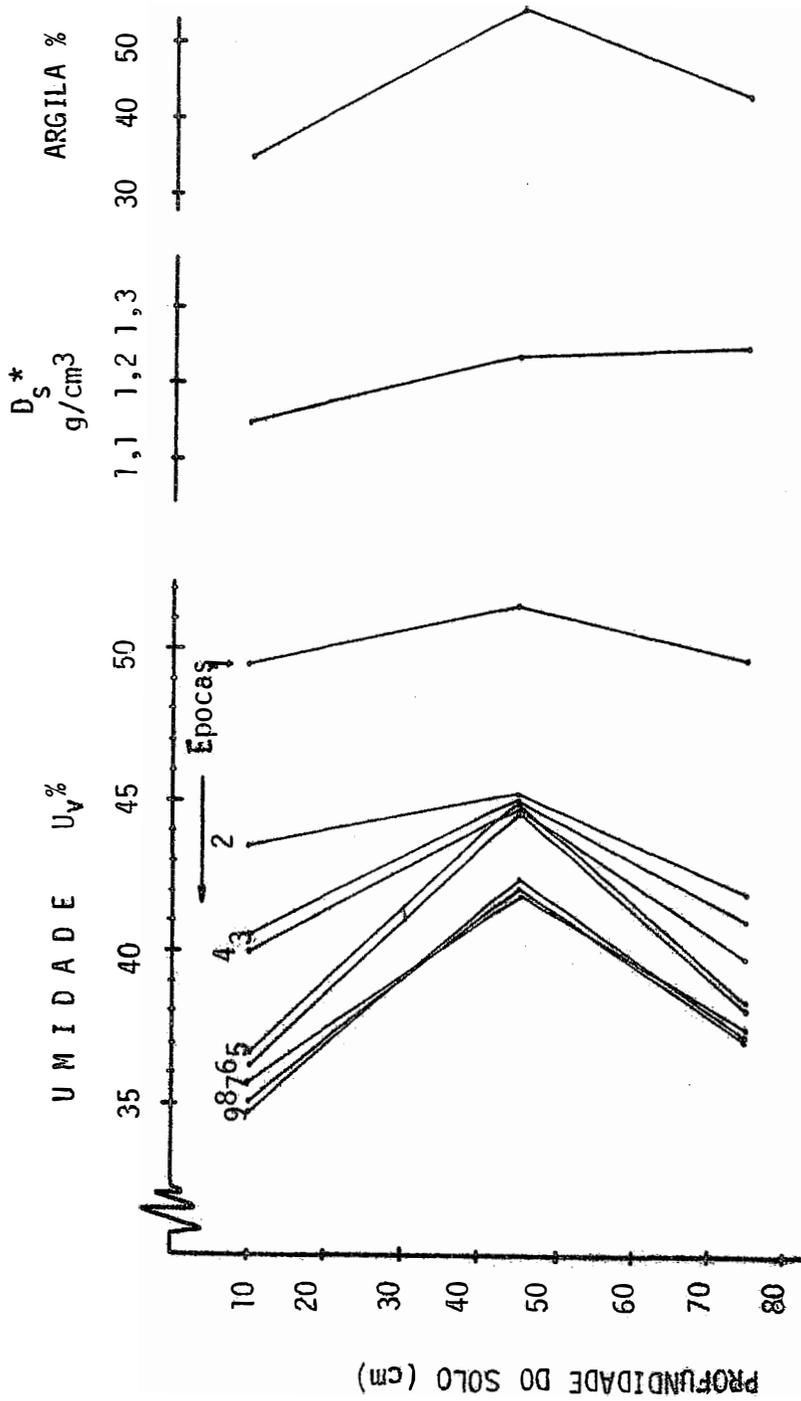
\* $D_s$  = Densidade do solo

Figura 12 - Variação de umidade nas épocas estudadas, densidade e teor de argila do solo para o perfil 2, à distância de 30 cm do tronco e a 3 profundidades.



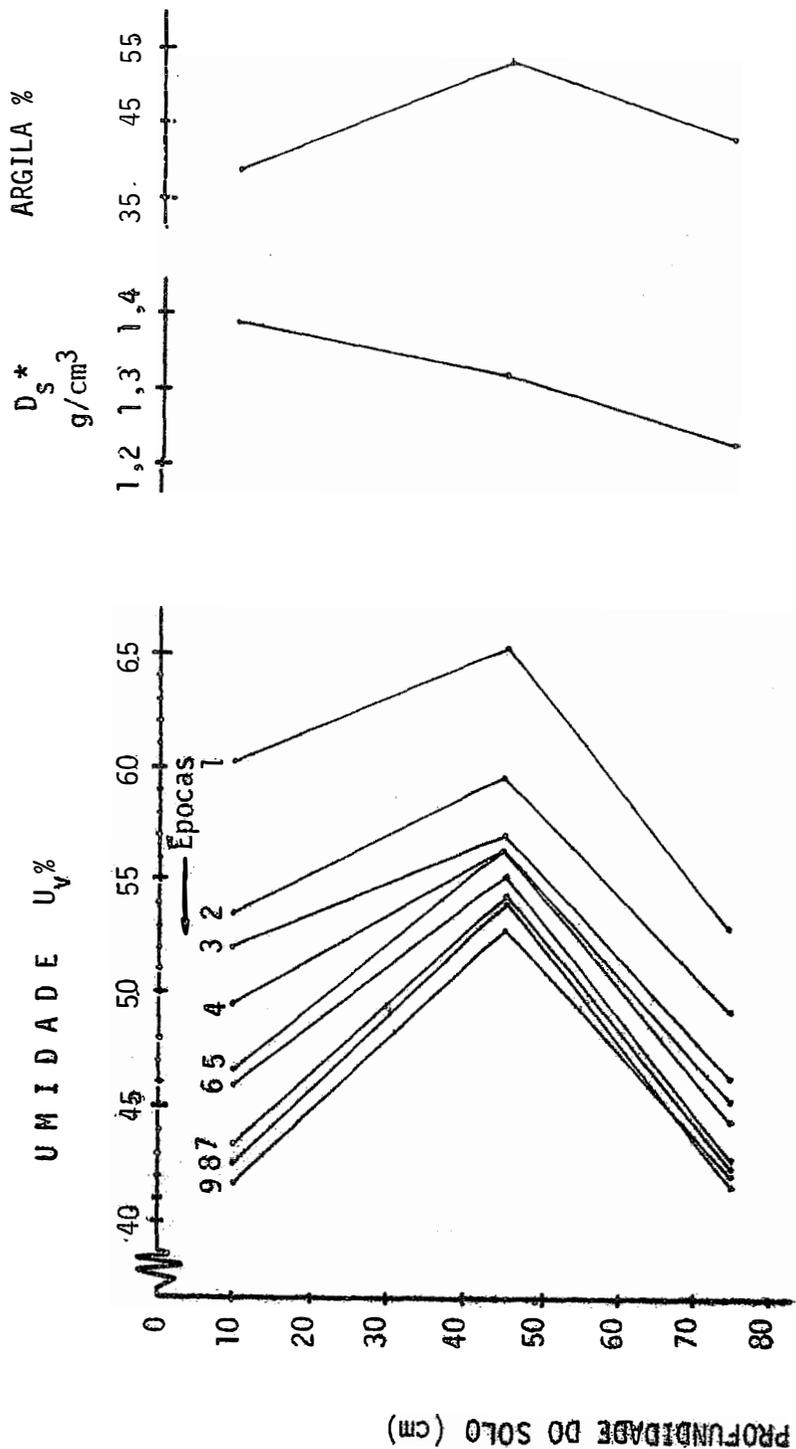
\*  $D_s$  = Densidade do solo

Fig. 13 - Variação de umidade nas épocas estudadas, densidade e teor de argila do solo para o perfil 3, a distância de 30 cm do tronco e a 3 profundidades.



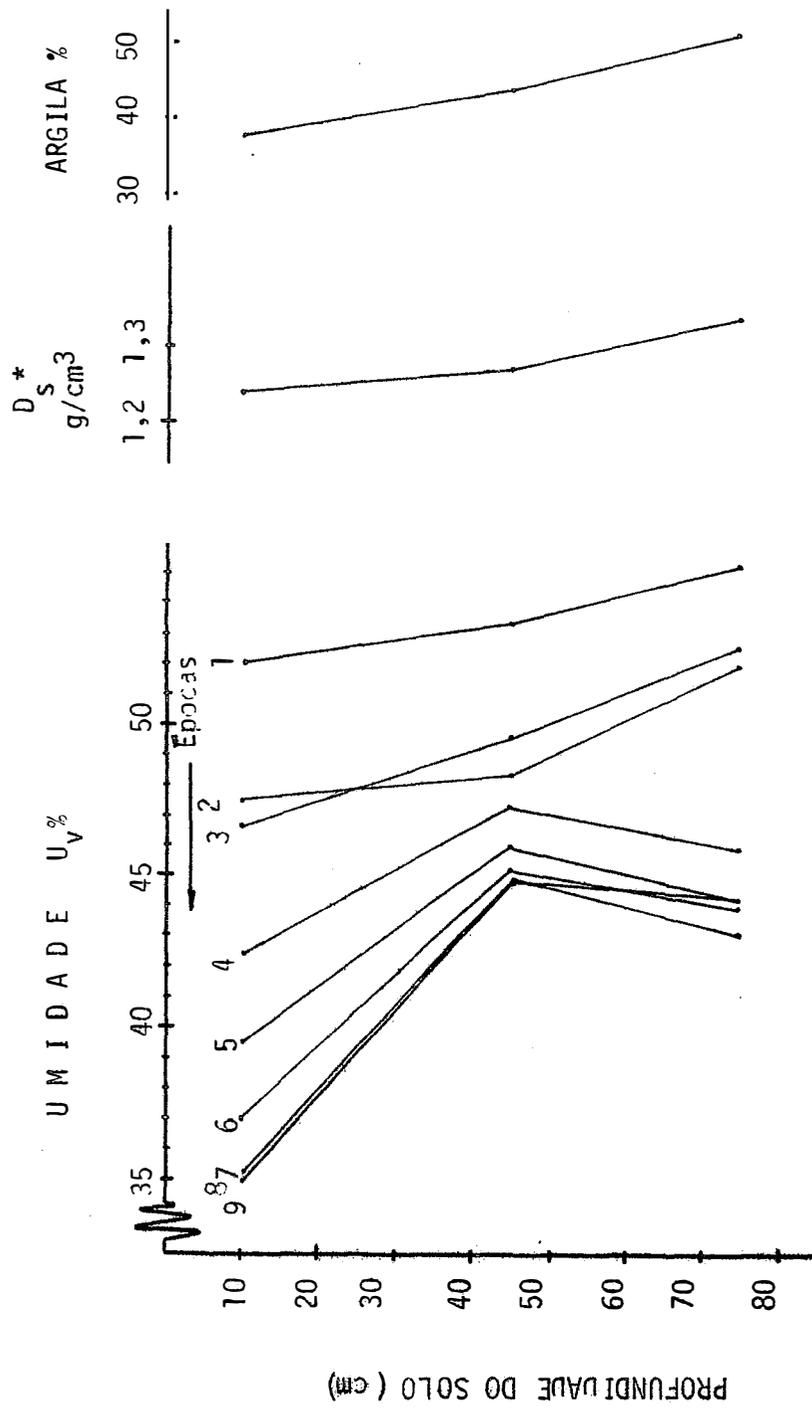
$D_s^*$  = Densidade do Solo

Fig. 14 - Variação de umidade nas épocas estudadas, densidade e teor de argila do solo para o perfil 4, a distância de 30 cm do tronco e a 3 profundidades.



\*  $D_s$  = Densidade do Solo

Fig. 15 - Variação de umidade nas épocas estudadas, densidade e teor de argila do solo para o perfil 5, à distância de 30 cm do tronco e a 3 profundidades.



\* D<sub>s</sub> = Densidade do Solo

Fig. 16 - Variação de umidade nas épocas estudadas, densidade e teor de argila do solo para o perfil 6, à distância de 30 cm do tronco e a 3 profundidades.

Observa-se, de modo geral, nas Figuras de Nº 11 a 16, referentes às árvores, que, a 30 cm de distância do tronco, as oscilações de umidade são maiores para a profundidade de 0 a 30 cm, seguida de 60 a 90 cm e por último de 30 a 60 cm. O teor de argila também acompanha esta tendência com exceção dos perfis 2 e 6 (Quadro 1).

As Figuras 11, 13 e 15, correspondentes aos cacauzeiros ímpares que se situaram ao norte (Figura 5), mostram que os perfis apresentaram maiores contrastes de umidade entre profundidades (0 a 30, 30 a 60 e 60 a 90 cm) do que os perfis pares devido, possivelmente, à radiação solar.

#### 4.5. Influência da radiação solar

O efeito da radiação sobre os resultados deste experimento foi considerado de importância para a correta interpretação dos dados obtidos. Embora não tivesse sido contemplado como possível agente modificador, verificou-se, após o exame e interpretação dos resultados, que a influência da radiação combinada à orientação da área e às faces expostas da trincheira aberta, poderia explicar, em parte as variações de umidade entre os perfis ímpares e pares.

## 4.5.1. Temperatura do solo

Como é conhecido, a temperatura exerce um papel importante nos processos bioquímicos, físicos e químicos na natureza. Para este estudo, a variação nos teores de umidade observados foi atribuída em parte a variações de temperatura nas faces do bloco. Conforme mencionado anteriormente, instalou-se um experimento para determinar a variação diária de temperatura nas faces do bloco coberto de plástico (Figura 6) a duas profundidades, 2 e 10 cm. Os dados obtidos acham-se na Tabela 5.

Tabela 5 - Dados de temperatura de 2 profundidades em cada lado do bloco do experimento.

Lados do bloco	Profundidade dos termômetros (cm)	Horário de medição da temperatura		
		9 h	12 h	15 h
1	2	20,94	21,91	22,71
	10	20,92	21,32	22,01
2	2	21,03	22,65	24,57
	10	21,02	21,63	23,04
3	2	20,40	22,44	23,47
	10	19,98	20,87	22,26
4	2	20,08	20,85	21,50
	10	20,16	20,49	21,04

Explica-se os resultados das diferenças de temperatura das faces 1, 2, 3 e 4 pelas diferenças de exposição (orientação e inclinação dos raios).

Calculando-se os ângulos de incidência dos raios solares com a normal, pela seguinte expressão:

$$\cos z = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos h$$

onde:

$z$  = ângulo zenital da hora  $h$

$\delta$  = declinação média do solo no período

$\varphi$  = latitude do local

$h$  = ângulo horário

Determinaram-se respectivamente os ângulos zenitais

$$z = 9 \text{ horas} \approx 55^{\circ}$$

$$z = 12 \text{ horas} \approx 31^{\circ}$$

$$z = 15 \text{ horas} \approx 55^{\circ}$$

Esses ângulos estão representados esquematicamente na Figura 17. A incidência da radiação solar segundo estes ângulos condicionou diferenças de temperatura em ordem apresentadas no Quadro 5. Pode-se constatar que as temperaturas das faces do bloco são, em ordem decrescente, as seguintes:

9 horas	-----	faces 2, 1, 3 e 4
12 horas	-----	faces 1, 2, 3 e 4
15 horas	-----	faces 2, 3, 1 e 4.

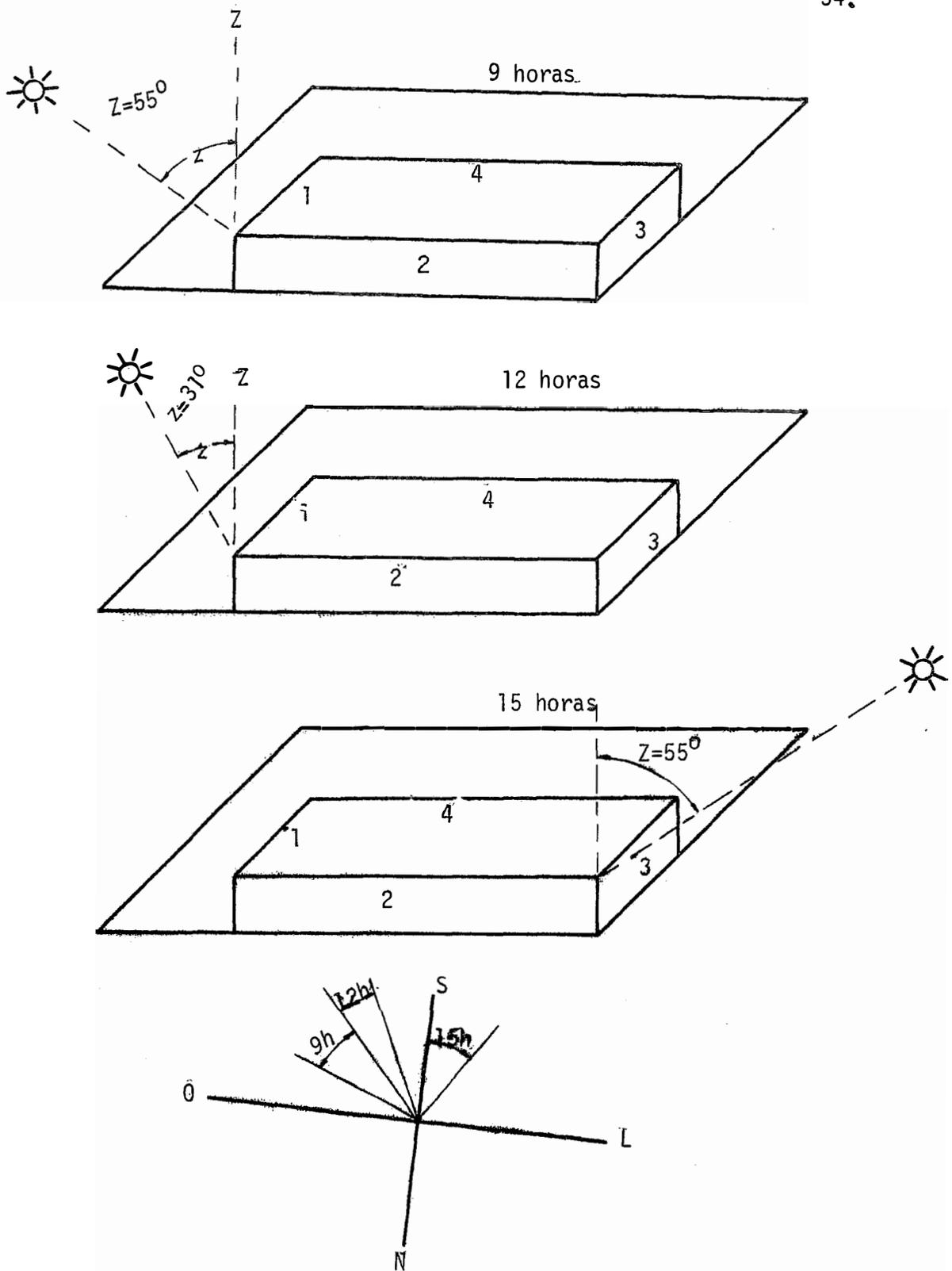


Figura 17 - Variação média do ângulo zenital do sol sobre os canteiros, durante o período do experimento

#### 4.5.2. Descrição da incidência dos raios solares

Com referência à descrição da incidência dos raios solares em horários diferentes (9, 12 e 15 horas) incidindo sobre o bloco do experimento, pode-se deduzir o seguinte:

##### 9 horas

O experimento localiza-se no paralelo  $-14^{\circ}45'$  de latitude Sul, que corresponde, para o mês de agosto, a um ângulo zenital médio de  $55^{\circ}$  em relação com a linha vertical.

Na Figura 17 e Tabela 5 observa-se que a radiação solar com um ângulo zenital médio de  $55^{\circ}$  com a vertical, aquece mais os lados 1 e 2. Os lados 3 e 4 apresentam menor temperatura que os anteriores, sendo influenciados levemente pela radiação solar.

##### 12 horas

Nesta hora para  $-14^{\circ}45'$  de latitude Sul, corresponde, para o mesmo mês, um ângulo zenital médio de  $31^{\circ}$  com a vertical.

Pela Figura 17 e Quadro 5, vê-se que a radiação solar com um ângulo de  $31^{\circ}$  com a vertical, aquece mais os lados 1, 2 e 3. O lado 4 apresenta menor temperatura do que os outros, sendo influenciado ligeiramente pela radiação solar.

15 horas

Para  $-14^{\circ}45'$  de latitude Sul, apresenta, para o mês de agosto, um ângulo zenital médio de  $55^{\circ}$  com a vertical.

Na Figura 17 e Quadro 5, observam-se que a radiação solar com ângulo de  $55^{\circ}$  com a vertical, aquece mais os lados 2 e 3. Os lados 1 e 4, são levemente influenciados pela radiação solar.

Relacionando-se a disposição das árvores ímpares e pares (Figura 5), os dados de umidade apresentados (Quadro 2) e a variação diária de temperatura (Quadro 5), percebe-se que as árvores pares que tiveram valores de umidade geralmente mais altos que as árvores ímpares, estiveram situadas em sentido junto à face 4, que foi a que, consistentemente, apresentou menor temperatura no decorrer do dia para os três horários considerados.

É razoável admitir que parte da variação observada entre os tratamentos, comparando-se árvores pares e ímpares foi devida à orientação do bloco combinada à época do ano em que o experimento foi realizado.

Relacionando-se a disposição das árvores ímpares e pares (Figura 5), os dados de umidade apresentados (Quadro 2) e a variação diária de temperatura (Quadro 5), percebe-se que as árvores pares que tiveram valores de umidade geralmente mais altos que as árvores ímpares, estiveram situadas em sentido junto à face 4, que foi a que, consistentemente, apresentou menor temperatura no decorrer do dia para os três horários considerados.

É razoável admitir que parte da variação observada entre os tratamentos, comparando-se árvores pares e ímpares foi devida à orientação do bloco combinada à época do ano em que o experimento foi realizado.

## 5. CONCLUSÕES

Considerando as condições em que foi conduzido o expe rimento e à vista dos resultados obtidos, admite-se chegar às seguintes conclusões:

5.1. A absorção de água do solo pelas raízes do cacaueteiro é variável com a profundidade, sendo que, as raízes que absorvem maior quantidade de água estão localizadas nas profundidades extremas estudadas neste trabalho (0-30 cm e 60-90 cm).

5.2. Conjugando-se os efeitos observados, para absorção de água, quanto às distâncias e profundidades estudadas, há uma tendência para maior absorção à distância de 90 cm para a profundidade de 0-30 cm.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Torna-se necessário efetuar estudos posteriores selecionando a área de acordo com os estudos de radiação solar de maneira a determinar a época adequada para o início do experimento e possibilitando a avaliação dos agentes externos que influenciam os parâmetros a serem observados.

Sugere-se que, como linha de pesquisa para complementação deste trabalho, sejam efetuados estudos com medições de umidade em profundidade, empregando o método de moderação de neutrons, controle da saturação dos blocos, utilização de área testemunha e observações até que a planta não tenha mais condições de absorver água.

Estas sugestões são resultado das observações e interpretações feitas sobre os dados apresentados neste trabalho.

## 7. RESUMO

O presente trabalho teve por finalidade verificar o comportamento do cacauero (*Theobroma spp*) em relação à absorção de umidade do solo pelas raízes. Para testar este comportamento foi saturado um bloco de terra de 180 m<sup>3</sup> (6 x 9 x 2 m) abrangendo 6 cacaueros híbridos, resultantes de cruzamentos controlados de clones do Complexo Amazônico (LOCAIS) x Trinitários (UF - 613) e Crioulos (DR - 2), num solo pertencente ao subgrupo Tipic Tropudalf, pela 7a. aproximação. Os teores de umidade, correspondentes às distâncias e profundidades que funcionaram como tratamentos foram determinados semanalmente durante 9 épocas consecutivas, sendo a primeira 2 dias após a saturação.

Da apreciação geral dos resultados obtidos, conclui-se que na camada superficial de 0 a 30 cm, existe maior absorção de água na distância de 100 cm afastada do tronco do que de 30 a 50 cm. Como era de se esperar, a camada onde ocorre maior absorção de água,

em relação às outras profundidades, é a de 0 a 30 cm. Verificou-se, após a interpretação dos resultados, que a influência da radiação solar, combinada à orientação da área e às faces expostas da trincheira aberta, poderiam explicar, em parte, as variações de umidade observadas.

## 8. SUMMARY

The main objective of this work was to study water uptake by the root system of adult cocoa trees (*Theobroma spp*).

Six contiguous trees were isolated from the others in a plantation of a hybrid variety resulting from the crossing of the following clones: Amazonic (LOCAL) x Trinitario (UF - 613) and Native (DR - 2), by means of a trench 0,70 m wide and 2,0 m deep dug around the block containing the selected trees. This block (180 m<sup>3</sup>) was part of a Typic Tropudalf soil. It was saturated with water and covered with a sheet of black plastic to prevent loss of water by evaporation.

Soil moisture was determined at 3 distances (30 cm, 50 cm and 100 cm) from each tree trunk and three depths (0-30 cm, 30 - 60 cm and 60 - 90 cm). The combination of these points

resulted in the nine treatments. Soil samples were drawn at weekly intervals except the first which was taken 2 days after saturation was achieved. Sampling dates totalled nine at the conclusion of the experiment.

The interpretation of the results led to the conclusions that the most active region of water uptake by cocoa roots was in the layer 0-30 cm deep and 100 cm away from the tree trunk. As expected the layer from which most of the water was absorbed was the surface 0-30 cm layer.

It was also observed that the incidence of solar radiation combined with the plot orientation and the sides of the trench had some effect in the results obtained.

## 9. LITERATURA CITADA

- ALVIM, P. de T., 1959. Necessidades de Agua del Cacao. In: I Reu-  
nion Técnica de la. F.A.O. sobre el cacao, Accra, Ghana.
- ANDERSON, B.C.A., 1943. A method of determining soil-moisture con-  
tent based on the variation of the electrical capacitance of  
soil, at a low frequency, with moisture content. Soil Science.  
56:29-41.
- BARROCO, H.E., 1972. Cacaucultura Mundial: Evolução da produção,  
principais países produtores, consumo e preço. In: II Curso In-  
ternacional do Cacau, Ilhéus, CEPLAC, 11 de setembro a 15 de ou-  
tubro de 1972. Ilhéus, CEPEC IICA.
- BHAUMIK, H.D. e F.E. CLARK., 1947. Soil moisture tension and micro-  
biological activity. Proceedings Soil Science Soc. Am, 12: 234-  
-238.
- BLAKE, G.R., 1965. Particle density. In: BLACK, C.A., ed. Methods  
of soil analysis. Madison, Wis., Am. Soc. of Agronomy, v.1, p.  
371-3.

- BLACK, A.C., 1968. Soil plant relationship. New York, John Wiley, Snd. End. 792 pp.
- CADIMA, Z.A. e P. de T. ALVIM, 1967. Influencia del árbol de sombra Erythrina glauca sobre algunos factores edafológicos relacionados con la producción del cacaoero. Separata de Turrialba 17 (3):330-336, julio/septiembre.
- \_\_\_\_\_, 1972. Efectos del drenaje sobre la producción del cacaoero. Revista Theobroma, Itabuna, 2(2):27-32, abr/junio.
- CADIMA, Z.A., 1970. Estudo do sistema radicular do cacaueiro em alguns tipos de solos da Região Cacaueira do Sul da Bahia. Itabuna, BA, CEPLAC, 31 p. (Boletim Técnico 5).
- \_\_\_\_\_, 1973. Sonda Cepec, para retirada de amostras de solos a diferentes profundidades. Revista Theobroma, Itabuna, 3(4):45-47, out.-dez.
- DENMEAD, O.T. e R.H. SHAW., 1962. Availability of soil water to plants as affected by soil moisture content and meteorological conditions. Agron. Journal 54:385-390.
- FELDSTEIN, J. e N.F. CHILDERS., 1957. Effect of irrigation on fruit size and yield of peaches in Pennsylvania. Proceedings American Society of Horticultural Science, 69: 126-130.
- FRENZEL, A., 1955. Some relationship of soil moisture and soil types to certain plant communities in Central Florida. Curitiba, Instituto de Biologia e Pesquisas Tecnológicas. Separada e Arquivos de Biologia e Tecnologia, 10(6):167-218.

- GROHMANN, F. e B. VAN RAIJ, 1973. Influência dos métodos de agitação na dispersão da argila do solo. Anais do XIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Santa Maria, 16 a 26 de julho de 1973, p. 123-132.
- HARRIS, F.S. e H.W. TURPIN, 1916. Movement and distribution of moisture in the soil. Journal Agronomy Research 1:139-189.
- HUNTER, A.S. e O.J. KELLEY, 1964. The extension of plant roots into dry soil. Plant Physiology 21: 455-451.
- JORDAN, W.R., 1970. Growth of cotton seedlings in relation to maximum daily plant water potential Agr. Journ. 62:699-701.
- KABALIN, Y.G. e I.K. BODROV., 1973. Soil moisture dynamics and its variation in soils under field crops. Kostroskoi Sel'skokhozyaystvennyi, Pochvovedeniye, (4):59-64, april.
- KOOPMAN, G.J., 1969. Field investigation of crop water requirements in Syria. Syria Department of Agricultural Research of the Royal Tropical Institute (Bulletin, 292).
- KRAMER, P.J., 1963. Water stresses and plant growth. Agron. Journal 55:31-35.
- \_\_\_\_\_, 1969. Plant and Soil Water Relationship, a modern synthesis, New York Mc Graw Hill 481p.

- LAWTON, K., 1945. The influence of soil aeration on the growth and absorption of nutrients by corn plants. Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 10: 263-268.
- MILLAR, A.A. e W.R. GARDNER, 1972. Effect of the soil and plant water potentials on the dry matter production of Snap beans. Agron. Journ. 64:559-562.
- PETERS, D.B. e J.R. RUNKLES, 1967. Shoot and root growth as affected by water availability. In Hagan, R.M. et al. ed. Irrigation of Agricultural Lands. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, pp.373-389 (Agronomy, 11).
- RUSSEL, E.W., 1961. Soil conditions and plant growth. New York, John Willey e Sons Ltd., XXI-398. 409p.
- SILVA, L.F. da e A.A.O. de MELO., 1970. Levantamento detalhado dos solos do Centro de Pesquisas do Cacau. Itabuna. Bahia, CEPLAC, 86p. (Boletim Técnico, 1).
- SILVA, L.F. da, R. CARVALHO FILHO e A.A.O. de MELO, 1971. Os solos da região cacaeira baiana ante a moderna classificação de solos americano. Itabuna, Bahia, CEPLAC 13p. (Plano de Recuperação Econômico-rural da Lavoura Cacaeira).
- SLATYER, R.O., 1967. Plant water relationship. Londo Academic Press, 366p.
- STOLZY, L.H. et al., 1961. Root growth and diffusion rates as functions of oxygen concentration. Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 25:463-467.

- TAYLOR, H.M. e L.F. RATLIFF, 1971. Root elongation rates of cotton and peanuts as a function of soil strength and soil water content. Selected water resources abstracts, 4(14): ref. W71-07157.
- VAN BAVEL, C.H.M., 1967. Change in canopy resistance to water loss from alfafa induced by soil water depletion. Agric. Meteorology 4:165-176.
- VERLIÈRE, G., 1970. Influence de l'humidité du solo sur le développement du cacaoyer. Café Cacao Thé.
- VOLK, M.G., 1947. Significance of moisture translocation from soil zones of low moisture tension by plant roots. Journal of the Amer. Soc. of Agronomy. 39:93-106.