

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-HÍDRICAS DE
LATOSSOLOS SOB VEGETAÇÃO DE CERRADOS DO
BRASIL CENTRAL

TESE

Apresentada ao Decanato de Pesquisa e Pós-Graduação da
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
para o Grau de Magister Scientiae

JOSÉ CARVALHO CORDEIRO

Novembro de 1977

BIOGRAFIA DO AUTOR

José Carvalho Cordeiro, filho de Raimundo Nonato Cordeiro e de Durcila Carvalho Cordeiro, nasceu em Parnaíba, Piauí, aos 2 dias do mês de novembro de 1941. Em 1967 obteve o diploma de Engenheiro Agrônomo da Universidade Federal do Ceará. Foi admitido em 1967 pelo Instituto Nacional de Desenvolvimento Agrário (INDA) do Piauí, atualmente Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). Em 1968 passou para Técnico Especialista em Desenvolvimento Agrário. Foi responsável pelo Escritório do ex-INDA no município Modelo do Piauí (Picos) durante dois anos (1968-1970). Em 1973 respondeu pela chefia da Divisão Estadual Técnica do Piauí durante quatro meses (março a junho), sendo nomeado posteriormente chefe da Seção de Recursos Fundiários da mesma Divisão.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária, pela liberação e apoio que permitiram a realização do presente trabalho;

Ao Decanato de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, especialmente à Coordenação de Pós-Graduação em Ciência do Solo;

Ao Professor Marcelo Nunes Camargo, pelas sugestões que despertaram meu interesse pelo estudo dos solos de Cerrados, e pela atenciosa assistência durante todas as fases do projeto;

Ao Professor Doracy Pessoa Ramos, pelo apoio e sugestões, bem como por sua colaboração, juntamente com o Professor Camargo, nos trabalhos de campo;

Ao Professor Jair Rocha Leal, pela orientação e estímulo no decorrer das minhas atividades;

Ao Professor Ary Carlos Xavier Velloso, pelos incentivos cons

tantos que muito contribuíram para a realização deste trabalho;

Ao Professor Francisco Grohmann do Instituto Agrônomo de Campinas, pelos esclarecimentos e detalhes de alguns métodos de laboratório;

Aos Professores Walter Augusto Gross Braun, Evandro Ferraz Duarte e Aluisio Teixeira da Silva, pelas sugestões, apoio e conhecimentos proporcionados no desenvolvimento deste trabalho;

Aos Professores Manlio Silvestre Fernandes e Gabriel de Araujo Santos, pelas sugestões de grande valia para este trabalho;

Ao Bibliotecário José de Almeida da Biblioteca Central da UFRRJ, pela assistência nas citações bibliográficas;

À Maria Auxiliadora Vieira do Decanato de Pesquisa e Pós-Graduação da UFRRJ, pelos serviços datilográficos;

E, finalmente, a todos aqueles que direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho.

Aos meus pais
e irmãos

RESUMO

O presente trabalho proporciona informações das características físico-hídricas em importantes variedades de latossolos textura argilosa e média, sob vegetação de cerrado do Brasil Central, nas regiões do Distrito Federal e João Pinheiro (MG). Estes foram classificados segundo os critérios do SNLC-EMBRAPA, USA-Soil taxonomy e FAO-UNESCO.

Nas amostras coletadas dos solos, determinou-se os conteúdos de umidade a tensões que variaram de 0,06 a 15 atm, para obtenção das curvas características e condutividade hidráulica vertical. Outros parâmetros também foram determinados, tais como: porosidade, massa específica aparente, distribuição de agregados e superfície específica, como complemento de suas características físicas e possíveis associações com o fenômeno de retenção e movimento da água.

Observou-se que é mínima a capacidade de água disponível desses solos. Maiores teores são verificados abaixo de 3 e 5 atm, respectivamente, para os solos de textura média e argilosa. Foi observado, ainda, que a condutividade hidráulica é muito elevada, pertencendo à classe muito rápida, e que os solos de textura argilosa com agregados estruturalmente estáveis, elevada porosidade e superfície específica, apresentam comportamento semelhante aos dos de textura média.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DA LITERATURA	5
2.1 Retenção e Movimento d'Água em Solos	5
2.1.1 Curvas Características de Umidade	5
2.1.2 Capacidade de Campo	10
2.1.3 Ponto de Murchamento	14
2.1.4 Água Disponível	16
2.1.5 Interrelação da Retenção d'Água com a Textura, Estrutura, Porosidade e Superfície Específica	17
2.1.6 Condutividade Hidráulica	24
3. SOLOS UTILIZADOS E CONDIÇÕES AMBIENTAIS	30
4. MATERIAL E MÉTODOS DE ANÁLISES	45
4.1 Conteúdo de Umidade (% por volume) a Várias Tensões	45
4.2 Condutividade Hidráulica Vertical	46
4.3 Porosidade Total, Microporosidade, Macroporosidade e Massa Específica Aparente	50

4.4	Distribuição Percentual do Tamanho dos Agregados e sua Estabilidade	52
4.5	Superfície Específica dos Solos	54
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	59
5.1	Curvas Características de Umidade	59
5.2	Capacidade de Água Disponível	70
5.3	Condutividade Hidráulica Vertical	76
6.	CONCLUSÕES	82
7.	ABSTRACT	85
8.	BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	86
9.	APÊNDICES	99

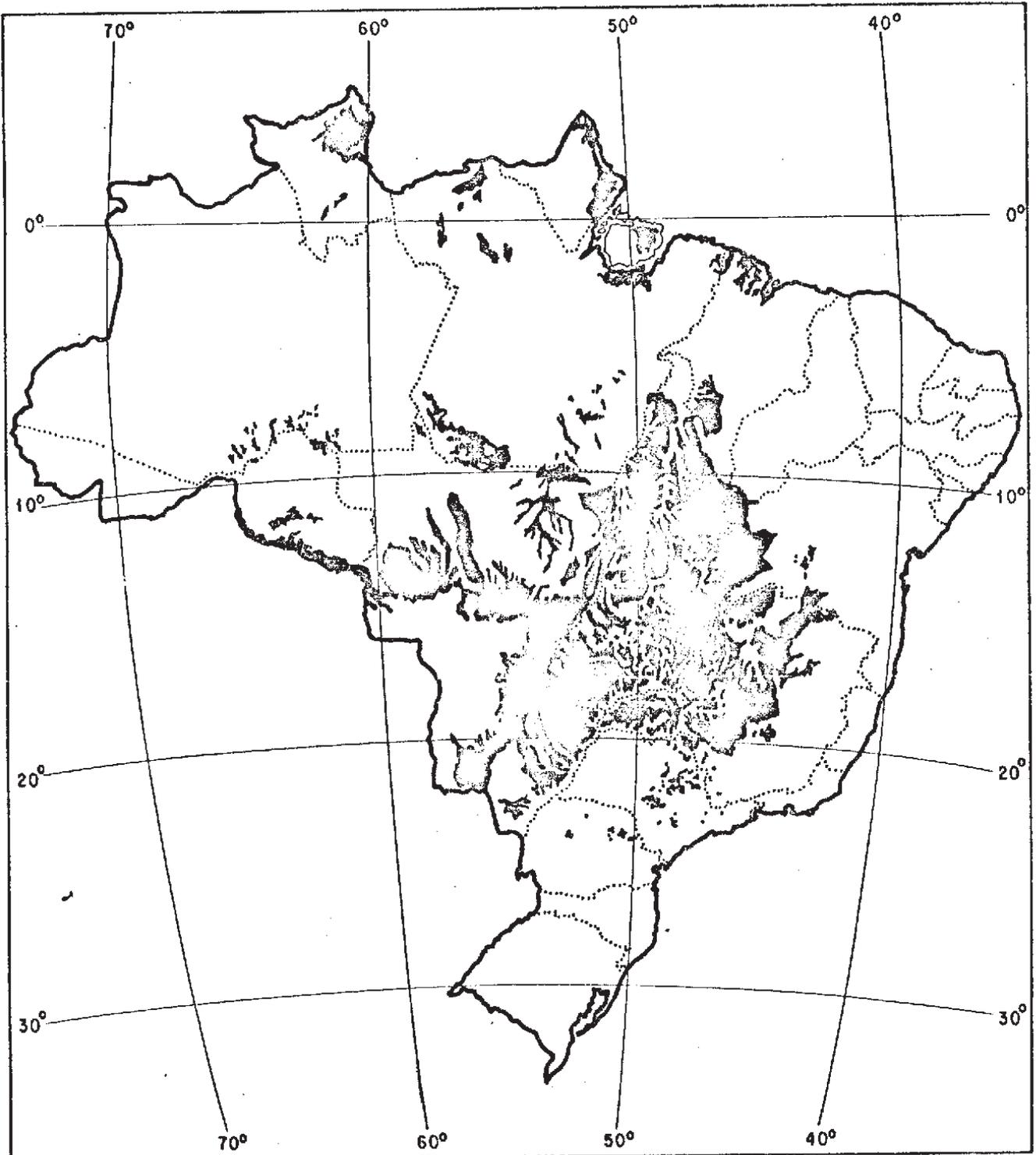
1. INTRODUÇÃO

Os cerrados desenvolvem-se basicamente no Brasil Central, região que constitui seu domínio, embora sua existência seja constatada em terras do Estado do Paraná, estendendo-se às regiões mais setentrionais do País, como a Ilha de Marajó e os Territórios de Roraima e Amapá. Deste modo, pode-se dizer que formam o "fundo cartográfico" da vegetação do Brasil (Labourieu, 1962 e IPEA, 1973).

A área dos cerrados cobre uma extensão aproximada de 1,3 milhões de quilômetros quadrados, da qual cerca de 80% localiza-se nos Estados de Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso, área geo-econômica para a qual se orientam os esforços do presente trabalho (fig. 1).

Sua população é estimada em 15 milhões de habitantes, com predominância rural, sendo que a metade vive em terras total ou parcialmente constituídas por cerrados. Observa-se, também, a existência de 759 296 propriedades cadastradas pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), assim distribuídas: 6,2% em áreas exclusiva de cerrados, 42,8% em área parcialmente de cerrados e 31% em outras áreas.

LOCALIZAÇÃO DOS CERRADOS NO BRASIL



Fonte: IPEA (1973)

fig. 1

Em considerável proporção, sua topografia é plana e de ondulações suaves, o que favorece o uso da mecanização. As condições climáticas prevalentes não diferem muito das demais regiões circunvizinhas, tanto quanto à temperatura como à precipitação pluvial ou à umidade do ar. Entretanto, durante parte do ano o aspecto do solo é seco. A intensa lixiviação desses solos resulta em pobreza em nutrientes e elevada acidez. Isto constitui o principal obstáculo à exploração agrícola, principalmente quando se empregam sistemas de manejo tradicionais, sendo que esses obstáculos são superáveis para grande variedade de culturas, pela utilização de insumos modernos em sistemas de manejo tecnificados e mais intensamente capitalizados. Na verdade, os estudos empreendidos permitem avaliar em cerca de 50 milhões de hectares as terras aproveitáveis para a agropecuária. Além do mais, a área dos cerrados no Brasil Central é uma região em expansão tecnológica e demográfica e, por sua localização no centro do País onde se situam Brasília e outros núcleos urbanos de porte, vem sendo beneficiada com sistema viário em crescente desenvolvimento.

Dos fatos expostos acima, depreende-se que os cerrados oferecem grande potencialidade para a expansão da agropecuária no País. Mas, para isto ser atingido, fazem-se necessários estudos adicionais de caráter técnico-científico, tendo-se em vista um aproveitamento mais econômico e racional dos recursos existentes. E não há dúvida de que, entre as informações básicas necessárias situam-se aquelas próprias do clima, do solo e de suas relações com a economia de água (Reichardt, 1972). Esta característica é de grande relevância, pois aí se localiza a principal fonte de atendimento dos processos fisiológicos dos vegetais. As informações colhidas no relacionamento clima-solo-economia d'água, servem também para esclarecer aspectos ligados à fertilidade e produtividade desses solos, aspectos que ainda permanecem obscuros.

Diversos pesquisadores reportam sobre a pouca capacidade de armazenamento de umidade, bem como a necessidade de maiores conhecimentos do "status d'água" nos solos, em quase toda a região dos cerrados, sendo necessário, portanto, para sua melhor compreensão e estimativa, pesquisas a partir da fase de penetração da água no solo pelo processo de infiltração (primeira fase do Ciclo Hidrológico). O emprego deste processo torna-se cada vez mais importante na manutenção da vida da terra, prejudicada em decorrência da expansão tecnológica e demográfica, que gera demanda crescente da água de superfície e subsuperfície (AIA, 1963; Guimarães, 1971; Cline & Buol, 1973; Libardi & Reichardt, 1974; Wolf, 1975).

O objetivo do presente trabalho é proporcionar informações sobre as características físico-hídricas de importantes variedades selecionadas de latossolos texturas argilosa e média, representativas dos cerrados do Brasil Central, nas regiões do Distrito Federal e João Pinheiro (MG). Espera-se que os resultados deste estudo propiciem subsídios para melhor aproveitamento econômico do potencial dessa extensa área.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Retenção e Movimento d'Água em Solos

2.1.1 Curvas Características de Umidade

O potencial total da água no solo (ψ_T) representa o trabalho necessário para transferir a unidade de massa da água, de um estado padrão ao estado em questão no solo. Este potencial é a soma de uma série de componentes, sendo os principais o gravitacional, (ψ_g), o matricial (ψ_m) e o osmótico (ψ_o). O potencial matricial representa o somatório de todos os trabalhos que advêm da interação entre a água e a matriz sólida do solo. Trata-se de fenômenos capilares e de adsorção química e elétrica, sendo comumente expressos em atm, bar e unidades de peso equivalente a uma coluna d'água ou mercúrio.

A "curva característica de umidade" ou curva de retenção d'água, é a relação entre o potencial matricial (tensão) da água do solo e o conteúdo desta em percentagem por peso ou volume. Referida também como retenção, sorção ou curva de dessorção, é de fundamental importância na física do solo, tendo em vista que ela permite estimar a influência da estrutu

ra, porosidade, distribuição dos tamanhos dos poros e adsorção sobre o estado da água no solo. De maneira mais geral, ela estima a quantidade de água que um solo pode armazenar dentro dos limites dados de tensão, indicando a quantidade de água de fácil aproveitamento (baixa tensão) e de difícil aproveitamento (alta tensão) para as plantas, e proporciona dados práticos para irrigação e drenagem como para estudo de gênese, morfologia e classificação de solos (Hillel, 1971; Hadas, 1973a; Baver et alii, 1973; Oliveira & Queiroz, 1974; Libard & Reichardt, 1974; Forsythe, 1975; Yong & Warkentin, 1975).

Segundo Hillel (1971), não existe uma teoria satisfatória para predizer o potencial mátrico com relação à umidade e outras propriedades básicas do solo, em virtude do fenômeno de adsorção e geometria dos poros e seus efeitos, os quais são demasiadamente complexos para serem descritos por um único modelo.

Gardner (1960), citado por Coelho (1971), mencionou que a tensão durante a extração de água do solo pelas plantas, segue de perto a curva de desidratação determinada através da extração da água de uma amostra saturada.

Cada solo apresenta uma curva típica característica de umidade (Grohmann & Medina, 1962). Estas curvas são feitas geralmente com amostras indeformadas, em virtude de representarem melhor a umidade dos solos sob condições naturais de campo. Entretanto, por conveniência e porque também se obtém resultados mais uniformes, as curvas características são frequentemente determinadas em amostras peneiradas (< 2mm) seca ao ar (Salter & Williams, 1965a). Estes autores determinaram as curvas características de umidade em solos de diferentes texturas, utilizando amostras indeformadas e deformadas, aplicando tensões com "membrana extratora de pressão" correspon

dentas a 0,10 - 0,20 - 0,33 - 0,66 - 1 - 2 - 4 - 8 e 15 atm. Verificaram que as curvas determinadas para as amostras deformadas eram diferentes das obtidas com amostras indeformadas, sendo que alguns solos apresentavam uma superestimativa da quantidade d'água retida a baixa tensão, quando comparada com o método de campo. Notaram, ainda, que solos com elevado teor de argila e matéria orgânica, também produzem uma superestimativa da água retida na faixa de 1 a 2 atm nas amostras destorreadas. Neste contexto, Yong & Warkentin (1975) observaram que o erro, quando se utiliza amostra deformada de solo arenoso, será grande em baixas tensões e negligível entre 1 a 2 bar, e que uma amostra deformada de solo argiloso retém mais água que uma amostra indeformada a 15 bar.

Grohmann & Medina (1962), utilizando vários métodos, determinaram as curvas características de umidade em amostras deformadas em variedades de solos do Estado de São Paulo, tais como, terra-roxa-legítima (desmatada e intensamente cultivada), massapê, arenito de Bauru e arenito de Botucatu, com tensões de 0,10 - 1 - 3 - 8 - 15 e 20 atm. Para tensões de 0,10 utilizaram um "funil de placa porosa" com uma coluna d'água de 1 m de altura; para tensões de 1 atm, o método de centrífuga; e para tensões maiores que 1 atm, "membrana extratora de pressão". Concluíram que é mínima a quantidade de água disponível para plantas sob tensões superiores a 8 atm; existe pouca variação entre os teores de umidade sob tensões de 15 a 20 atm; que nos solos com baixo teor de argila não há praticamente variação no teor de umidade sob tensões de 3, 8, 15 e 20 atm; e que as maiores variações dos teores de umidades foram observadas entre as tensões de 0,1 a 1 atm. Finalmente, observaram a influência da matéria orgânica na retenção d'água pelos solos, quando o perfil era homogêneo com relação à textura.

Fernandes & Resende (1972) estudaram as curvas característi

cas de cinco variedades de latossolos: latossolo vermelho escuro distrófico textura média, latossolo vermelho escuro eutrófico textura média, latossolo vermelho escuro distrófico textura argilosa, latossolo roxo distrófico e latossolo vermelho amarelo distrófico textura argilosa do Estado de Minas Gerais, nas regiões do Triângulo Mineiro e parte Oeste do alto Paranaíba. As tensões usadas foram 0,1 - 0,2 - 0,33 - 1 - 3 - 5 - 10 e 15 bar em amostras deformadas, utilizando "membrana e placa extratoras de pressão". Todos os solos apresentaram curvas de formato semelhante, apesar da variação dos teores de argila. Pelas formas das curvas, verificaram que não houve mudança brusca no teor de umidade com o aumento do potencial mátrico, ocorrendo, entretanto, as maiores variações na parte inicial das curvas, sendo que a inflexão ocorreu em torno da tensão correspondente a 3 bar.

Fernandes & Sykes (1968) estudaram as curvas características de umidade em variedades de latossolos do Estado de Minas Gerais nas regiões de Capinópolis, Sete Lagoas e Viçosa, usando tensões de 0,10 - 0,33 - 1 - 3 - 5 - 10 e 15 bar em amostras deformadas. As tensões correspondentes a 0,10 e 0,33 atm foram determinados em "placa extratora de pressão", e as restantes em aparelhos de "membrana extratora de pressão". Verificaram que as curvas caem suavemente, indicando que houve mudança gradual no teor de umidade com o aumento da tensão aplicada. Entretanto, verificaram que as maiores mudanças ocorrem no início das curvas. Estas, para os solos de Capinópolis e Sete Lagoas, apresentaram uma mudança entre 0,1 e 0,33 bar, sendo que para Viçosa a mudança mais acentuada ocorreu entre 0,1 e 5 bar. O solo de Capinópolis apresentou uma curva bastante similar à encontrada por Grohmann & Medina (1962) para um solo descrito como terra roxa legítima, cultivada. O solo de Viçosa apresentou capacidade de retenção mais acentuada que os outros, sendo que a quan

tidade d'água retida em equilíbrio com 15 bar, foi quase igual à retida pelo solo de Capinópolis e superior ao de Sete Lagoas, à tensão de 0,2 bar. Enfim, as curvas parecem indicar uma maior similaridade em características físicas entre os solos de Capinópolis e Sete Lagoas do que estes e o solo de Viçosa.

Wolf & Drosdoff (1974) estudaram curvas características de umidade de oxissolos (latossolos) argiloso (Typic Haplorthox, clayey, oxidic, isohyperthermic) e arenoso (Psamentic Haplorthox, sandy, isohyperthermic), de Porto Rico. Usou as tensões de 0,10 - 0,20 - 0,40 - 0,50 - 0,60 e 0,80 bar em amostras indeformadas, e tensões de 1 - 5 - 10 e 15 bar em amostras de formadas. Para 0,10 a 0,80 bar foi utilizado o aparelho "Tempe Cells", e para 1 a 15 bar a "placa extratora de pressão". Notaram que houve diferença nas formas das curvas na faixa de 0 a 0,80 bar. Para tensões baixas (0 - 0,1 bar), as curvas para o oxissolo franco-arenoso apresentaram inclinações muito acentuadas, ao contrário das curvas do oxissolo argiloso que foram mais suaves. Notaram, ainda, que o ponto de inflexão da curva para o oxissolo franco arenoso situou-se aproximadamente em torno de 1 bar. Concluíram, enfim, que aproximadamente 3/4 de água disponível nestes solos é armazenada em tensões abaixo de 1 bar.

Wolf (1975) estudou as curvas características de duas variedades de latossolos (oxissolos): latossolo vermelho escuro textura argilosa (Typic Haplustox, fine kaolinitic, isohyperthermic) e latossolo vermelho textura média (Acrustox Integrate to Haplustox, medium, kaolinitic e isohyperthermic) da Estação Experimental de Brasília (DF). Usou as tensões de 0,10 - 0,20 - 0,30 - 0,40 - 0,50 e 0,75 bar para amostras indeformadas, e 1 - 2 - 5 - 10 e 15 bar para amostras deformadas. Dados correspondentes a tensões de 0 a 0,75 bar, foram obtidos pela associação de leituras de "tensiômetros"

instalados no campo, e os valores de 1 a 15 bar foram obtidos com a técnica convencional do aparelho de "placa de pressão". Ele verificou uma queda acentuada das curvas entre as tensões de 0,5 e 0,75 bar, e concluiu que a capacidade de água disponível para o latossolo vermelho escuro, usando tensões de 0,1 a 15 bar, é limitada, sendo aproximadamente 34 - 44 mm por cm de solo. O latossolo vermelho amarelo textura franca continha 30% de água disponível a mais que o latossolo vermelho escuro. De uma maneira geral, estes solos armazenaram 2/3 de água disponível em 0,1 a 1 bar.

Enfim, é de valia observar que as curvas características de umidade de solos pesados, com elevado teor de caolinita e óxidos, são similares às curvas próprias de solos arenosos (Sharma & Uehara, 1968a).

2.1.2 Capacidade de Campo

Considera-se "capacidade de campo" a estimativa do limite superior da água disponível nos solos, para uso das plantas. Normalmente ela é definida como a "quantidade de água retida no solo após o excesso ter sido drenado, a taxa do movimento descendente de água ter essencialmente cessado e a evaporação prevenida, o que ocorre entre 2 a 5 dias após uma irrigação". Este movimento descendente pode continuar por um longo período de tempo após a água ser aplicada, entretanto é extremamente baixo, sendo mesmo negligível, comparando-se com a absorção d'água pelas plantas. É difícil determinar-se o ponto no qual a velocidade de distribuição d'água é negligível, o que torna impossível medir a capacidade de campo em determinados solos. Entretanto, para fins práticos, diz-se que o solo, sob certas condições definidas, tem uma determinada capacidade de campo (Hadas, 1973a; Veihmeyer, 1955).

Wilcox (1962), citado por Salter & Williams (1965a), sugeriu um novo conceito de capacidade de campo: "o limite superior da água que está disponível no solo, incluindo toda a água consumida no momento da irrigação e excluindo a que foi perdida pela drenagem abaixo do nível das raízes". Este mesmo autor verificou que, dentro de um período variável de um a quatro dias após a irrigação, o solo se apresentava com um valor de umidade próximo ao limite superior da água disponível.

Gairon (1973) considerou a capacidade de campo como um valor limite, isto é, um valor que se aproxima do equilíbrio. Esclareceu que dificilmente se obterá um perfil uniforme quanto ao conteúdo de umidade em diferentes profundidades. Em consequência, o conteúdo volumétrico d'água correspondente à capacidade de campo, é determinado em camadas preestabelecidas (de preferência as camadas genéticas do perfil do solo). Sugeriu, ainda, que a amostragem direta no campo após uma chuva ou irrigação, constitui o método mais satisfatório para se determinar a capacidade de campo.

Hadas et alii (1973c) comentaram que, na realidade, a capacidade de campo constitui um valor transitório que depende da drenagem interna de um solo, no momento em que a condutividade hidráulica é muito baixa. Esta drenagem é governada pela distribuição inicial da água, adensamento do solo e modo de aplicação d'água. Quando o valor da drenagem decresce bastante, considera-se o conteúdo de umidade como sendo a "capacidade de campo", negligenciando-se variações de umidade devido ao fluxo de água ainda existente. Observa-se, entretanto, que o conteúdo absoluto da água no solo, na qual está se processando um valor baixo de drenagem livre, pode ser diferente para diversos casos de umedecimento do solo. Disto, deduz-se que a capacidade de campo deverá ser determinada "in situ", considerando-se que as condições na

turais do solo (adensamento, estrutura e porosidade) não podem ser exatamente reproduzidas artificialmente em determinações de laboratório. Os autores ressaltam que uma correlação entre capacidade de campo determinada "in situ" e capacidade de campo encontrada em amostras deformadas (determinadas por uma "placa extratora de pressão"), pode conduzir a erros e não reflete precisamente a situação encontrada no campo. A utilização prática da "capacidade de campo" determinada em laboratório, é satisfatória somente para certos períodos ou intervalos de irrigação, não podendo ser aplicada para longos períodos. Concluíram, portanto, que seria mais vantajoso estudar a drenagem interna natural em detalhe, por fornecer maiores informações sobre a redistribuição da água no interior do perfil do solo. Melhor ainda seria estudar sistemas ecológicos do ponto de vista de armazenamento d'água e balanço hídrico.

Cavaza et alli (1973), em seus estudos comparativos entre método de campo e de laboratório utilizando solos arenosos e argilosos, concluíram que a melhor correlação da capacidade de campo determinada diretamente no campo, dá-se com o conteúdo de umidade em amostras indeformadas, em equilíbrio com uma tensão de 0,1 atm. Concluíram também que, para amostras peneiradas, a aplicação de uma tensão de 0,33 atm dá uma média bem aproximada da capacidade de campo para todos os solos estudados. Salter & Williams (1965a) também consideram que, na maioria dos trabalhos, pode ser usado o conteúdo d'água a 0,33 atm como limite superior da água disponível. Usando-se o conteúdo de água a 0,33 bar, tem-se certamente uma melhor correlação, pode-se fazer alguma comparação entre solos, e obtem-se correlação com silte, areia muito fina e conteúdo de matéria orgânica do solo (Jurinak, s.d.).

Hadas(1973a) sugere uma correlação com o conteúdo d'água de 0,1 e 0,5 bar, respectivamente, para os solos textura arenosa e textura argilosa. Por outro lado, outros autores como Colman (1947) e Vetterlein(1960), citados por Salter & Williams(1965a) e Jamison & Kroth (1958), indicam que o conteúdo de umidade do solo na capacidade de campo para diferentes texturas variou entre 0,05 a 0,66 atm, e que a maioria dos solos apresentaram uma tensão correspondente menor que 0,33 atm. Peter (1965), citado por Cavaza et alii (1973), também propôs tensões de 0,2 atm e 0,1 atm.

Wolf & Drosdoff (1974) consideraram, para os oxissolos (latossolos) textura argilosa e arenosa de Porto Rico, tensões de 0,05 e 0,06 bar, respectivamente. Tomaram como base para estabelecer este critério valores de tensões que não excediam a 20 - 80 cm d'água (aproximadamente 0,02 bar - 0,08 bar), após três dias de drenagem livre, na ausência de evaporação.

Em estudos realizados com oxissolos (latossolos) textura argilosa e textura média da Estação Experimental de Brasília(DF), Wolf (1975) tomou como limite superior da água disponível o conteúdo da água associada com a tensão de 0,1 bar. Considerou ser esta a tensão aproximada para estes solos, após saturação e 2 a 3 dias de drenagem livre, na ausência de evaporação.

A capacidade de campo "in situ" é determinada em manchas uniformes de solo (normalmente uma por ha). Em cada mancha escolhe-se uma outra menor (2 m x 2 m), irrigando-se esta com uma quantidade d'água suficiente para umedecê-la completamente, até uma profundidade na qual se deseja determinar a capacidade de campo. O local desprovido de vegetação deve ser coberto com um plástico (ou sacos úmidos) e areia, para prevenir a evaporação. O conteúdo d'água no local irrigado é determinado diariamente em diversas

profundidades pré-estabelecidas, até não haver variação considerável do conteúdo de umidade (Gairon, 1973).

Para a determinação do conteúdo de umidade, podem ser utilizados os seguintes métodos: gravimétrico, neutrons, atenuação de raios gama e tensiômetro (Gairon & Hadas, 1973).

2.1.3 Ponto de Murchamento

O "ponto de murchamento", também chamado de coeficiente de murchamento ou percentagem permanente de murchamento, é uma constante hídrica do solo que possui um significado fisiológico. O valor comum da tensão que é considerado limitante para a sobrevivência das plantas, é de 15 bar. Entretanto, cada espécie de planta possui sua própria capacidade para extrair água do solo entre a capacidade de campo e o ponto de murchamento permanente (Richards & Weaver, 1944, citados por Forsythe, 1975 e Kohnke, 1968).

Slatyer (1957), citado por Kramer (1969), criticou fortemente o conceito do ponto de murchamento permanente como uma constante física do solo. Discutiu que basicamente o murchamento ocorre em virtude da perda de turgor pelas folhas, e que o seu ponto de pressão, associado com o murchamento, é dependente das características osmóticas da seiva do tecido foliar. Este murchamento ocorrerá quando houver um balanço entre o potencial d'água no solo e o potencial d'água na planta. Desta maneira, espera-se que este potencial no solo, correspondente ao ponto de murchamento, variará muito em função do potencial osmótico nas plantas (entre 5 a 200 bar). Este autor observou ainda que, para muitos propósitos práticos, a percentagem permanente de murchamento, ou 15 bar, pode ainda ser considerada como uma importante característica do solo. Esta é a aproximação válida para o maior número de plan

tas, pois os potenciais osmóticos de muitas espécies variam aproximadamente de 10 a 20 bar.

Foi observado por Phillips (1957), citado por Kramer (1969), que a manifestação do ponto de murchamento permanente no campo está na dependência das condições meteorológicas, densidade de raízes, volume do solo ocupado, bem como das condições osmóticas na planta. Além disso, a condutividade hidráulica da água pode contribuir também para o processo de murchamento. O ponto de murchamento é afetado tanto pelas espécies como pelo estágio de crescimento das plantas, diminuindo para as mesófilas entre 10 a 25 bar. (Konhke, 1968).

Peters (1965), citado por Gairon (1973), considera o ponto de murchamento sobre dois aspectos: "ponto de murchamento incipiente", definido como sendo o conteúdo d'água no qual murcha o par de 3 folhas verdadeiras mais inferiores de uma determinada espécie de planta, (em um particular estágio de crescimento), recuperando-se quando colocada sob uma atmosfera saturada, e "ponto de murchamento permanente", como sendo aquele em que as plantas, crescendo em um solo com um determinado conteúdo de umidade, são levadas a estado de murchamento do qual não se recuperam em uma atmosfera saturada.

O ponto de murchamento é geralmente uma característica bem reproduzível, levando-se em conta que ela não é uma propriedade intrínseca do solo. No laboratório, ele é determinado rotineiramente pelo método da "membrana extratora de pressão", ao invés de método fisiológico de uma planta indicadora, que é mais inconveniente, como o método do girassol (Gairon, 1973; Veihmeyer, 1955).

Fernandes & Resende (1972) utilizaram o método fisiológico para estudar o ponto de murchamento de variedades de latossolos, tanto no Triângulo Mineiro como parte do Oeste da Zona do alto Paranaíba. Utilizaram o milho "Agrocerec 22", o feijão "Rico 23" e a soja variedade "IAC-2", sendo o experimento conduzido em "casa de vegetação" com temperatura variável. O milho apresentou murcha com um teor d'água mais elevado; a soja apresentou maior capacidade de utilização d'água; e o feijão ficou no ponto intermediário. Os resultados apresentaram uma estreita correlação com a tensão a 15 atm, obtida com a "membrana extratora de pressão".

2.1.4 Água Disponível

O conteúdo de capacidade de umidade disponível, ou capacidade de d'água prontamente disponível, tem sido aplicado para soluções de problemas práticos (Kutilek, 1973). Normalmente é considerado como sendo o conteúdo de umidade entre a capacidade de campo (0,1 - 0,5 bar dependendo da textura) e o ponto de murchamento (15 bar).

Com relação à utilização deste parâmetro na agricultura, faz-se diferença entre a extração da água para um crescimento ativo e produtivo, com a extração da água para a sobrevivência. Para o crescimento produtivo e ativo, diversas plantas possuem um limite entre 1 a 3 bar. A água que fica entre os limites da capacidade de campo e do ponto de murchamento permanente, chama-se "água aproveitável" pelas plantas, e a que fica entre a capacidade de campo e 5 bar, "água facilmente aproveitável". Como cada espécie de planta tem sua própria capacidade para extrair água para o crescimento ativo e produtivo, torna-se importante a determinação das "curvas características de umidade completas", para poder-se comparar suas características com as neces

sidades de um determinado cultivo (Forsythe, 1975).

Hadas(1973b) comentou que é difícil definir a disponibilidade d'água, em virtude do número de fatores envolvidos e do conhecimento incompleto das interações entre eles. Menciona que a faixa de conteúdo d'água entre a capacidade de campo e o ponto de murchamento (ou potencial mátrico do solo entre conteúdo d'água retido a 0,33 e 15 bar), não pode ser usado como uma definição de água disponível. Esta é função da extensão da atividade das raízes, das propriedades do solo-água e da demanda de transpiração. Observou o autor que a água do solo está igualmente disponível abaixo e entre a capacidade de campo e o ponto de murchamento permanente, para uma cultura que tem um sistema radicular muito denso com moderada taxa de transpiração. Já para uma cultura com sistema radicular esparsa e alta taxa de transpiração, houve uma redução progressiva na disponibilidade d'água no solo.

Do exposto, conclui-se que não existe uma forma exata e precisa para a descrição de um fenômeno tão complexo, como a dinâmica da água no solo no sistema solo-planta-atmosfera (Reichardt, 1975).

2.1.5 Interrelação da Retenção d'Água com a Textura, Estrutura, Porosidade e Superfície Específica

Textura e Estrutura

De um modo geral, as curvas de retenção de umidade dos solos são afetados pelos conteúdos de argila que estes possuem. Assim, solos com maior conteúdo de argila possuem uma maior capacidade de retenção de umidade a uma determinada tensão, e apresentam curvas características com declividade mais suave (Hillel, 1971). Por outro lado, Salter & Williams (1965b) afirmam que geralmente os solos de classe textural média apresentam capacidade

de água disponível mais elevada que os solos de textura argilosa e arenosa, os quais apresentam reduzidos volumes d'água livre disponível. A propósito disto, Cline & Buol (1973), em pesquisa de campo realizada em solos sob vegetação de cerrado próximo a Planaltina (Brasília/DF), manifestaram dúvidas de que latossolos de textura média possam suprir mais umidade do que os de textura argilosa, durante os períodos de baixa precipitação. Vale mencionar, dentro desta discussão, o trabalho de Grohmann & Medina (1966) - "Disponibilidade de Água em Alguns Solos sob Cerrado" - no qual relatam que os estudos comparativos dos dados de umidade expressos em volume, confirmam o conceito, há muito discutido, de que os solos barrentos são os que apresentam maior disponibilidade de água para as plantas, vindo em seguida os argilosos e por fim os arenosos. Verificaram, também, que a diferença de disponibilidade de água entre solos barrentos e argilosos foi mais acentuada que entre argilosos e arenosos.

Com relação ainda ao aspecto textural dos solos, Jamison (1953), Jamison & Kroth (1958) e Salter & Williams (1963a, 1963b) mencionaram que uma classe textural pode apresentar diferentes variações de umidade, principalmente à capacidade de campo. Apontaram, como causas destas variações, ligeiras diferenças na composição textural, distribuição dos tamanhos das partículas, matéria orgânica e, principalmente, a diferença de estrutura entre os solos, que é um dos mais importantes fatores modificadores.

Sharma & Uehara (1968a) concluíram que os fatores importantes no controle da retenção d'água nos solos são: composição, distribuição do tamanho de poros e temperatura. Diferenças em mineralogia, matéria orgânica e conteúdo de sais solúveis, contribuem para a variação da composição do solo. A distribuição do tamanho dos poros é determinada pela textura e estrutura

tura do solo. A textura torna-se pouco importante com o desenvolvimento da estrutura. Isto é especialmente verdadeiro em latossolos fortemente estruturados, onde as características de umidade disponível não podem ser previstas pela textura somente. Os autores observaram que, para estes solos, a retenção d'água foi fortemente influenciada pelo macrofabric (arranjo de pedras) numa faixa de 0 - 0,3 bar, enquanto o efeito do microfabric (arranjo de partículas) foi mais considerável acima desses valores. Posto isto, concluíram que os estudos das propriedades água-solo com relação à estrutura, é de especial interesse para o entendimento desses solos. Esclareceram ainda que, em relação ao estudo desta característica, deve-se levar em conta os aspectos de distribuição do tamanho dos poros e estabilidade de agregados, desde que estes, não resistindo ao efeito de umedecimento, podem desintegrar-se e afetar a geometria do sistema.

Sharma & Alexander (1959) e Cagauam & Uehara (1965), citados por Sharma & Uehara (1968a), observaram nos oxissolos (latossolos) do Havai elevada estabilidade de agregados. Embora texturalmente argilosos, estes solos diferem sensivelmente em estrutura e apresentam propriedades de retenção de umidade semelhantes às dos solos arenosos. Jamison & Kroth (1958), por outro lado, comentam que o desenvolvimento da estrutura, levando-se em consideração a forma como se apresenta o complexo de agregados, não necessariamente melhora a capacidade d'água disponível. Uma estrutura bem desenvolvida, freqüentemente resulta em perda desta capacidade de retenção d'água, com um aumento na permeabilidade do solo.

Com relação ao aspecto energético de como a água é retida, Uehara & Keng (1975) observaram que em solos caoliníticos-oxidados bem agregados, a água que é retida a tensões acima de 2 bar não é facilmente dis-

ponível às plantas, em virtude de sua baixa mobilidade. A condição de macroestrutura do solo não é considerada influente na retenção de umidade, quando o potencial d'água está na região de 15 bar. A altos valores de tensão, a retenção d'água é, pois, um atributo textural ao invés de ser um atributo estrutural do solo (Hillel, 1971).

Porosidade

É por meio da distribuição do tamanho dos poros que se caracteriza a porosidade total do solo, fazendo-se a distinção entre macro e microporosidade, responsáveis pelo maior ou menor poder de retenção d'água.

A distribuição do tamanho dos poros no solo é variável e depende da distribuição das partículas e agregação. Solos argilosos, por exemplo, apresentam uma porosidade total maior que os arenosos, devido a um número elevado de microporos, os quais contribuem para uma grande capacidade de retenção d'água. Os solos arenosos, por sua vez, apresentam macroporos que conferem ao solo uma baixa capacidade de retenção d'água (Grohmann, 1960b).

Arena (1966) observou que, nas condições naturais de estrutura dos solos, a porosidade máxima é verificada para os latossolos, especialmente de cerrado, que têm uma porosidade total média de 62 - 66%, cerca de 35% de macroporosidade e 35% de microporosidade. Encontrou para latossolo (oxissolo) vermelho fase cerrado e vermelho fase floresta de Brasília (DF), respectivamente, 66,7% e 63,6% de porosidade total, 32,4 e 30,8% de macroporos e 34,3 e 32,8% de microporos. Conforme ainda esse autor, a alta porosidade que estes solos apresentam pode explicar a baixa capacidade de retenção d'água, fazendo-se exceção ao latossolo roxo de alta microporosidade.

Grohmann (1960b) estudou a distribuição e tamanho de poros em três tipos de solos do Estado de São Paulo (terra roxa misturada, ter

ra roxa legítima e arenito de Bauru), procurando caracterizar a microporosidade e a macroporosidade, tomando como base a tensão de 60 cm de altura d'água. Verificou, através das curvas, que na terra roxa misturada e na terra roxa legítima o tamanho e distribuição dos poros aumentam em profundidade no perfil do solo. Como consequência, a microporosidade que é maior na camada superficial, decresce nas camadas profundas do perfil. Da mesma forma, Wolf (1975) verificou, estudando a variedade latossolo (oxissolo) vermelho escuro textura argilosa de Brasília(DF), que para o mesmo conteúdo d'água, a drenagem aumentava consideravelmente abaixo da profundidade de 45 cm do perfil do solo. Considerou isto uma decorrência do aumento da porosidade com a profundidade (decrecendo a densidade aparente).

Segundo Uehara & Keng (1975), em oxissolos (latossolos) bem agregados a água está nos macroporos, entre os agregados, e nos microporos, no interior dos agregados. A água contida nos macroporos é drenada rapidamente sob o efeito da gravidade, e a capacidade de campo é obtida a pressões baixas, geralmente entre 0,1 a 0,5 bar (a capacidade de campo é alcançada a estas pressões em virtude da condutividade hidráulica ser muito baixa, muito similar ao que ocorre nos solos arenosos). A água nos microporos, dentro dos agregados, está imóvel em sua maior parte e pode ser extraída somente quando pressões elevadas (100 bar) são aplicadas aos solos.

Wolf & Drosdoff (1974) conjecturaram que a uniformidade do perfil do oxissolo (latossolo), combinado com a forte estabilidade de agregados e um grande número de macroporos, contribuem para um rápido armazenamento e disponibilidade d'água.

Superfície Específica

As propriedades físico-químicas do solo são grandemente influenciadas pela superfície específica de seus constituintes minerais e orgânicos (veja por exemplo Grohmann, 1972a).

O termo superfície específica refere-se à área exposta pela unidade de peso do solo (normalmente expressa em m^2/g de solo), e varia significativamente com a textura do solo, o tipo de mineral de argila, matéria orgânica e óxidos de ferro livres. A contribuição dos óxidos de ferro é importante principalmente nos solos tropicais, onde ocorrem elevados teores. A matéria orgânica, embora ocorra em baixos teores em solos tropicais, influencia consideravelmente a superfície específica dos solos (Grohmann, 1972a). A razão disto é o fato de a matéria orgânica apresentar elevadíssima superfície específica ($700 m^2/g$), devido ao seu alto estado de subdivisão (Bower & Gschwend, 1952, citado por Grohmann, 1972b).

Se a superfície específica de um solo mineral é dependente principalmente da espécie e quantidade de argila presente, eventualmente poder-se-á provar que a superfície específica tem uma maior importância que a textura, constituindo, portanto, um índice valoroso para a caracterização do solo, uma vez que as reações químicas e físicas se processam em grandes proporções nas suas superfícies (Mortland, 1954; Kohnke, 1968).

Grohmann (1972a, 1972b) estudou a superfície específica de perfis de solos do Estado de São Paulo, com horizonte B textural e horizonte B latossólico. Usou amostras passadas em peneiras de 0,140 mm de diâmetro, aplicando o método do Éter Monoetílico do Etileno Glicol (EMEG). Observou-se que a superfície específica apresentada pelos solos estudados estava correlacionada com o teor de argila e que os solos com horizonte B textural

apresentavam pronunciada variação de superfície, em profundidade, tendo os horizontes A e B os valores de 21,60 e 47,40 m²/g, respectivamente. Os valores da superfície específica dos horizontes A e B (latossólico) foram de 73,50 e 70,20 m²/g, respectivamente. Verificou a influência da matéria orgânica dos óxidos de ferro livres e dos cátions trocáveis na superfície total do solo. Os horizontes A e B (textural) apresentaram uma redução nos valores de superfície específica de 29% e 10%, após a eliminação da matéria orgânica, e de 42% e 25% após a eliminação de matéria orgânica e óxidos de ferro livres. Por outro lado, os horizontes A e B (latossólico) apresentaram redução de valores de superfície específica de 26 e 12%, após remoção da matéria orgânica, e de 43 e 29% após remoção da matéria orgânica e óxidos de ferro livres. Os solos, sem óxidos de ferro livres e matéria orgânica, apresentaram superfícies específicas da ordem de 146,5 m²/g e 171,30 m²/g, respectivamente, para os horizontes A e B dos perfis, com B textural. Estes valores são bem mais elevados que os apresentados pelos perfis com B latossólico, que foram de 95,80 e 100,80 m²/g para os respectivos horizontes. Observou ainda que, quando o solo foi saturado com diferentes cátions, a maior superfície específica correspondeu ao solo saturado com cálcio, e que a contribuição da fração limo à superfície específica total do solo variou de 12% a 43%.

Levando-se em consideração o fenômeno de adsorção d'água pelos solos, Mortland (1954) encontrou para retenções de umidade à 27,12 atm, à capacidade de campo e à umidade equivalente, uma correlação muito alta com a superfície específica. Gardner (1968), citado por Hillel (1971), observou que o conteúdo d'água a 15 bar apresenta uma correlação razoável com a área da superfície do solo. Enfim, Duchaufour (1975) comenta que o conteúdo d'água no solo, no ponto de murchamento, é tanto mais elevado quanto maior for a superfície das partículas do solo, sendo, por conseguinte, maior para solos

argilosos que para solos de textura arenosa.

Hillel (1971) resumiu o interrelacionamento dos fatores discutidos, nos seguintes termos: "a quantidade d'água retida a um valor relativamente baixo de tensão (0 a 1 bar) depende, em primeiro lugar, do efeito da capilaridade e da distribuição dos tamanhos dos poros, sendo, portanto, fortemente afetada pela estrutura do solo que é um dos mais importantes fatores modificadores. Por outro lado, a retenção d'água correspondente a valores altos de tensões é influenciada mais pela textura e superfície específica do material do solo que pela sua estrutura".

2.1.6 Condutividade Hidráulica

A "condutividade hidráulica" ou coeficiente de permeabilidade, é um parâmetro essencial para a determinação quantitativa do movimento da água no solo. Raramente esta se encontra em equilíbrio, movendo-se em direção ao decréscimo do potencial, cujo fluxo é função deste gradiente e habilidade do solo para transmissão da água (Grassi & Christiansen, 1969; Gairon, 1973; Reichardt, 1974).

A determinação deste parâmetro nos horizontes de um perfil do solo é a forma mais exata para se avaliar a classe de permeabilidade da qual a parte do perfil. Estima-se esta classe pelo valor da condutividade do horizonte menos permeável (Forsythe, 1975).

Para propósitos práticos, o gradiente gravitacional e de pressão poderão ser considerados como as forças direcionais que são responsáveis pelo movimento da água no solo. Matematicamente este fluxo é expresso pela lei de Darcy:

$$V = Ki,$$

onde V = volume do fluído d'água;

K = condutividade hidráulica;

i = gradiente hidráulico em direção ao fluxo.

A condutividade tem as unidades de velocidade (L/t), sendo que as formas usadas são cm/s, cm/h ou m/dia (Richards & Chairman, 1952; Forsythe, 1975).

A condutividade K do solo com relação à água, que aparece como um fator de proporcionalidade na equação de Darcy, não é sempre constante. Em primeiro lugar, depende do conteúdo de umidade do solo: quando este é saturado, K denomina-se "condutividade hidráulica" e, sob condições de não saturação, ele é referido como "condutividade insaturada" ou "condutividade capilar" (Richards & Chairman, 1952; Gairon, 1973). Por outro lado, a condutividade é afetada por inúmeros fatores: interação do fluído com o meio poroso (relação macro e microporosidade, índice de porosidade), qualidade da água, temperatura, estrutura, CTC, fendas, condutos produzidos por raízes e minhocas, bloqueio dos poros, anisotropia do meio etc. Estes fatores e outros mais afetam o movimento d'água dos solos, e dificultam as determinações de permeabilidade, tanto em condições de laboratório como de campo (Reeve, 1967; Jaccoud, 1971; Coelho, 1971; Gairon, 1973).

Baver et alli (1973) mencionaram que na equação acima as propriedades do líquido não são consideradas. Muitas vezes o efeito dessas propriedades são eliminadas em parte pela inclusão da viscosidade na equação. Neste caso, em vez de K , usa-se K/η . Esta modificação é utilizada quando a temperatura é um fator importante.

Considerando os demais fatores constantes, Childs (1967) observa que a condutividade hidráulica é uma propriedade do meio poroso. Solos com alta porosidade tendem a uma condutividade mais elevada que solos de baixa porosidade; os que apresentam mais microporos tenderão a uma condutividade mais baixa que aqueles dotados de macroporos. Descreve, ainda, que um solo com ampla variedade de tamanhos de poros será mais condutivo se seus macroporos formarem um caminho contínuo através do solo, em lugar de estarem distribuídos ao acaso juntamente com os microporos menos efetivos. Além disso, a estrutura do solo pode proporcionar este caminho contínuo de macroporos, ultrapassando amplamente em eficácia a contribuição feita à condutividade pelo espaço poroso textural, ainda que a porosidade estrutural seja menor que aquela. Em suma, ele menciona que uma alta condutividade hidráulica é causada por uma grande porosidade, uma textura grossa e uma estrutura bem desenvolvida. A condutividade textural é responsável pela alta condutividade dos solos arenosos, uma vez que estes, não possuindo estrutura estável, são dotados de baixa condutividade estrutural. No entanto, solos argilosos pesados podem depender complementarmente do desenvolvimento da estrutura para adquirirem a condutividade que exibem. Enfim, comenta que, quando a condutividade hidráulica depende principalmente da estrutura do solo, a "estabilidade da estrutura" é de essencial importância.

É interessante notar que o movimento d'água em oxissolos é semelhante ao dos solos arenosos, e que talvez se deva dar maior importância à estabilidade estrutural, ao tipo de estrutura e ao tipo de argila, como parâmetros mais apropriados para o entendimento do movimento d'água nestes solos (Wolf & Drosdoff, 1974). Sharma & Uehara (1968b) estudaram dois aspectos da estrutura "macrofabric (arranjo de ped) e "microfabric" (arranjo de partículas primárias dentro do ped) sobre o movimento da água em

condições de saturação e não saturação. Usaram agregados (10 - 20, 20 - 40, 40 - 60, 60 - 140 mesh) de dois latossolos possuindo composição idêntica e diferentes índices de agregação (77,8% e 95%). Verificaram que a condutividade hidráulica para o solo de maior índice de agregação era decididamente muito mais elevada, e que a condutividade capilar decrescia repentinamente à proporção que o solo se tornava insaturado. De uma maneira geral, os resultados mostraram que o efeito do "macrofabric" no movimento da água é mais pronunciado em tensões baixas (0 - 0,2 bar). Foram também observados fluxos idênticos para o mesmo tamanho de agregados estáveis de ambos os solos, sugerindo que os poros "intrapad" não influenciaram significativamente nesta faixa de tensão. Foi sugerido, entretanto, que o "microfabric" deve influenciar as propriedades do fluxo do líquido em altos valores de tensão.

No mesmo contexto, Corsini (1974) avaliou as "modificações das características físico-hídricas através da condutividade hidráulica", em perfis das séries Jaboticabal (Typic Eutrortrox) e Santa Teresa (Typic Haplustox) do Estado de São Paulo, para duas condições de cultivo: solo natural e solo intensamente cultivado. Com relação aos valores de K para diversas profundidades dos solos naturais da série Jaboticabal, encontrou médias de: 90 cm/h (muito rápida) para 0 - 20 cm, 40 - 60cm/h (muito rápida) para 20 - 66 cm e 10 - 30 cm/h (moderadamente rápida e muito rápida) para abaixo de 66 cm. Para solos cultivados da mesma série, encontrou: 0 - 5cm/h (muito baixa e moderada) para as primeiras profundidades e 5 - 30 cm/h (moderada e muito rápida) para a última. Na série Santa Teresa, solos cultivados: 5 - 20 cm/h (moderada e muito rápida) para 0 - 35 cm/h e 30 - 40 cm/h (muito baixa e muito rápida) para 36 - 60 cm. Solos naturais desta última série: 25 - 70 cm/h (rápida e muito rápida) para 0 - 35 cm e 35 - 60 cm. No caso da série Santa Teresa, observou ainda que abaixo de 65 cm os valores de

K variam de 3 - 40 cm/h, entre as classes consideradas moderadamente rápidas e muito rápidas. O autor concluiu que o cultivo intenso diminui os valores da condutividade hidráulica para os perfis estudados, provocando um maior adensamento (com exceção da camada de 0 - 20 cm da série Jaboticabal, que apresenta problemas muito elevados de adensamento) e melhorando, assim, propriedades indiretamente relacionadas à condutividade hidráulica, como retenção de umidade, permeabilidade e relação ar/água.

O tipo de amostra influi bastante nos resultados da condutividade hidráulica. Vários autores têm recomendado o uso de amostras indeformadas, cujos resultados são mais compatíveis com as condições de campo. Quanto às dimensões, vem-se utilizando vários tamanhos de amostras indeformadas, variando desde 5 a 7,5 cm de diâmetro. Quanto ao número de amostras necessárias para o estudo da permeabilidade do solo, este aumenta quando o solo é extremamente variável ou quando as amostras são de tamanhos pequenos (Reeve, 1967; Jaccoud, 1971; Forsythe, 1975). Já, segundo Childs (1969), solos com unidades estruturais grandes requerem dimensões de núcleos maiores e que, de modo geral, a determinação da condutividade hidráulica deve ser feita em um número bastante elevado de amostras, para melhor representar as condições naturais de campo.

Vários procedimentos são empregados para a determinação da condutividade hidráulica: procedimento de estimativa, os quais são baseados nas características físicas do meio, tais como porosidade e distribuição do espaço poroso, textura, estrutura, e procedimentos de medidas que dizem respeito aos métodos de laboratório e métodos de campo (Grassi & Christiansen, 1969).

Os métodos de laboratório podem ser empregados em substituição aos métodos de campo, na determinação da condutividade hidráulica em projetos de viabilidade econômica e em trabalhos de irrigação e drenagem. Os mais difundidos são os que utilizam permeâmetros, dos mais diversos tipos. Estes se caracterizam por possibilitar o movimento unidirecional da água, a determinação de gradiente hidráulico e o fluxo resultante. Podem ser de carga constante ou variável, sendo que os de carga variável são recomendados na determinação da condutividade hidráulica em solos de baixa permeabilidade, a fim de se evitar erros introduzidos pela evaporação (Flannery & Kirkman, 1964; Klute, 1965, citados por Coelho, 1971).

3. SOLOS UTILIZADOS E CONDIÇÕES AMBIENTAIS

Foram estudados perfis de quatro variedades de latossolos sob vegetação de cerrado do Brasil Central. Estes representam consideráveis extensões desta região e localizam-se nas áreas do Distrito Federal e João P_inheiro (MG), conforme mostram as figuras 2 e 3. Os perfis foram descritos em trincheiras de 1m x 2m x 2m, e as amostras para as análises necessárias foram coletadas até 1,50m de profundidade.

Abaixo são apresentadas as classificações dos solos de acordo com os critérios adotados pelo Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo (SNLCS), da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), pela USDA-Soil Taxonomy e pela FAO-UNESCO.

Perfis localizados no Distrito Federal

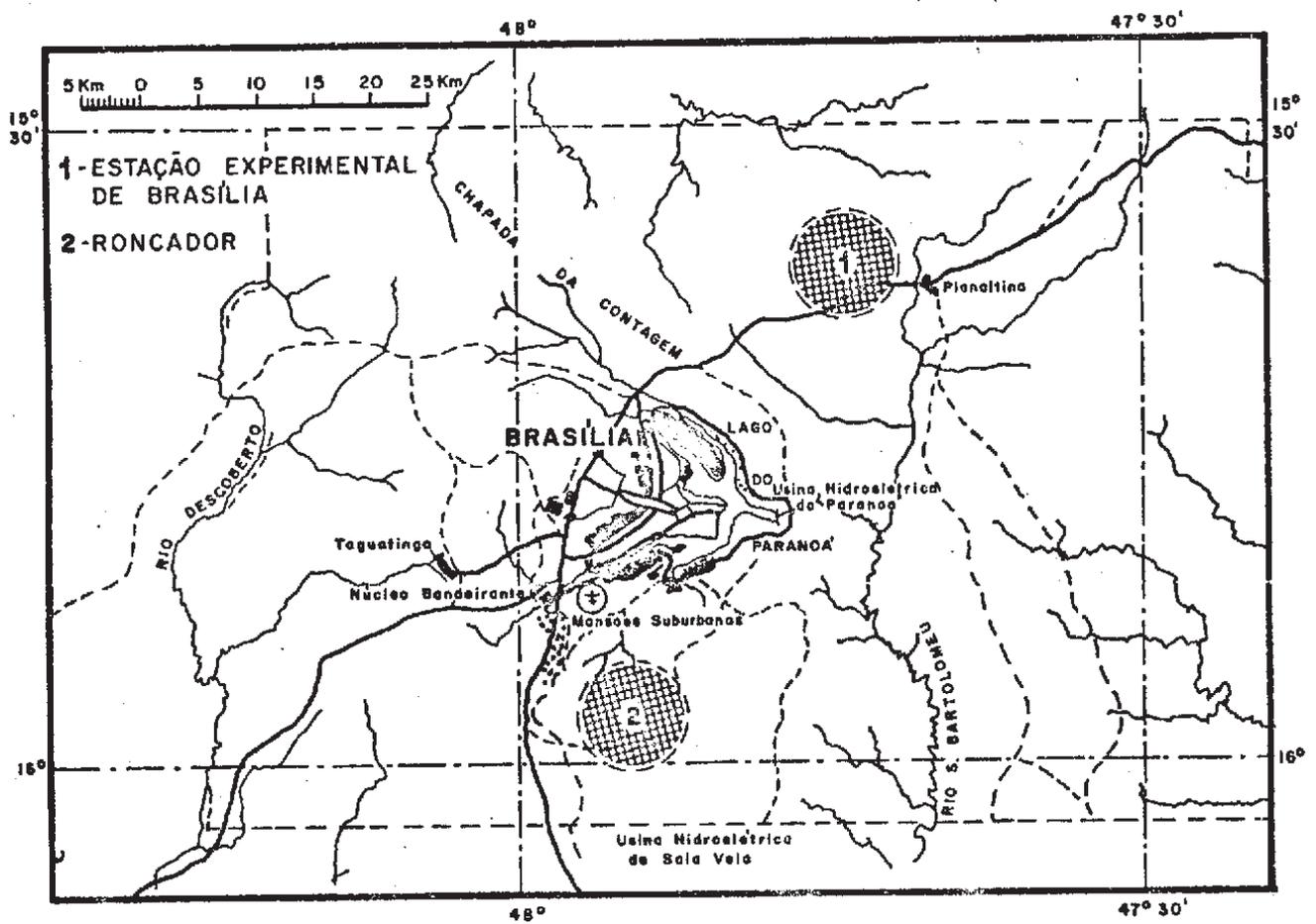
Perfil 1:

LATOSSOLO VERMELHO ESCURO, DISTRÓFICO, álico, A moderado, textura argilosa, fase transição floresta/cerrado e relevo plano;

Typic Haplustox, fine clayey, kaolinitic, isohyperthermic;

Orthic Ferrasol.

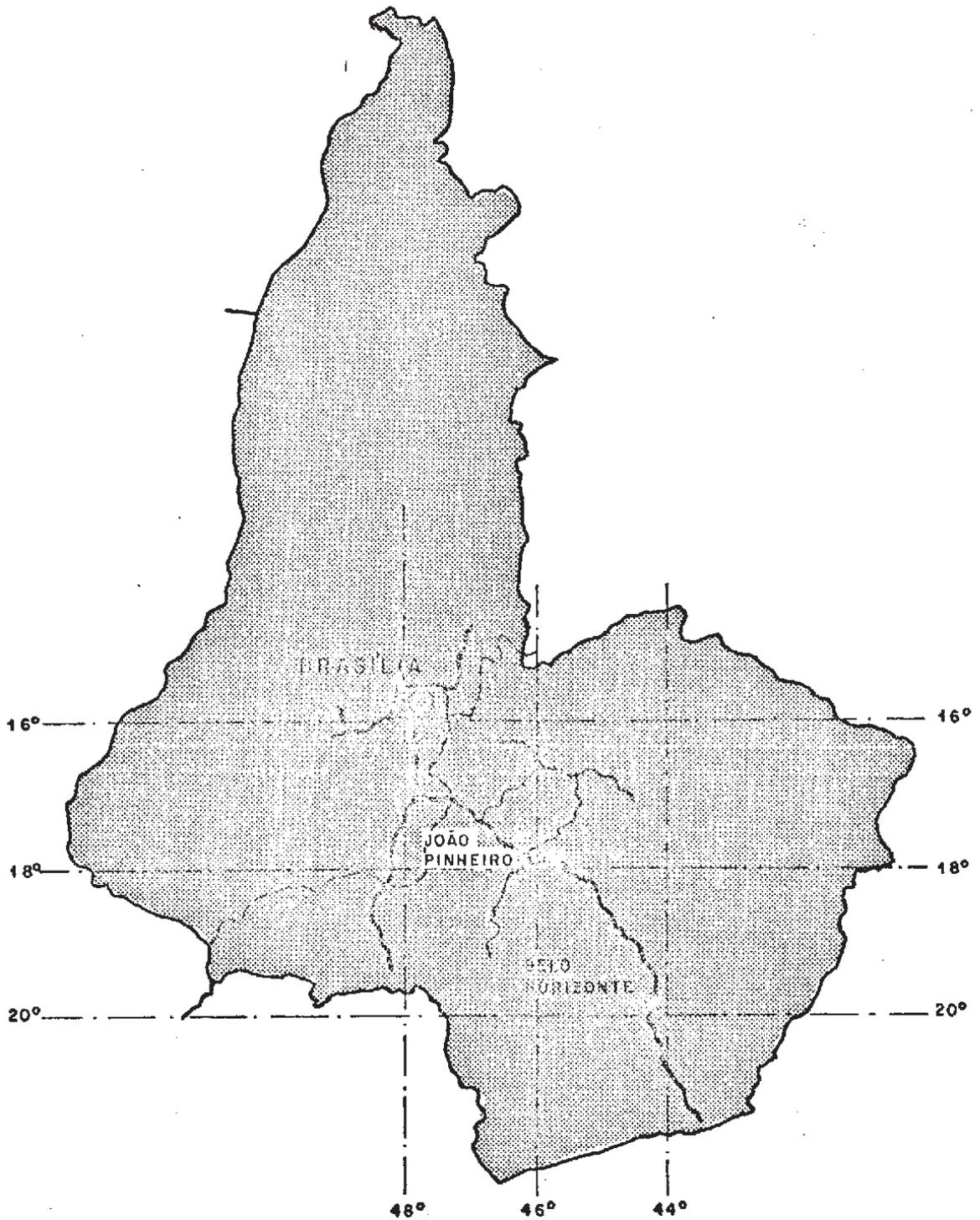
LOCALIZAÇÃO DOS PERFIS DOS SOLOS NO DISTRITO FEDERAL



Fonte: (Brasil - M.A. Escritório de Pesq. e Exp. - EPFS, s.d.)

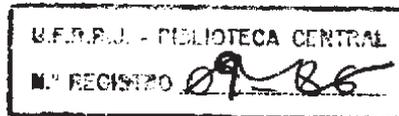
fig. 2

LOCALIZAÇÃO DO PERFIL EM JOÃO PINHEIRO (MG)



Fonte : IBRA (1966)

fig. 3



Perfil 2:

LATOSSOLO VERMELHO ESCURO, DISTRÓFICO, epiálico, A moderado, textura argilosa, fase cerrado e relevo plano;

Typic Acrustox, very fine clayey, oxidic, isohyperthermic;

Acric Ferrasol.

Perfil 3:

LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, DISTRÓFICO epiálico, A moderado, textura média, fase cerrado e relevo plano;

Typic Acrustox, fine loamy oxidic, isohyperthermic;

Acric Ferrasol.

Perfil localizado em João Pinheiro (MG)

Perfil 4:

LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, DISTRÓFICO, epiálico, A moderado, textura média, fase cerrado e relevo plano;

Typic Haplustox, fine loamy kaolinitic isohyperthermic;

Orthic Ferrasol.

As descrições dos perfis 1, 2 e 4 foram realizadas por Cavalcanti (1977), e alguns dados sobre suas características físicas e químicas foram fornecidos pelo SNLCS - EMBRAPA, e encontram-se nos Apêndices 1,2,3,4,7,e 8. Com relação ao perfil 3, utilizou-se os dados da publicação BRASIL - M.A.

Escr. de Pesq. e Exp. - EPFS, s.d., os quais encontram-se nos Apêndices 5 e 6. A atualização da nomenclatura do perfil 3 e sua classificação dentro dos critérios de USDA-Soil Taxonomy e FAO-UNESCO, foi feita por Cavalcanti (1977).

Coleta de Amostras

Coletou-se dois tipos de amostras dos horizontes de cada perfil:

- Amostras destinadas à obtenção de terra fina seca ao ar (< 2 mm) e separação de agregados, coletadas de acordo com as orientações da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo-Manual de Método de Trabalho de Campo (1967).

- Amostras indeformadas (em número de quatro por horizonte de cada perfil) obtidos com cilindros de alumínio de 148 ± 1 cm³ (6,3 cm de altura e 5,5 cm de diâmetro).

Para obtenção destas amostras abriu-se "banquetas" na parte mediana de cada horizonte, nas quais colocou-se os cilindros, e sobre estes, encaixada em ressalto, uma extensão de aço, fazendo a penetração dos cilindros no solo de forma vertical e uniforme, com auxílio de um martelo. Os blocos dos solos foram parcialmente aparados em suas extremidades, envolvidos em gazes "Fama" e, em seguida, acondicionados em sacos plásticos para depois serem recobertos com solos do mesmo horizonte, depois transferidos para o laboratório (Ver sequências da figura 4).

COLETA DE AMOSTRAS INDEFORMADAS

(Sequências A, B, C, D, e E)

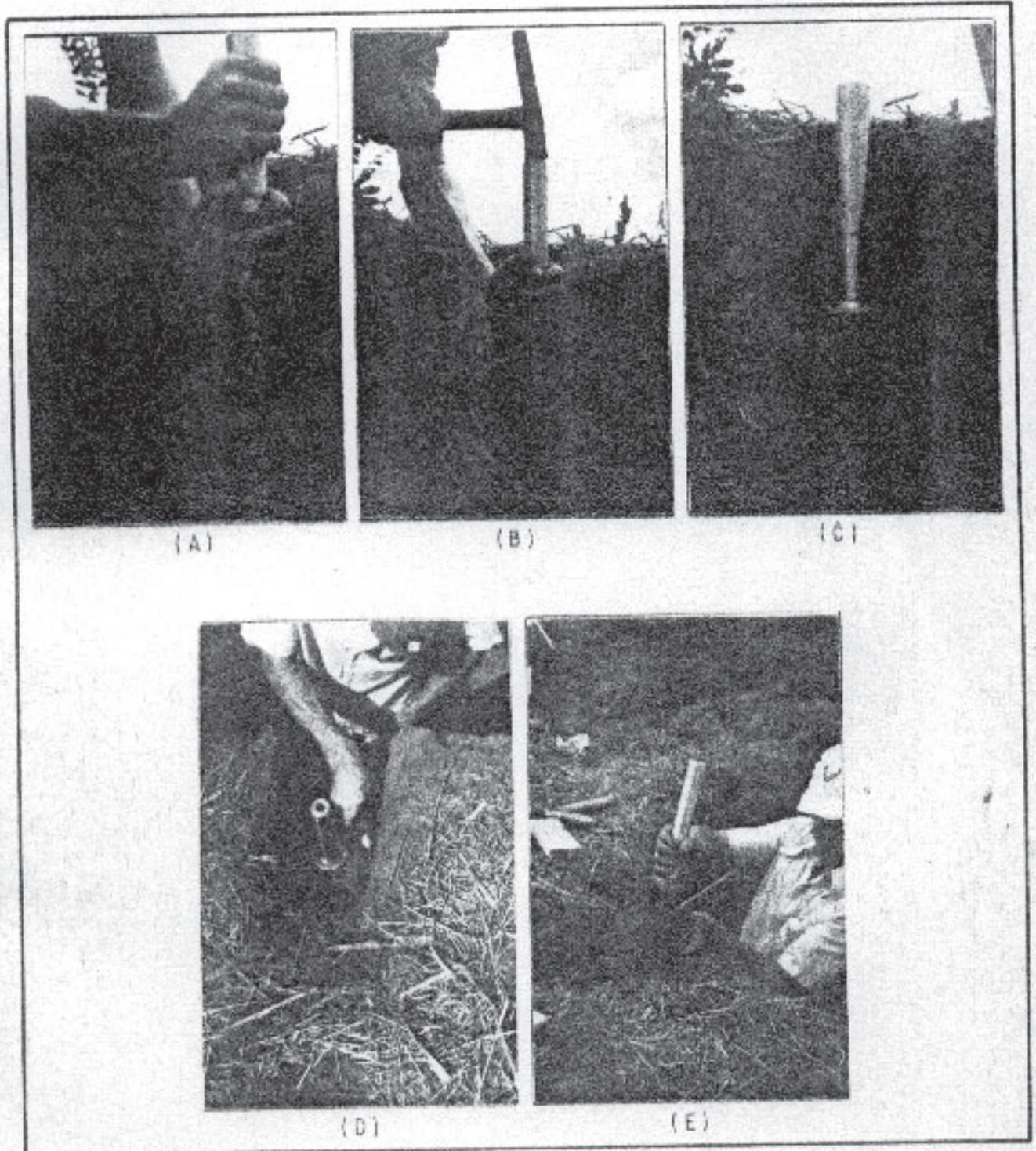


fig 4

COLETA DE AMOSTRAS INDEFORMADAS

(Sequências F, G, H e I)

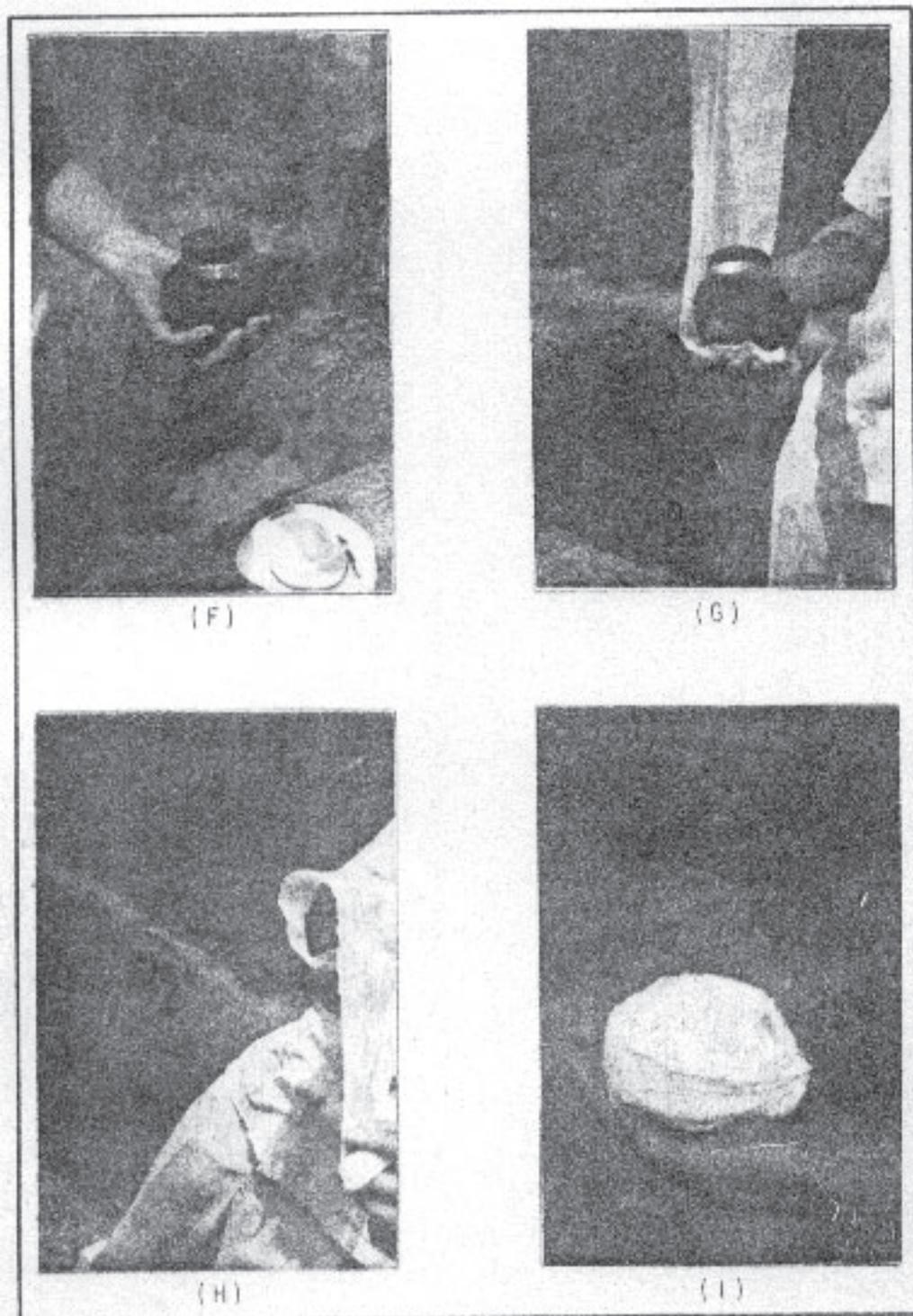


fig 4

Relevo

A região consiste em um núcleo de rochas cristalinas do Pré Cambriano, expostas ou cobertas por sedimentos de Paleozóico e Mesozóico (Falesi & Camargo, 1975). A maior parte da área foi sujeita ao soergimento e à evolução geomórfica policíclica, cujas evidências estão muito bem expressas pelos resultados de aplainamento e dissecações sucessivas, na parte mais interior (Distrito Federal).

Esta área interna é tipificada pelo domínio de extensos remanescentes não dissecados de antigas superfícies de erosão, formando altos platôs de topografia praticamente plana e suavemente ondulada (chapadas), algumas vezes limitados por escarpamentos. O aplainamento mais antigo, atingindo aproximadamente 1.200 m de altitude, é referido provavelmente ao Terciário Inferior.

Afastando-se do interior, os cursos superiores dos principais rios estão, de forma freqüente, profundamente encaixados. As chapadas formam a maioria dos divisores principais, gradualmente perdendo altitude, tornando-se mais estreitos e desfazendo-se em testemunhós fortemente ondulados, à medida que dão lugar a compartimentos periféricos rebaixados, mais jovens, de modelado ora mais acidentado ora mais suave, de vales progressivamente mais largos, que passam a dominar a paisagem (figura 5).

Vegetação

Constata-se nas áreas florestas mesófilas (principalmente subcaducifólias), florestas ribeirinhas (Falesi & Camargo, 1975) e, segundo o aspecto, distingue-se ainda quatro tipos de vegetação, formando o que se chama cerradão, cerrado, campo sujo e campo limpo (AIA, 1963;

PAISAGENS DA REGIÃO

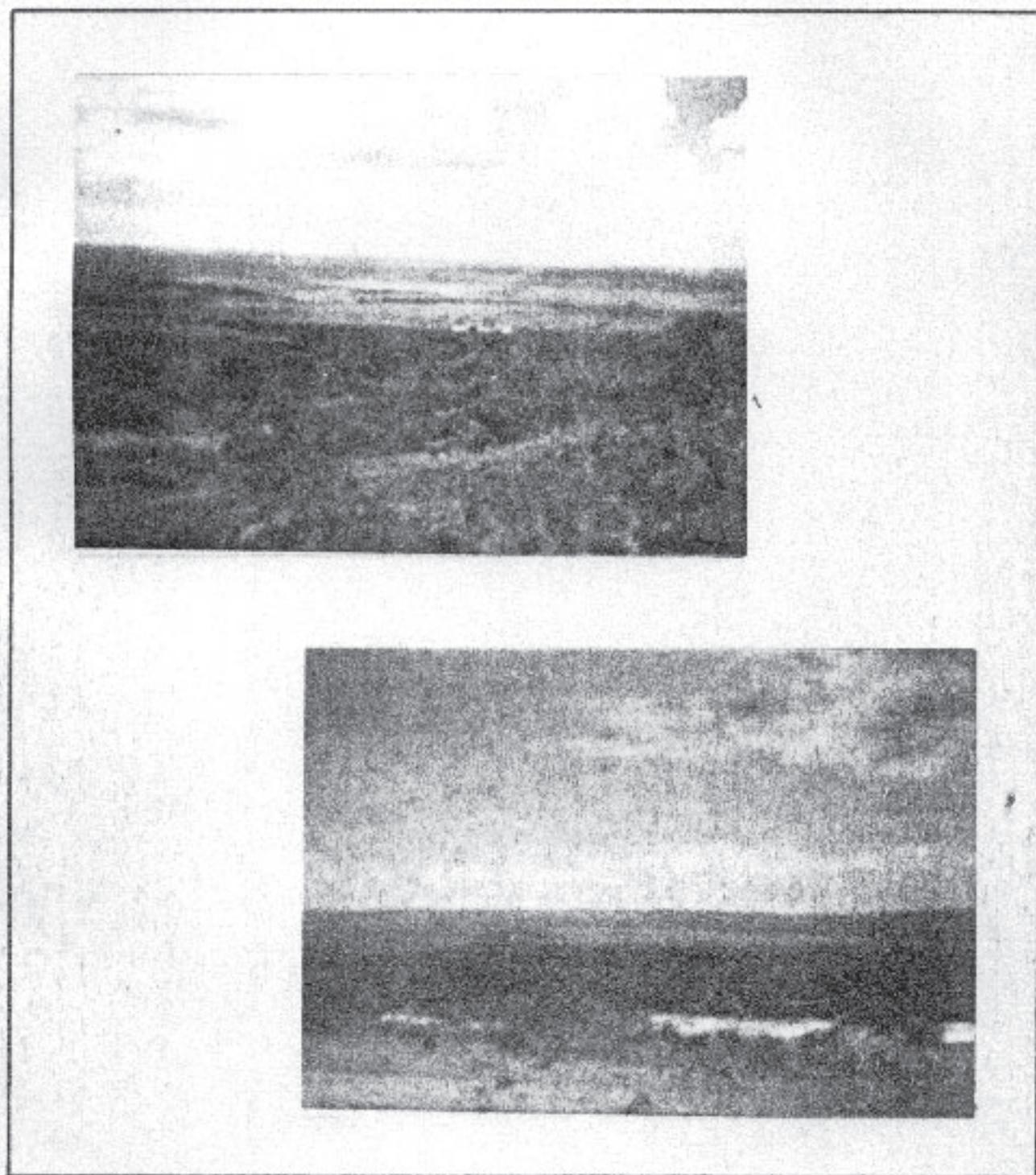


fig 5

Laboriou, 1971).

O cerradão constitui um tipo intermediário entre o cerrado e a floresta, possuindo, portanto, vegetação menor e menos densa do que esta. Há três estados de vegetação no cerradão: arbúreo, 8 a 10 m de altura; arbúsculo, mais denso, com cerca de 3 m; e herbáceo, muito reduzido.

O cerrado, caracteriza-se por uma massa de árvores de baixo porte, apresentando aspecto tortuoso, caules recobertos com espessa casca, folhas coriáceas brilhantes ou revestidas por um denso conjunto de pelos. Os sub-arbustos são tortuosos, muito baixos e bastante esparsos ou até mesmo ausentes. Verifica-se que a densidade da vegetação é variável e em certos trechos as copas e os ramos se entrelaçam; em outros, as árvores distam de 3 a 7 metros entre si. Quando a distância é maior, o campo cerrado chama-se campo sujo. Quando se verifica a ausência de árvores e arbustos, o cerrado é denominado campo limpo.

De um modo geral, as vegetações permanentes do cerrado, principalmente as de porte baixo, possuem um sistema radicular muito característico, altamente adaptado às condições adversas do ambiente. Várias delas possuem tubérculos duros e lenhosos e raízes suculentas, que armazenam água em grande quantidade. Outras plantas possuem raízes capazes de tirar a água do solo até 18 a 20 m de profundidade, o que lhes possibilita reter a folhagem durante todo o período da estação seca, e transpirar livremente (IPEA, 1973). As seqüências das figuras 6 e 7 mostram aspectos da vegetação local, correspondentes aos quatro perfis estudados.

ASPECTO DA VEGETAÇÃO CORRESPONDENTE AOS LOCAIS DOS
PERFIS DE TEXTURA ARGILOSA



a) PERFIL 1 (Distrito Federal)

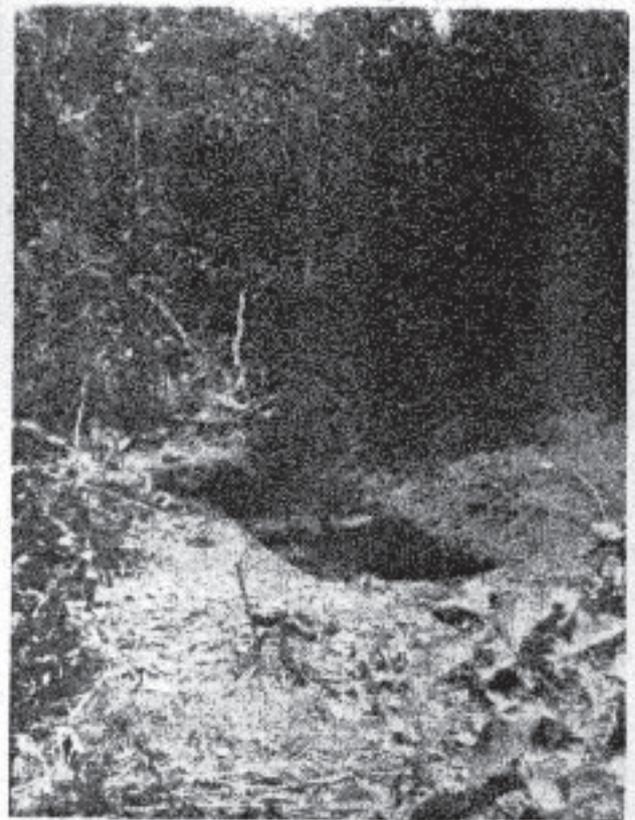


b) PERFIL 2 (Distrito Federal)

ASPECTO DA VEGETAÇÃO CORRESPONDENTE AOS LOCAIS DOS
PERFIS DE TEXTURA MÉDIA



a) PERFIL 3 (Distrito Federal)



b) PERFIL 4 (João Pinheiro - MG)

fig. 7

Recursos Hídricos

Na região encontra-se o vértice comum de três grandes bacias hidrográficas do Brasil (Paraná, São Francisco e Tocantins), aumentando assim a importância dos cursos d'água existentes.

As áreas de solos profundos, situadas em partes elevadas, atuam como elemento de retenção e acumulação de águas pluviais, alimentando, durante as estações secas, os cursos de água através de áreas de exudação por onde aflora o lençol freático. Este funcionamento geo-hídrico descrito confere o caráter permanente que possui a maioria dos cursos d'água, e constitui a chave para o estudo do aproveitamento dos recursos hídricos da região. Serve, também, como fonte relevante de suprimento de água para a agricultura (Brasília, DF - Prefeitura - Secr. de Agr. e Prod., 1965).

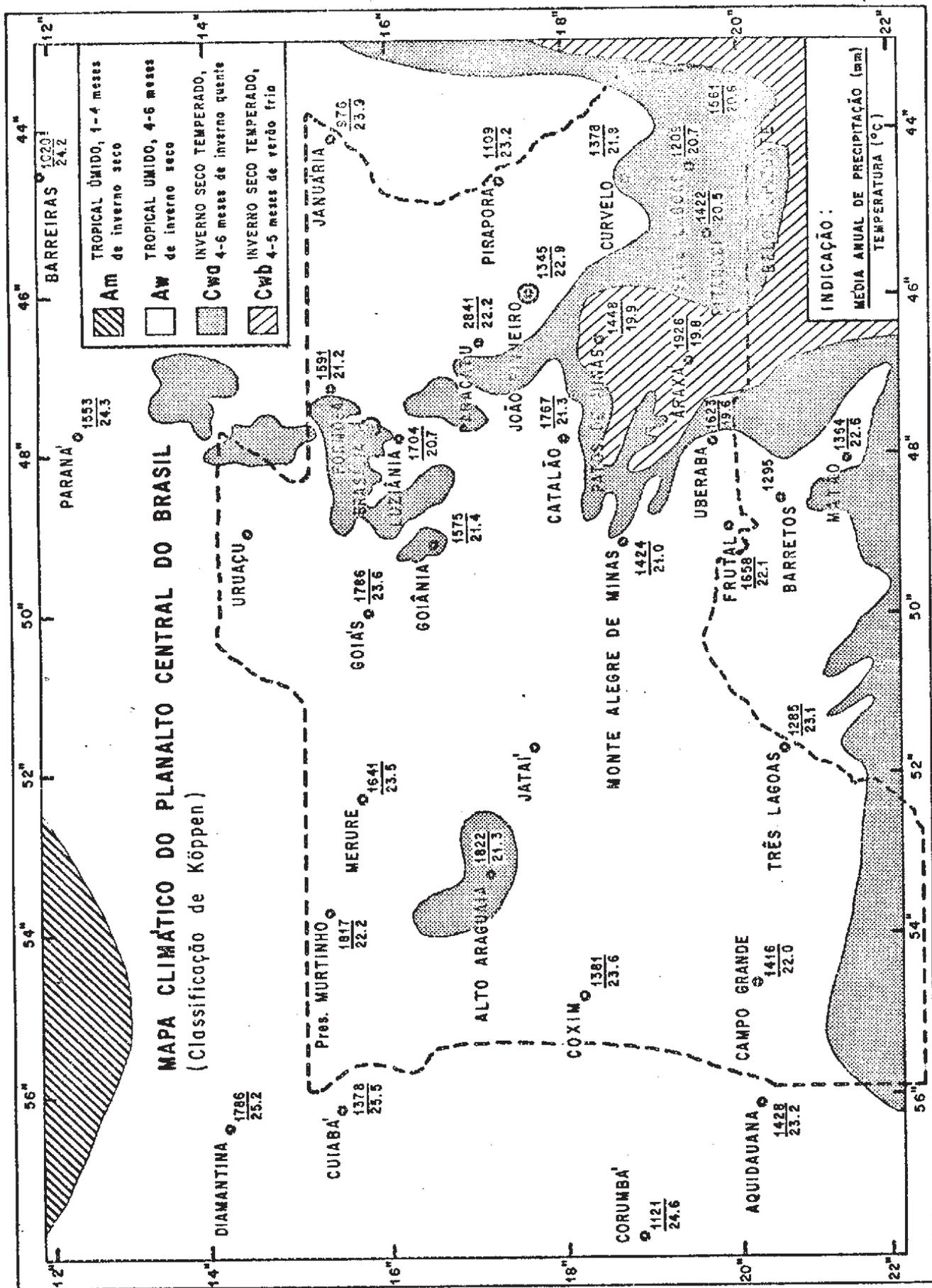
Clima

O clima das áreas de estudo (AIA, 1963, IBRA, 1967), corresponde, dentro da classificação de Köppen, aos seguintes tipos genéricos. (Ver figura 8).

Aw - com estação longa e inverno seco de quatro a seis meses, sendo cada mês com menos de 100 mm de precipitação. As temperaturas médias mensais nunca são inferiores a 18°C.

Cwa - com inverno seco de quatro a seis meses de duração e verões quentes, sendo a temperatura média do mês mais quente superior a 22°C.

Cwb - com inverno seco de quatro a cinco meses de duração e verões frescos, sendo a temperatura média do mês mais quente inferior a 22°C.



Fonte: AIA (1963)

fig. 8

Observa-se que o principal inconveniente desse clima é um período longo de inverno seco, num intervalo que varia até 6 meses consecutivos, quando as chuvas são insuficientes para o desenvolvimento das culturas. Contudo, tem-se como certo um período chuvoso de pelo menos 6 meses. Em Brasília (DF), a estação seca estende-se de meados de maio a meados de outubro com pique no mês de agosto, enquanto que em João Pinheiro (MG), o efeito da estação seca é ligeiramente mais longo, sendo as primeiras chuvas mais tardias (estendendo-se de outubro a novembro).

É interessante observar que durante a estação chuvosa sempre ocorre um período de escassez, que se prolonga geralmente por 2 a 3 semanas, sendo mais prevalecte durante o mês de dezembro e janeiro, caracterizando os períodos de estiagem denominados "verânico" (Wolf, 1975).

A pluviometria anual de João Pinheiro é ligeiramente inferior à de Brasília e, em virtude de estar situada numa altitude inferior (800 m) em relação àquela Capital (1.200 m), suas temperaturas médias anuais são ligeiramente superiores (figura 8).

4. MATERIAIS E MÉTODOS DE ANÁLISES

4.1 Conteúdo de Umidade a Várias Tensões

Para determinação do conteúdo de umidade a várias tensões, foi usado o método padrão da "membrana extratora de pressão" ou "placa extratora de pressão". Usou-se tensões de 0,06 - 0,10 - 0,20 - 0,33 - 0,40 - 0,50 - 0,70 - 1 - 2 - 3 - 5 - 10 e 15 atm, aplicadas sobre as amostras de formadas (< 2 mm seca ao ar) em duplicatas, deixando-se o sistema ficar em equilíbrio. Como fonte de pressão, usou-se ar comprimido obtido com um compressor de funcionamento automático e com capacidade para até 300 libras. Na faixa de 0 - 1 atm, empregou-se uma câmara de baixa pressão (placa extratora de pressão) trabalhando-se apenas com 2 placas de cerâmicas e, acima de 1 atm, empregou-se câmaras de alta pressão (membrana extratora de pressão) com membrana de celulose.

PROCEDIMENTO:

Inicialmente as amostras foram colocadas em anéis retentores de borrachas de aproximadamente 21 cm^3 (1 cm de altura e 5,2 cm de diâmetro), situados sobre as placas de cerâmica e membrana de celulose. Em seguida colocou-se água destilada sobre estas, até cerca de $2/3$ da altura dos

anéis, deixando-se o conjunto em repouso para saturação das amostras por um período de 24 horas. Após esse período, iniciaram-se as determinações, tendo sido observado que o equilíbrio foi atingido em média de $1 \pm 0,5$ dia para tensões baixas (0 - 1 atm) e 5 ± 2 dias para tensões elevadas (1 - 15 atm), dependendo, em ambos os casos, das amostras. Alcançado este estado, as amostras foram retiradas das câmaras, transferidas para latas de alumínio, de imediato pesadas e conduzidas para a estufa (105°C - 110°C) por 24 horas, após o que foram novamente pesadas. Os resultados para construção das "curvas características de umidade" foram expressos em percentagem por volume conforme a fórmula:

$$\% P_v = P_p \times D$$

onde P_v = percentagem d'água por volume;
 P_p = percentagem d'água por peso; e
 D = densidade aparente.

4.2 Condutividade Hidráulica Vertical

Para determinação da condutividade hidráulica vertical adaptou-se "um permeâmetro de carga constante" com capacidade para 5 blocos de solos, conforme desenho esquemático na figura 9. Este, além de apresentar um funcionamento bastante satisfatório, proporcionou um alto rendimento com boa economia de tempo.

Utilizou-se aqui amostras indeformadas (volume médio $148 \pm 1 \text{ cm}^3$), em duplicatas, para determinação da "condutividade hidráulica vertical". Tomou-se como base os procedimentos descritos por Oliveira(1961), Smith & Browing (1946) e Forsythe (1975).

PERMEÂMETRO DE CARGA CONSTANTE UTILIZADO PARA DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA VERTICAL

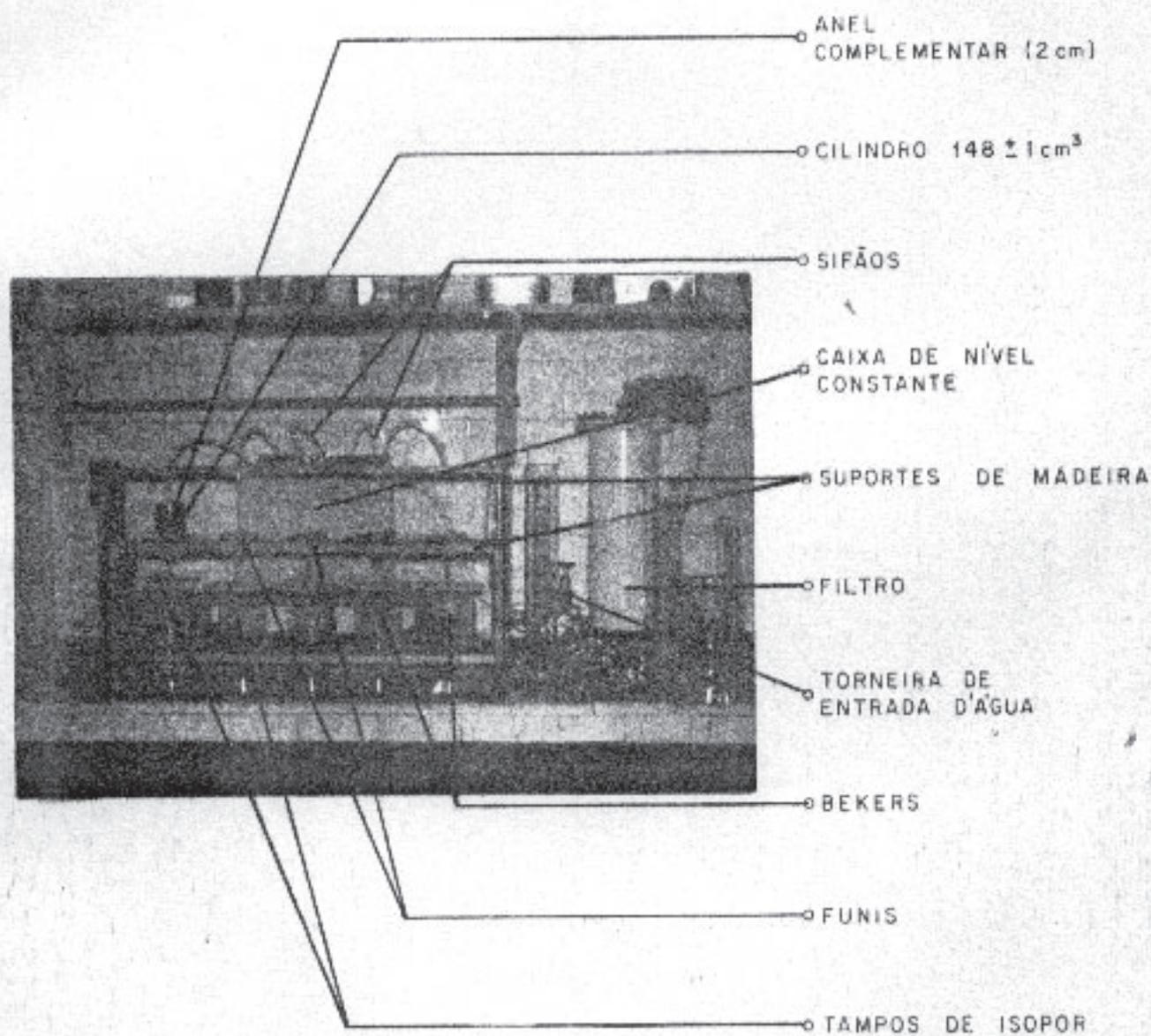


fig. 9

PROCEDIMENTO:

Depois de biselados os cilindros (sempre em número de 4 e em intervalos variados), foram colocados em suas extremidades pedaços de gazes "Fama" dobrados em quatro camadas, ajustando-se estas por meio de borrachas a fim de evitar o escorregamento dos blocos de solos e prevenir perdas durante as operações seguintes. Em seguida, os anéis complementares de 2,5 cm de altura foram encaixados na parte superior de cada cilindro, com a finalidade de manter uma lâmina d'água acima dos blocos, vedando-se bem o espaço entre os dois com uma fita adesiva "Scotch". As amostras foram, então, postas numa bacia plástica contendo água até $2/3$ da altura dos cilindros, os quais foram deixados em repouso por 36 horas para assegurar-se uma completa saturação. Findo este período, as amostras foram retiradas da bacia em intervalos de 15 em 15 minutos, e colocadas em funis providos de ressaltos internamente. Estes funis foram adaptados num suporte do permeâmetro, e embaixo de cada um deles colocados "beakers" de 600 ml com tampa de isopor para evitar a evaporação.

Para funcionamento do aparelho procedeu-se da seguinte maneira: antes de cada amostra ser colocada no permeâmetro, foram abertas as torneiras entre a fonte d'água e o filtro e entre este e a caixa de nível. Esta, por sua vez, tinha a finalidade de regular o fluxo d'água para o cilindro, de modo que o processo não sofresse solução de continuidade. O nível d'água foi mantido constante durante a determinação, através de sifões ajustados no interior dos cilindros complementares.

Começou-se a cronometragem do tempo tão logo a primeira amostra iniciou a percolar. Os volumes recolhidos pelos "beakers" foram lidos em intervalos de 30 em 30 minutos, com buretas, ao mesmo tempo em que foram tomadas as temperaturas e a altura da lâmina d'água, lida através de pequenas

escalas adaptadas na parte interna dos cilindros complementares.

A água utilizada foi a comum, filtrada durante o funcionamento do permeâmetro, para eliminação das impurezas antes de penetrar na "caixa de nível". Considerou-se constante o volume percolado "quando a variação entre os dois últimos volumes lidos foi de $\pm 5\%$. A condutividade hidráulica, em cm por hora, foi calculada pela fórmula (Zanker, 1972):

$$K = \frac{V \times L}{A \times \Delta h \times \Delta t'}$$

- onde K = condutividade hidráulica cm/h;
V = volume de água percolada no intervalo de tempo t, em cm³;
L = comprimento da coluna, em cm;
A = área de secção transversal do bloco;
 Δh = diferença de carga hidráulica, em cm; e
 $\Delta t'$ = intervalo de tempo, em hora.

O valor V para amostras em duplicata foi tomado como média das leituras, e o cálculo foi feito levando-se em consideração as dimensões dos cilindros, em virtude das variações apresentadas pelos mesmos.

A temperatura média durante o período das determinações foi de $23 \pm 1^{\circ}\text{C}$, e os valores de K foram corrigidos para a temperatura padrão de 20°C aplicando-se a fórmula (Pillisbury, 1950):

$$K = V\eta / i\pi S$$

onde V = cm³ por hora;

i = gradiente hidráulico;

ηS = viscosidade da água a 20°C em centipoise;

η = atual viscosidade da água em centipoise.

4.3 Porosidade Total, Microporosidade, Macroporosidade e Massa Específica Aparente

A microporosidade foi determinada em amostras indeformadas (volume médio correspondente à $146 \pm 1 \text{ cm}^3$), em duplicata, de acordo com a técnica convencional da "placa extratora de pressão", em cuja câmara adaptou-se um manômetro de mercúrio (fig. 10). A tensão aplicada para a determinação deste parâmetro foi de 0,06 atm, de acordo com Grohmann (1960b) e Oliveira (1961).

PROCEDIMENTO:

As amostras foram preparadas conforme procedimento para determinação da condutividade hidráulica, e colocadas sem anéis complementares para saturação, por um período de 48 horas apenas. Findo este período, foram retiradas e, após a drenagem do excesso d'água, colocadas em "vidro de relógio" e pesadas imediatamente. Em seguida, foram transferidas para a câmara de pressão num lote de 16, sendo 8 em cada placa porosa de cerâmica. Atingido o período de equilíbrio, em média de 6 ± 1 dia dependendo das amostras, estas foram retiradas, removidas as gases (tomou-se o cuidado de transferir para o vidro de relógio praticamente todas as partículas aderidas às gases) e borrachas, para depois serem colocadas sobre vidro de relógio. Os conjuntos foram pesados, bem como gases e borracha, separadamente. Finalmente as amostras e gases foram levadas para a estufa ($105^{\circ}\text{C} - 110^{\circ}\text{C}$) por 48 horas, procedendo-se, depois, nova pesagem.

Descontadas as taras relativas aos cilindros, gases, borrachas e vidro de relógio, foram obtidos os seguintes pesos dos blocos dos solos:

SISTEMA UTILIZADO PARA DETERMINAÇÃO DA MICROPOROSIDADE

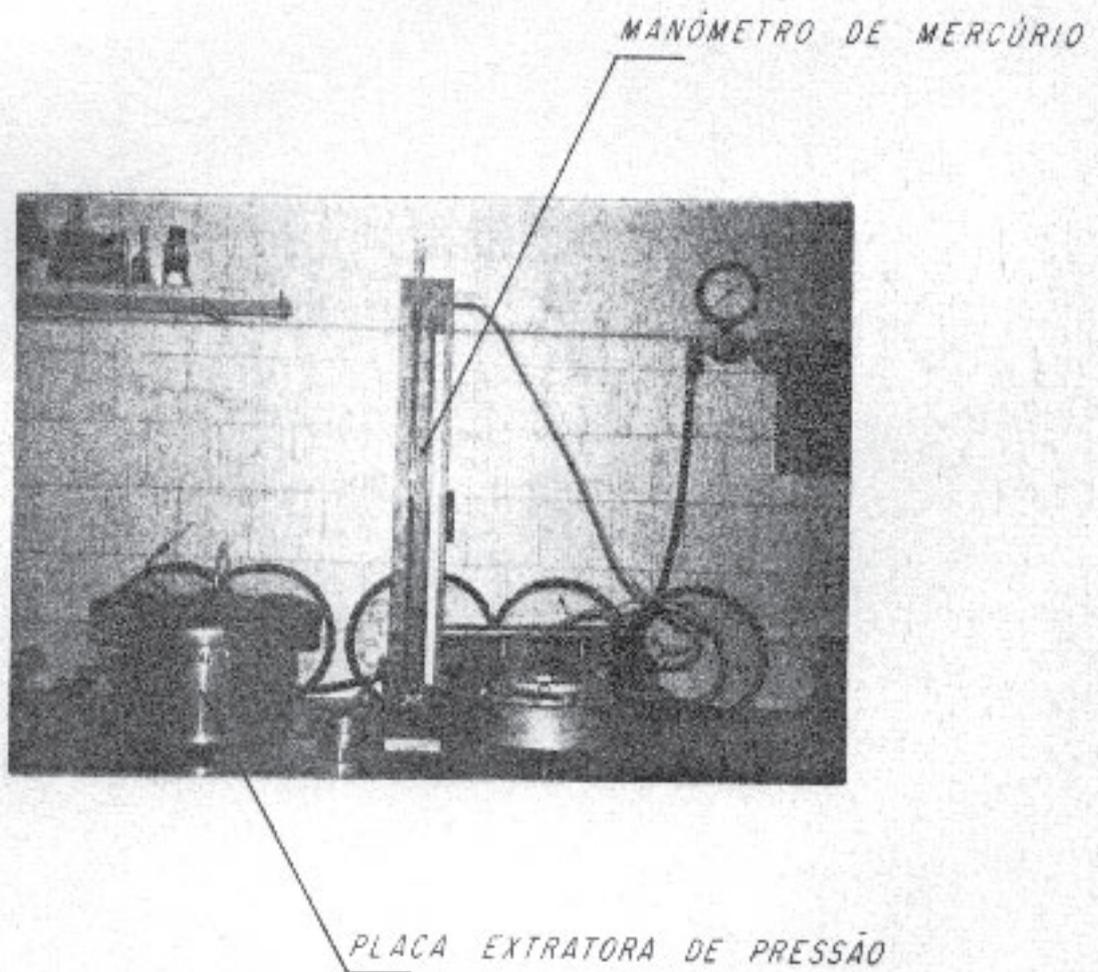


fig. 10

P_0 = peso do bloco de solo saturado;

P_1 = peso do bloco de solo em equilíbrio com a tensão de 0,6 atm; e

P_2 = peso do bloco de solo à 105°C;

os quais foram utilizados nos seguintes cálculos:

a) porosidade total (PT):

$$\% PT = (P_0 - P_2) \times D \times 100/P_2$$

b) microporosidade (MICR):

$$\% MICR = (P_1 - P_2) \times D \times 100/P_2$$

c) macroporosidade (MACR):

$$\% MACR = \% PT - \% Mi$$

d) massa específica aparente (M):

$$M = P_2/V$$

onde V e D nas fórmulas a, b e d significam, respectivamente, volume de cada anel e massa específica aparente.

4.4 Distribuição Percentual do Tamanho dos Agregados e sua Estabilidade

Esta distribuição foi feita por "peneiragem lenta em água". O desenvolvimento do processo segundo relata Low (1954) e Arena (1966), é originário da Escola Russa, método de Tiulin (1928), difundido nos Estados Unidos por Yoder (1936). No Brasil foi adaptado por Grohmann (1960a).

O peneiramento foi feito através de um agitador mecânico oscilante vertical, "Ferrum", 40 r.p.m. 1/10 H.P., 110 volts, 0,5 amps, com conjunto de tamises de 2, 1, 0,5, 0,25, 0,105 mm de abertura de malha.

PROCEDIMENTO:

Da massa do solo coletada parcialmente seca, em condições de campo, selecionou-se no laboratório subamostras de 25 g constituídas pelo material que passou na peneira de 6,35 mm e ficou retida na de 4 mm. Nesse material foram encontradas crotovinas (principalmente nos horizontes superficiais dos perfis), consistindo em "pedotuboles" de tamanhos macroscópicos, formados de material do solo, tendo uma forma externa tubular, apresentando-se como tubos individualizados à semelhança da formação micropedológica conceituada por Brewer (1976).

Como pré-tratamento, as amostras em duplicatas foram umedecidas lentamente por capilaridade, em "vidros de relógio", com auxílio de um "picete", sendo posteriormente cobertas com "placa de petri" e deixadas em repouso por 24 horas. Findo este período, transferiu-se as amostras para as peneiras superiores e agitou-se por 15 minutos.

O conjunto de tamises foi retirado cuidadosamente do aparelho, e as peneiras colocadas em vidro de relógio e levadas para estufa à 105°C - 110°C para a eliminação do excesso d'água. Depois, o material de cada tamis foi recolhido em latas de alumínio e levado novamente para a estufa por 24 horas, para secagem final.

Em seguida, o material foi repostado em seus tamises correspondentes, lavado em água corrente, e os agregados foram destorroados até serem obtidos apenas grãos individualizados. Estes, devidamente recolhidos nas latas, foram levados para a estufa para secagem e retirados para pesagem. Desta maneira obteve-se a distribuição do tamanho dos agregados e sua estabilidade em água de acordo com as várias classes e tamanho. Expressou-se os resultados em percentagem da amostra inicial, utilizando-se a fórmula seguinte:

$$\% \text{ agregados} = \frac{(B - A) - (C - A)}{(P_a - P_t)} \times 100$$

onde A = peso da lata;

B = peso da lata + agregados + grãos;

C = peso da lata + grãos;

P_a = peso da amostra; e

P_t = peso total de grãos.

Enfim, fez-se o cálculo do diâmetro médio ponderado conforme sugere Van Bavel (1949), Grohmann (1960a), Conaway & Strickling (1962) e Bryan (1971), usando-se a expressão:

$$D = \frac{\sum(\% \text{ por peso de agregados} \times \text{diâmetro médio})}{\sum(\% \text{ por peso de agregados})}$$

4.5 Superfície Específica dos Solos

Para estimar a superfície específica dos solos, adotou-se o "método gravimétrico" envolvendo a retenção do Eter Monoetílico do Etileno Glicol (EMEG), proposto por Heilman et alii (1965) e introduzido no Brasil por Grohmann (1972a). O equipamento utilizado é mostrado nas figuras 11 e 12.

PROCEDIMENTO:

De início as amostras foram secas ao ar e passadas em peneiras \times de 60 mesh (0,25mm). Cerca de 10g de cada amostra foram saturadas com CaCl₂ 1M e deixadas em repouso por uma noite, findo o que foram lavadas de 4 a 5 vezes com água destilada. Fez-se uma pré-secagem ao sol, em seguida as amostras foram repeneiradas, pesadas (0,5g de cada amostras) e colocadas em lotes de 8

SISTEMA UTILIZADO PARA DETERMINAÇÃO DA SUPERFÍCIE ESPECÍFICA DOS SOLOS

(Posição para se formar o vácuo)

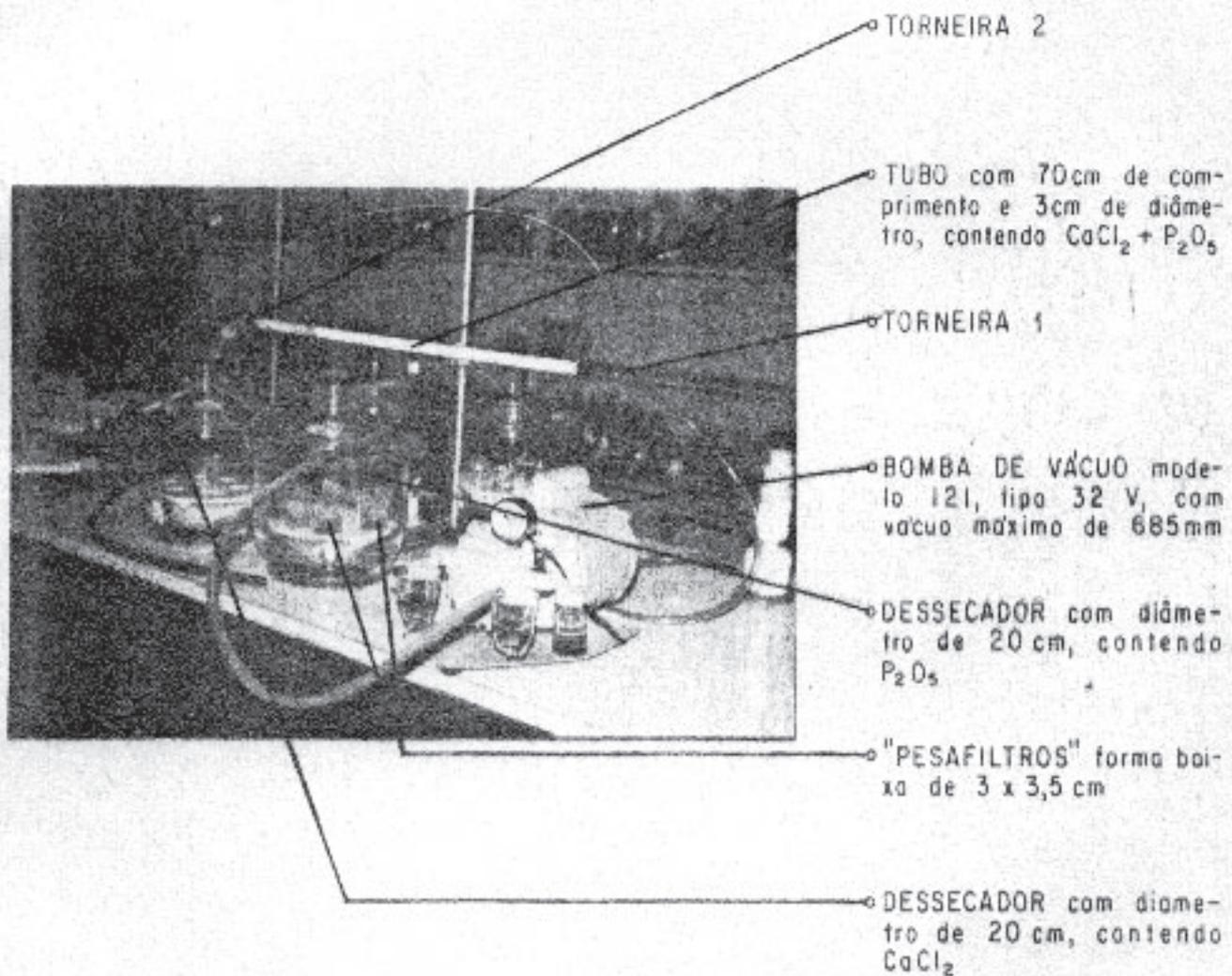


fig. 11

SISTEMA UTILIZADO PARA DETERMINAÇÃO DA
SUPERFÍCIE ESPECÍFICA DOS SOLOS

(Posição para se desfazer o vácuo)

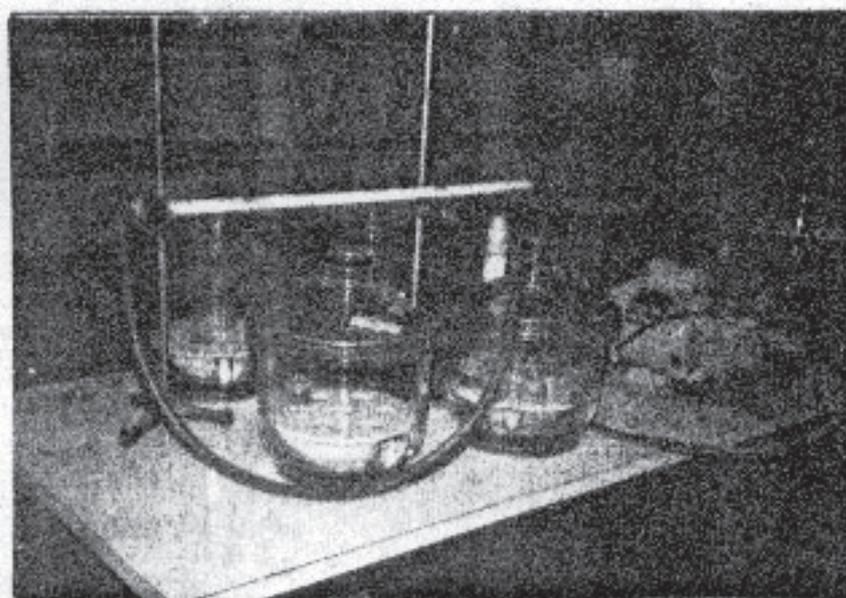


fig. 12

em pesafiltros de forma baixa, e submetidas a uma secagem final até o peso constante, em um dessecador contendo P_2O_5 no qual se fez o vácuo. Em seguida, as amostras foram transportadas para outro dessecador contendo $CaCl_2$, tendo-se acrescentado em cada uma delas 1 ml de EMEG. Neste ponto, deixou-se equilibrar por 1 hora, findo o que foi estabelecido um vácuo por meio de uma bomba, por 45 minutos. Para se estabelecer o vácuo, procedeu-se da seguinte maneira: o tubo da bomba foi conectado ao bico de passagem do dessecador (Fig. 11), a bomba foi ligada e em seguida a sua passagem foi aberta. Feito o vácuo, a passagem foi fechada e a bomba desligada. O vácuo foi mantido por um período de 8 horas aproximadamente, após o que foi desfeito ligando-se o tubo (conectado à coluna contendo $CaCl_2$ e P_2O_5) ao bico do dessecador para eliminar a umidade do ar succionado (Fig. 12). Abriu-se, em seguida, a torneira nº 01, depois a nº 02 e, finalmente, a passagem do dessecador. Atingida a pressão normal, o dessecador foi aberto e os pesafiltros rapidamente fechados para serem pesados. Nesta operação, tomou-se o cuidado de permanecer com o dessecador sempre fechado durante cada pesagem. Após a pesagem, recolocou-se as amostras no dessecador onde o vácuo foi restabelecido por mais de 45 minutos. Repetiu-se este procedimento até que foi atingida uma constância de peso.

Considerou-se, aqui, uma constância de peso "quando a diferença entre duas pesagens de uma mesma amostra não foi superior a 0,2 mg. Para os solos arenosos, o período de análise foi em média de 6 ± 2 dias; para argilosos, em média de 6 ± 1 dia. O vácuo atingido foi de, aproximadamente, 0,75 mm Hg.

A superfície específica (S) do solo, em metros quadrados por grama, foi calculada de acordo com a seguinte fórmula:

$$S \text{ m}^2/\text{g} = \frac{\text{g EMEG/g de solo}}{0,000286} = \text{EMEG/g} \times 3,4950.$$

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados das análises nas amostras dos solos, relativas aos perfis 1, 2, 3 e 4, estão sumariados nos quadros de nºs 1 e 4 e Apêndices de 10 a 12.

Esses resultados foram discutidos sob três tópicos: Curvas características de umidade, capacidade de água disponível e condutividade hidráulica vertical.

5.1 Curvas Características de Umidade

As curvas características de umidades foram construídas utilizando-se os dados constantes do quadro nº 1, representadas em termos de conteúdo de umidade (% volume) em função das tensões aplicadas (em atm), conforme as figuras de 13 a 20. Cada ponto de uma curva é representado pela média de duas determinações.

Para cada perfil, preparou-se 2 gráficos dos resultados sendo o primeiro para tensões de 0,06 a 1 atm, e o segundo para tensões de 0,06 a 15 atm, para uma melhor observação das tendências das curvas.

QUADRO 1

CONTEÚDO DE UMIDADE (% POR VOLUME) À VÁRIAS TENSÕES

PERFIL	HORI- ZONTE	PROFUN- DIDADE (cm)	TENSÕES (atm)												
			0,06	0,10	0,20	0,33	0,40	0,50	0,70	1	2	3	5	10	15
1	A	0-10	50,7	39,3	34,1	31,4	29,5	27,3	26,2	24,5	23,6	21,0	19,7	19,0	17,0
	A ^P	10-35	41,4	32,6	28,4	25,4	23,9	23,1	22,2	20,8	20,5	18,3	17,9	17,0	16,0
	B ³	35-70	38,1	29,8	25,7	23,1	22,1	21,7	21,3	20,1	20,0	18,3	17,6	17,3	15,7
	B ¹ B ²¹	70-150	38,1	26,2	23,9	22,0	20,9	19,9	19,4	18,1	17,5	16,4	15,9	15,6	14,2
2	A ¹	0-18	32,1	28,1	27,1	25,7	25,2	24,6	24,1	23,1	23,0	21,6	21,0	20,8	19,4
	A ³	18-30	38,8	33,0	29,5	28,3	27,3	26,8	25,7	25,5	25,4	23,9	23,9	23,8	22,2
	B ¹	30-60	37,4	31,0	29,4	27,2	26,7	26,4	26,1	24,2	23,8	23,7	22,8	22,4	21,5
	B ²¹	60-150	30,3	26,7	25,0	23,8	23,8	23,3	23,3	22,2	22,2	21,4	20,7	20,3	19,8
3	A ¹	0-18	52,4	22,5	18,1	15,7	15,2	13,9	13,8	12,9	12,4	11,3	10,8	10,2	9,3
	A ³	18-35	27,9	20,2	15,7	14,6	13,9	12,8	12,5	11,4	11,2	10,6	10,2	9,2	8,7
	B ¹	35-60	34,5	22,9	17,6	15,7	14,3	13,7	13,3	12,0	11,6	10,9	10,8	9,7	8,9
	B ²¹	60-105	35,5	26,0	18,7	17,2	15,2	14,9	14,8	14,0	12,6	11,9	11,4	11,0	9,7
	B ²² B ²³	105-135 135-175	34,2 35,2	25,0 26,3	18,0 18,9	16,6 17,6	14,8 16,5	14,8 15,5	14,3 14,4	13,5 14,0	12,1 13,0	12,0 12,7	11,4 12,7	10,7 11,8	9,0 10,2
4	A ¹	0-16	19,5	13,2	11,1	10,2	9,4	8,4	8,2	7,6	7,1	6,7	6,5	6,3	6,0
	A ³	16-30	21,4	15,8	13,3	11,8	11,0	10,9	10,9	10,5	10,0	9,6	9,4	8,4	8,3
	B ¹	30-60	23,5	17,8	14,5	12,4	11,5	11,1	10,9	10,4	10,4	10,0	9,8	9,5	8,6
	B ²¹	60-140	28,4	17,3	13,7	11,9	11,2	10,7	10,5	10,0	9,4	9,1	9,0	8,9	8,1
	B ²²	140-210	31,6	19,1	14,7	12,4	12,0	11,6	11,2	10,8	10,2	10,0	9,7	9,5	8,8

CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UMIDADE

PERFIL 1

(TENSÃO: de 0,06 a 1atm)

UMIDADE
(% por volume)

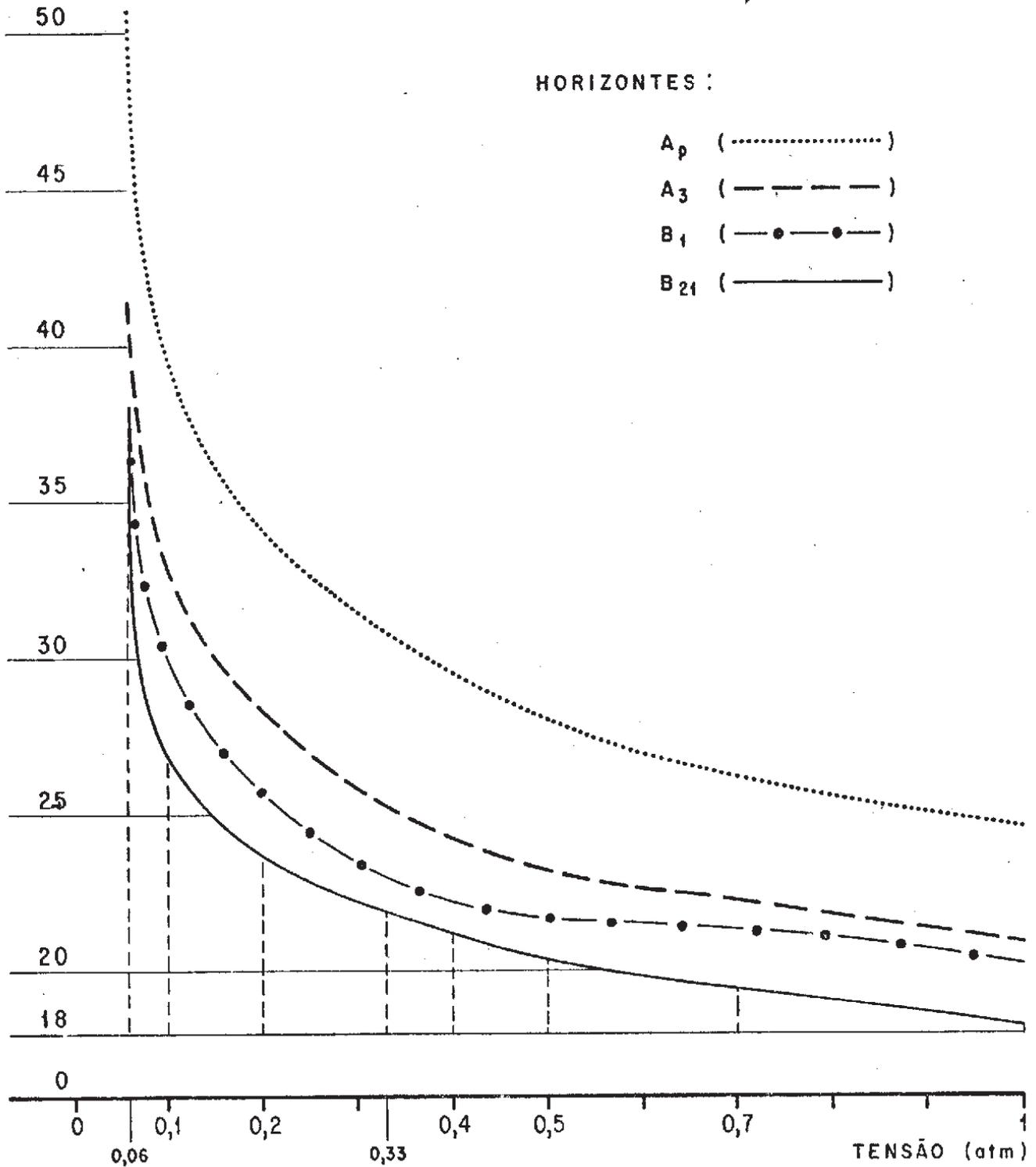


fig. 13

CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UMIDADE

UMIDADE
(% por volume)

PERFIL 1
(TENSÃO : de 1 a 15 atm)

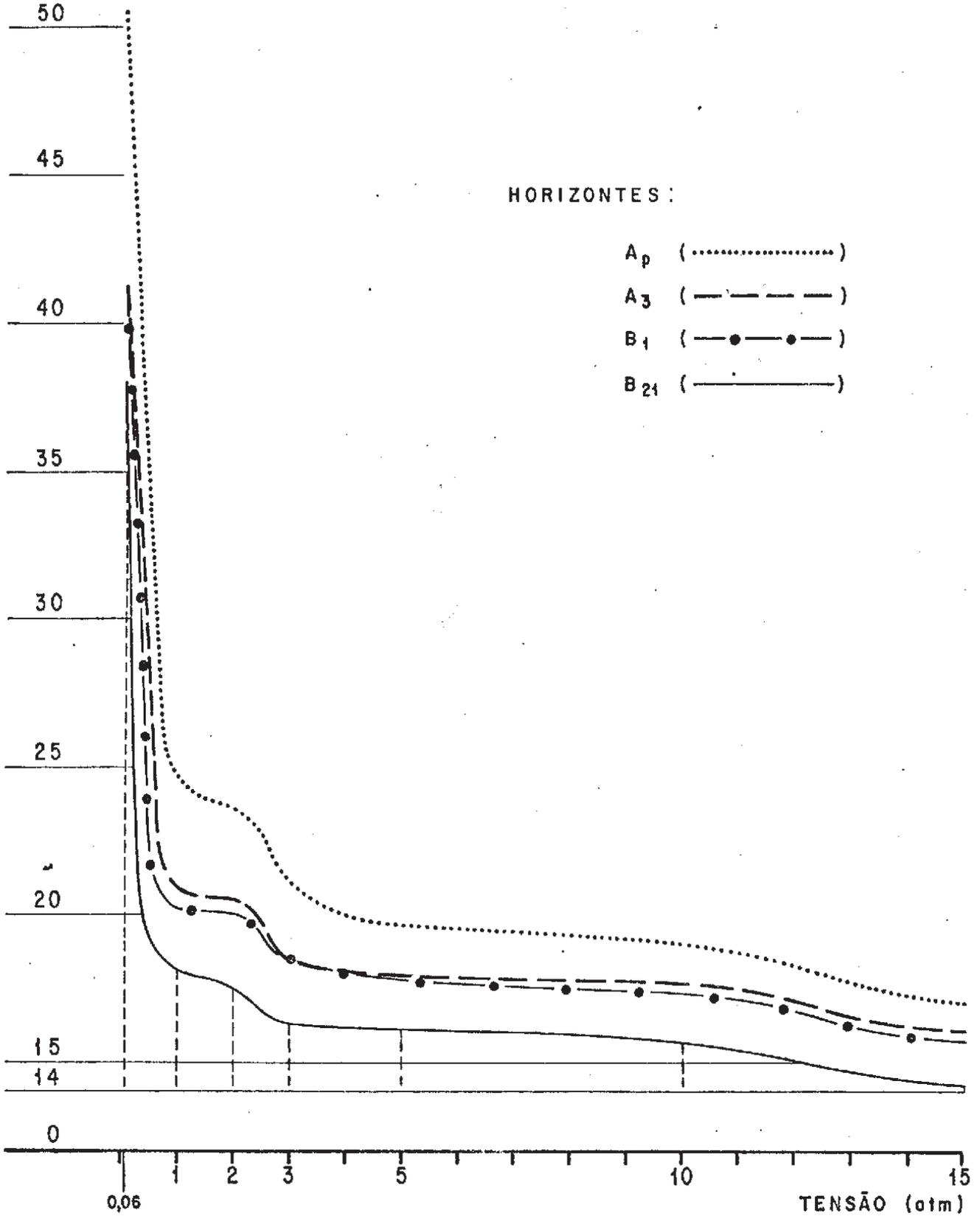


fig. 14

CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UMIDADE

PERFIL 2

(TENSÃO: de 0,06 a 1atm)

UMIDADE
(% por volume)

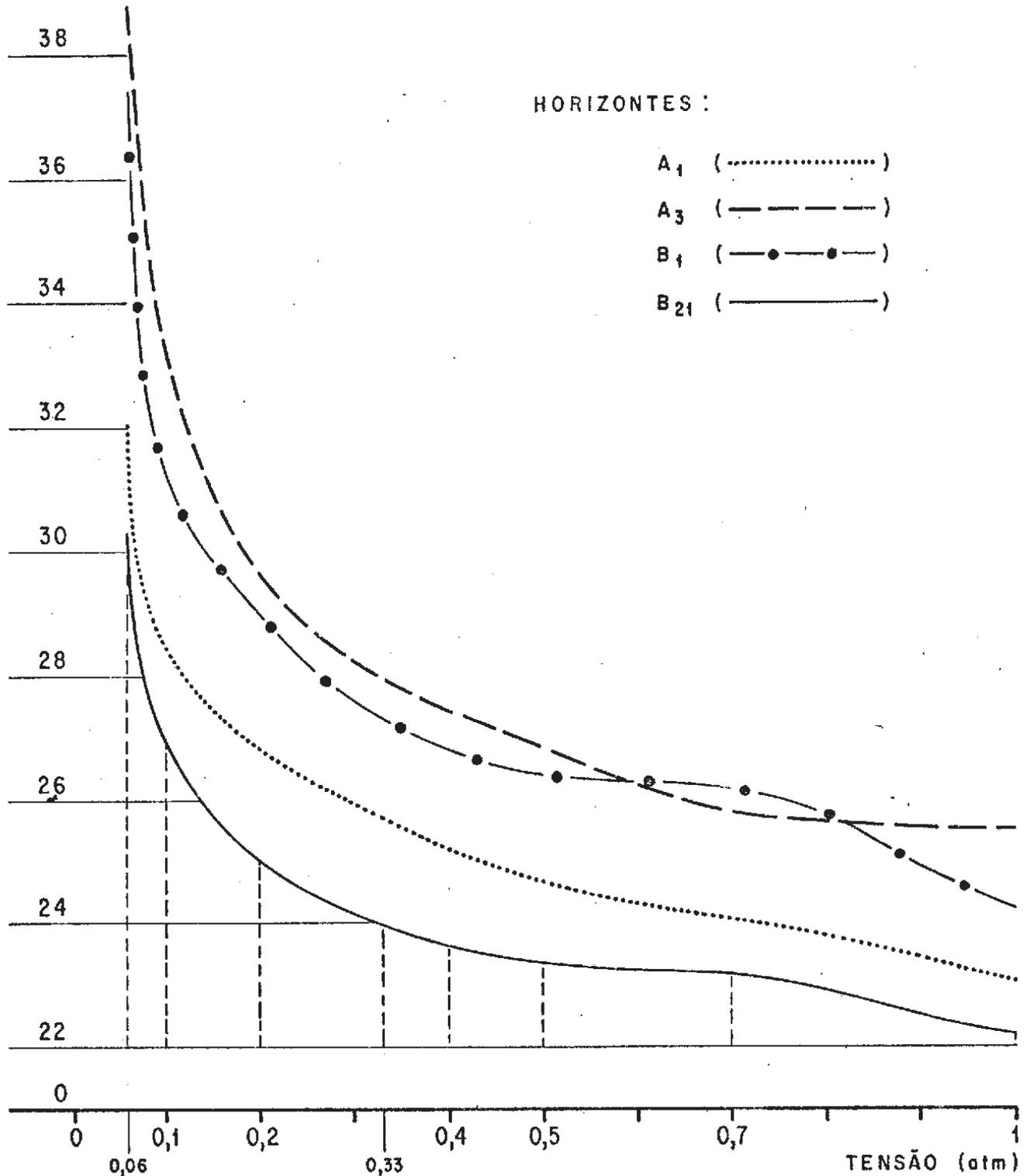


fig. 15

CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UMIDADE

PERFIL 2

(TENSÃO : de 1 a 15atm)

UMIDADE

(% por volume)

40

HORIZONTES :

A_p (.....)

A₃ (-----)

B₁ (—●—●—)

B₂₁ (————)

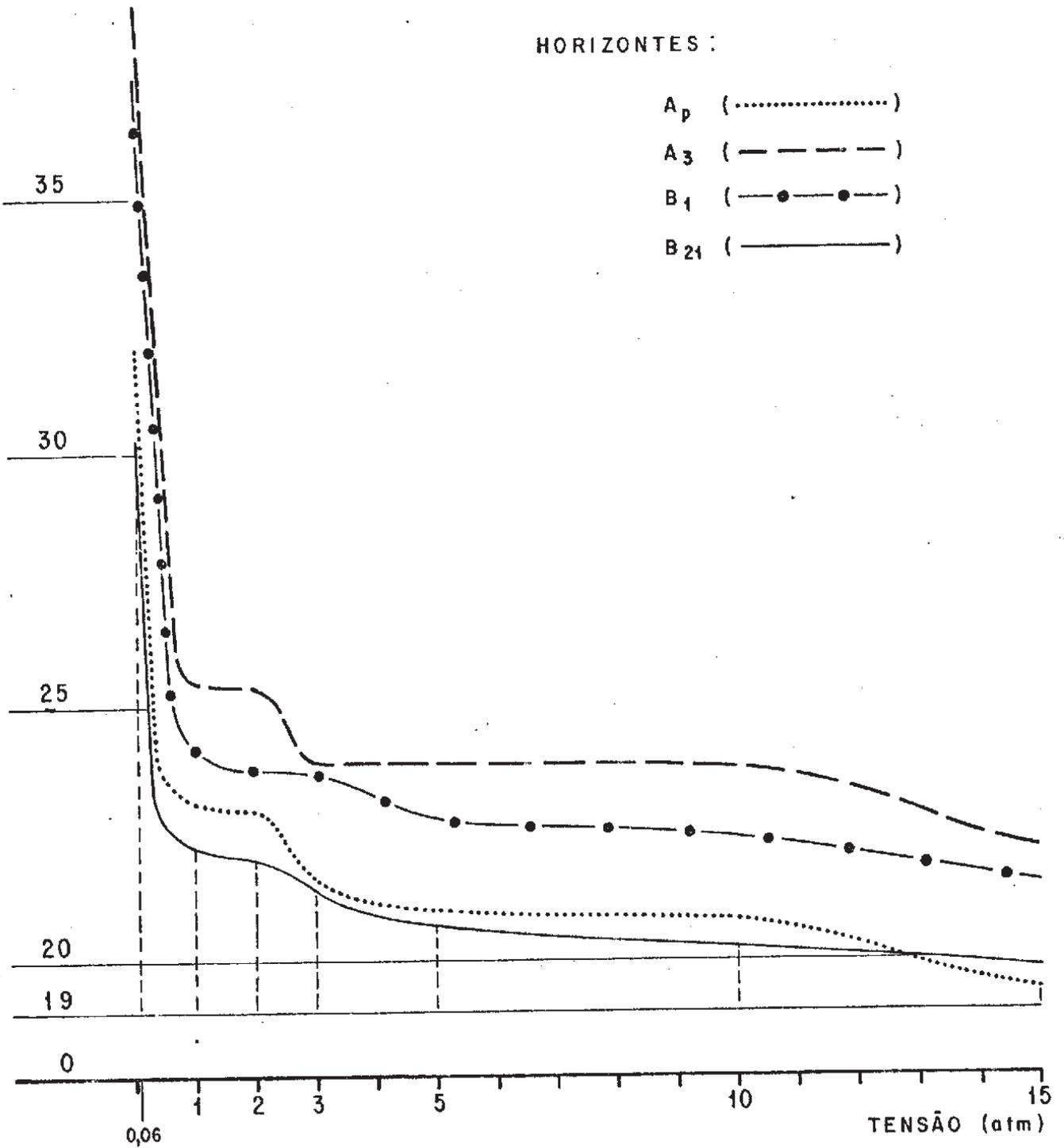


fig. 16

CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UMIDADE.

PERFIL 3

(TENSÃO: de 0,06 a 1atm)

UMIDADE
(% por volume)

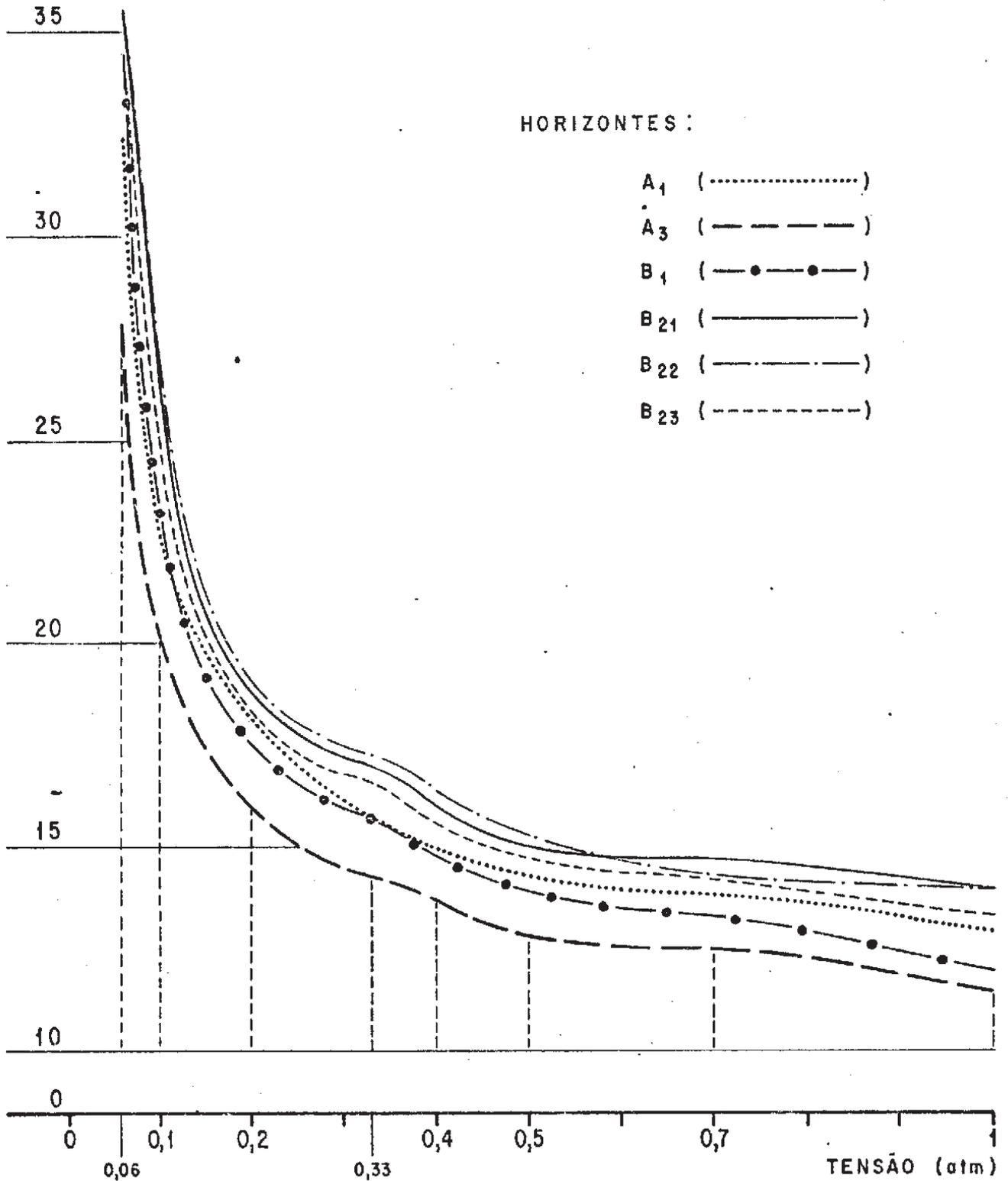


fig. 17

CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UMIDADE

UMIDADE
(% por volume)

PERFIL 3
(TENSÃO : de 1 a 15 atm)

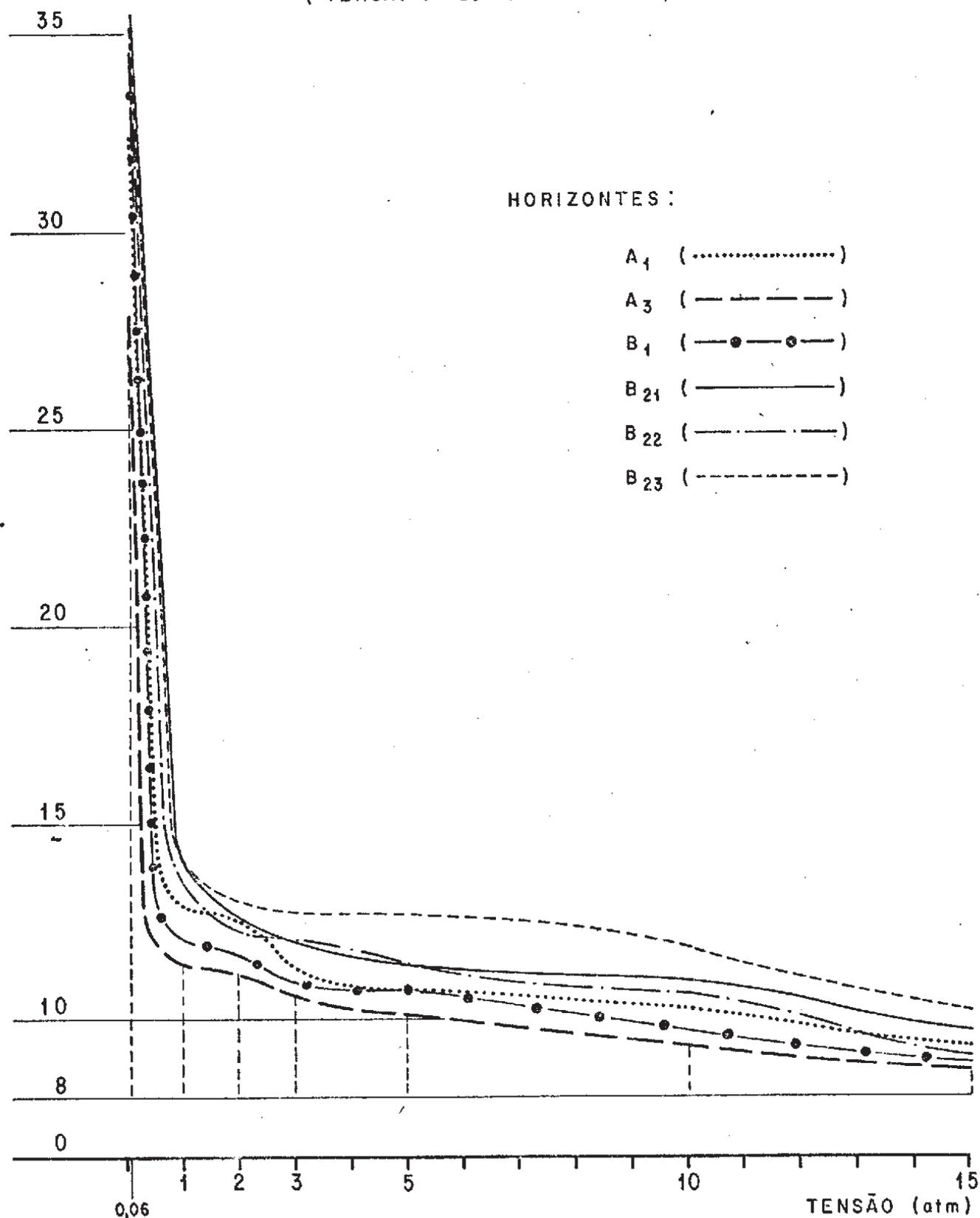


fig. 18

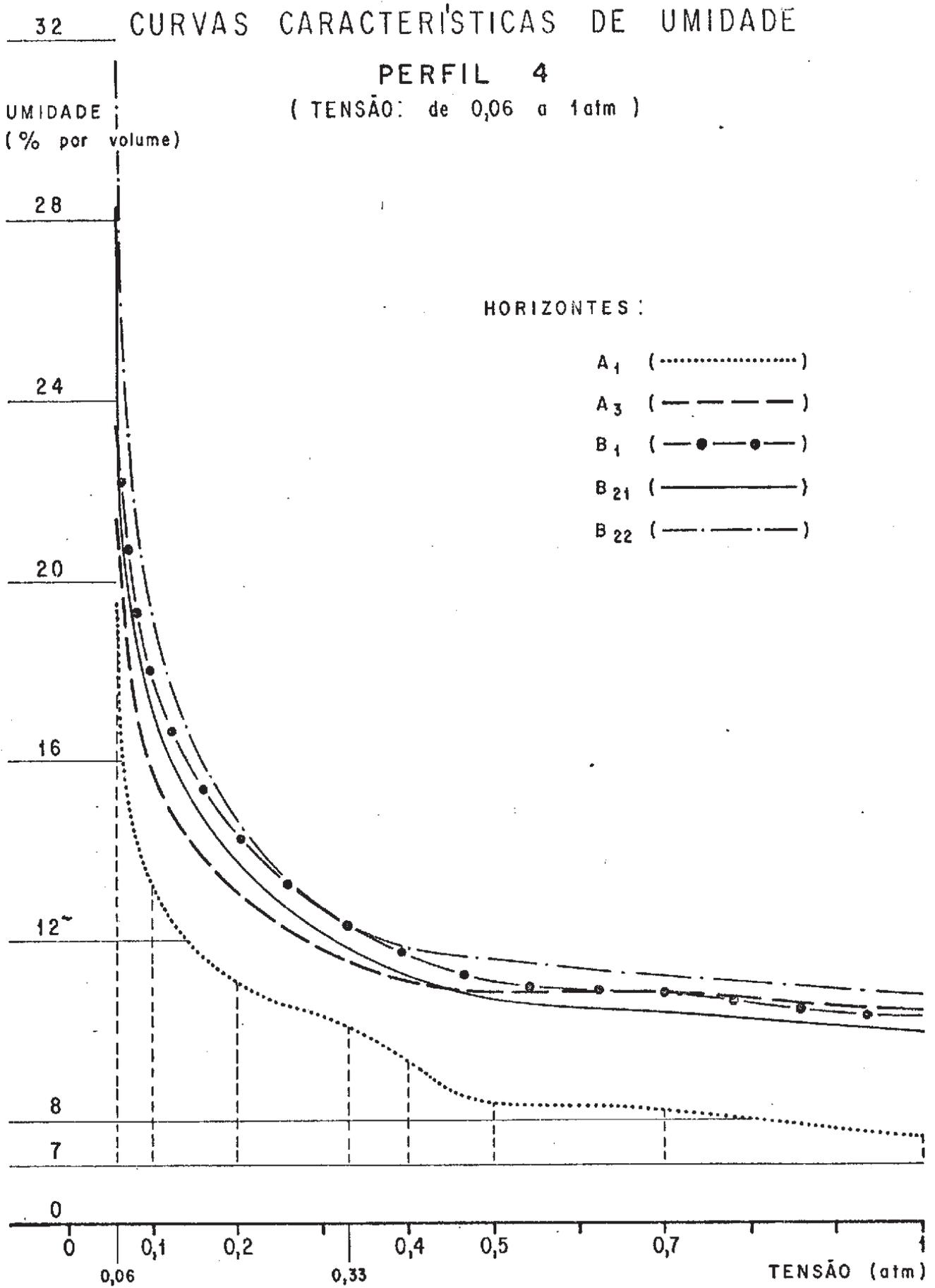


fig. 19

31 CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UMIDADE

UMIDADE
(% por volume)

PERFIL 4
(TENSÃO : de 1 a 15 atm)

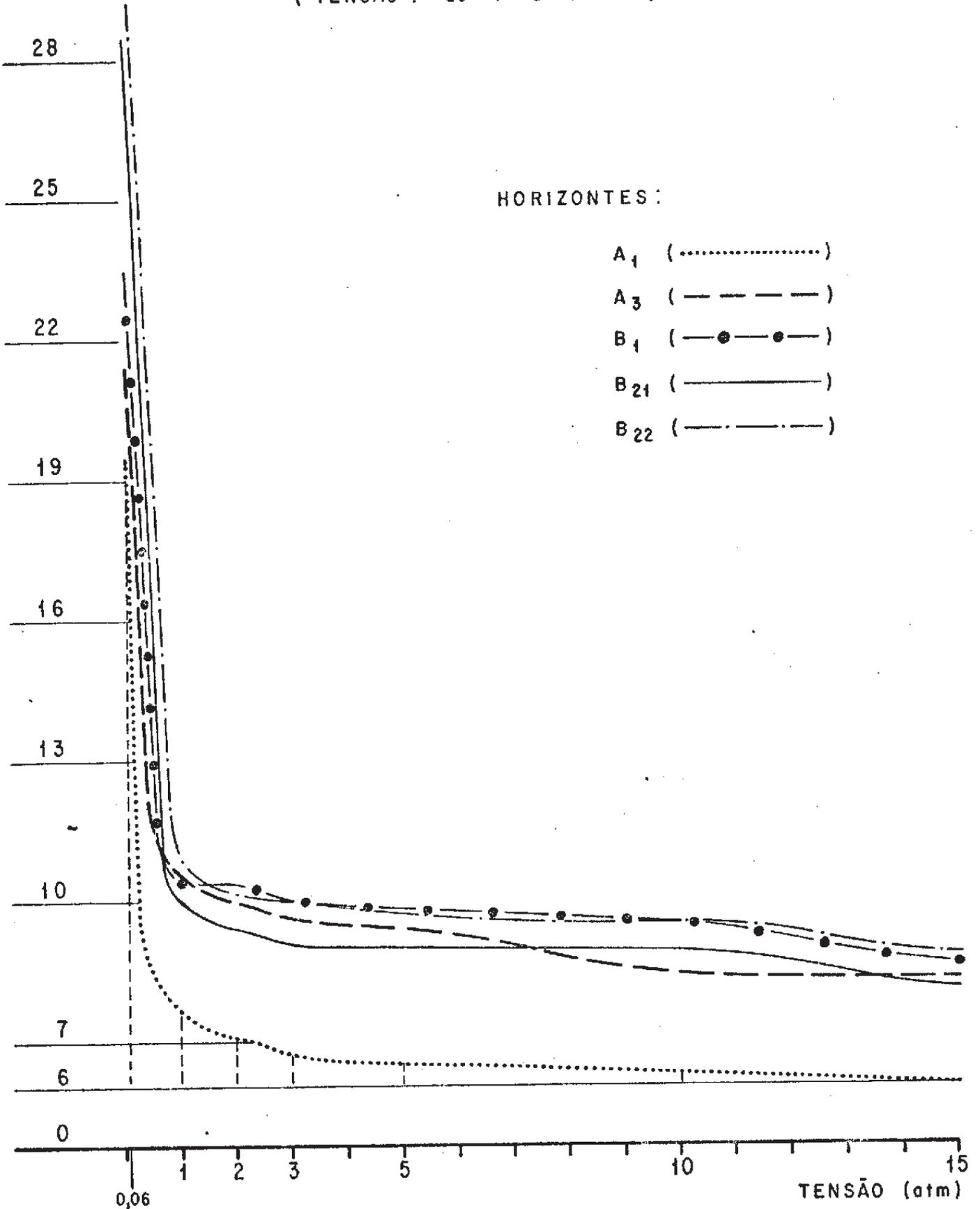


fig. 20

As variações que essas curvas apresentam, revelam a influência simultânea de diversas características no poder de retenção de umidade dos horizontes do solo.

Comparando-se as curvas nas tensões de 0,06 a 1 atm, nota-se que, de um modo geral, apresentam a mesma tendência com algumas variações. Observa-se que na faixa de tensões entre 0,06 a 0,2 atm, tais curvas, relativas aos solos de textura média, perfis 3 e 4 (figs. 17 e 19), caem bruscamente, o mesmo ocorrendo, com maior intensidade, com referência às curvas dos solos de textura argilosa, perfis 1 e 2 (figs. 13 e 15). Semelhantes observações foram feitas por Wolf & Drosdoff (1974) partindo das condições de saturação (zero bar) a 0,06 bar com latossolos arenosos e argilosos de Porto Rico. As inclinações bruscas destas curvas evidenciam o envolvimento dominante de grandes poros, na retenção de água a baixas tensões, os quais são mais proeminentes nas partes mais elevadas das curvas de retenção de umidade dos perfis 3 e 4. Do exposto, observa-se, para os perfis estudados, que a água contida nos poros é removida a tensões relativamente baixas, principalmente nos perfis 3 e 4. O comportamento dos solos de textura argilosa de maneira semelhante aos de textura média, pode ser atribuído à presença de macroporos existentes entre as unidades estruturais com elevados índices de agregação (Apêndices 9 e 10).

Acima de 0,2 atm já se observa a diminuição gradativa dos teores de umidade com o aumento das tensões aplicadas. Isto sugere ser um efeito dos poros capilares (microporos entre as partículas) sobre os macroporos (entre os agregados) e, em tensões mais elevadas onde a umidade é absorvida mais fortemente, esta retenção é provavelmente mais influenciada pela textura e superfície específica que propriamente pela estrutura. Observações a este respeito foram feitas por vários autores como Hillel (1971), Wolf

(1975), Uehara & Keng (1975) e Sharma & Uehara (1968a), que estudaram as curvas características em amostras (< 2 mm) e agregados de dois latossolos de composições idênticas, com estabilidade de agregados de 95 e 78%. Estes autores comprovaram que, tanto a estabilidade como o tamanho dos agregados influenciaram as formas das curvas até 0,1 atm, onde toda a água existente entre os agregados foi removida e que, acima desta tensão, as variações do conteúdo d'água foram atribuídas aos microporos dentro dos agregados, sendo que os maiores valores de retenção foram encontrados para o latossolo de maior estabilidade.

De uma maneira geral, as curvas mostram que os solos de textura argilosa possuem maiores disponibilidades de água a tensões abaixo de 5 atm, enquanto que nos de textura média este fenômeno pode ser verificado a tensões abaixo de 3 atm. Deste modo, nota-se que nas 4 variedades dos solos estudados, as disponibilidades de água para as plantas nas tensões superiores a 3 e 5 atm, são muito baixas, pois foi mínima as variações dos teores de umidade sob tensões superiores àquelas; os solos argilosos com superfícies variando de 67,4 a 98,4 m^2/g solo (Apêndice 11), retêm maiores teores de umidade que os de textura média com superfícies específicas variando de 29,6 a 48,5 m^2/g . Note-se que o perfil 4 é o que apresenta menor poder de retenção de umidade.

5.2 Capacidade de Água Disponível

A capacidade de água disponível para os quatro perfis dos solos foi calculada em mm de água para as profundidades de 30 a 60 cm, as quais constituem a zona do sistema radicular da maioria das culturas (Wolf, 1975). Usou-se várias tensões, as quais correspondem aos limites convencionais da

capacidade de campo (0,33 atm) e ponto de murchamento (15 atm), como também aos limites compreendidos entre 0,33 e 1 atm.

Os resultados estão sumariados no quadro nº 2 e também representados na figura 21 para uma melhor comparação.

QUADRO Nº 2

Capacidade de água disponível (mm) nos solos

PROFUNDIDADES (cm)	LIMITES (atm)	PERFIS			
		1	2	3	4
30	0,33 - 1	18,4	8,0	9,0	6,0
	0,33 - 15	37,9	18,7	19,1	11,6
60	0,33 - 1	25,9	17,4	20,0	12,0
	0,33 - 15	56,4	35,8	39,5	23,0

Observando o quadro nº 2 e a figura 21, verifica-se que os 4 perfis, possuem entre os limites de 0,33 - 1 atm, cerca da metade de água disponível em relação aos limites convencionais de 0,33 e 15 atm. Nota-se também que o perfil 1 tem maiores disponibilidades de água a 30 e a 60 cm de profundidade que os perfis 2 e 3, sendo que naquela primeira situação apresenta aproximadamente 2 vezes mais água disponível que os perfis 2 e 3, e três vezes mais que o perfil 4. Por sua vez, os perfis 2 e 3 apresentam maiores disponibilidades que o perfil 4.

O maior suprimento de água dos perfis 1 e 2, argilosos, (com superfícies específicas variando de 67,4 a 98,4 m²/g/solo), respectivamente em relação aos perfis 3 e 4, textura média (com superfícies específicas variando de 29,6 a 48,5 m²/g/solo), revela que aqueles possuem um elevado teor

CAPACIDADE DE ÁGUA (mm) DISPONÍVEL NOS SOLOS

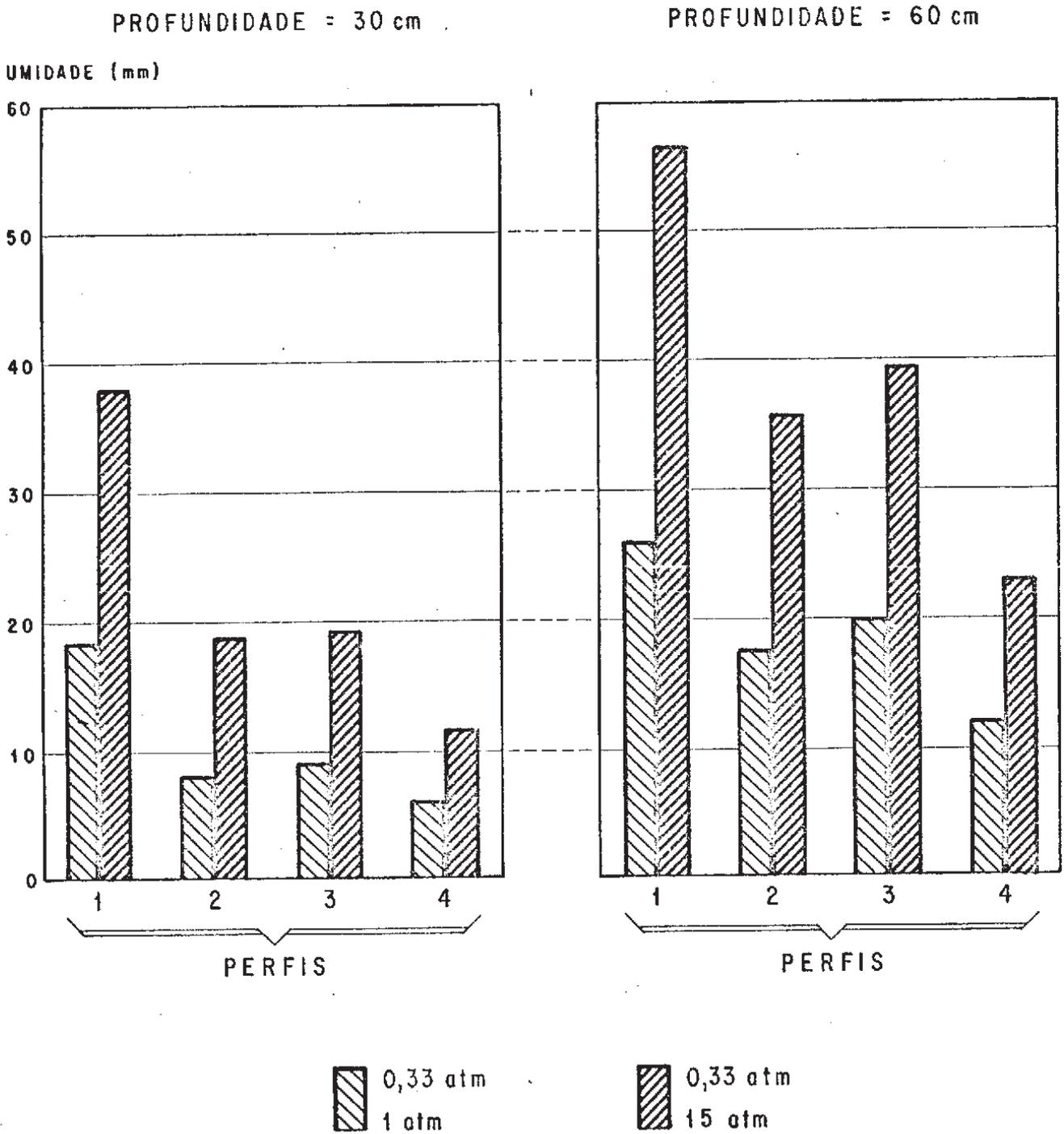


fig. 21

de umidade fracamente retido. Tal fato pode ser atribuído, conforme observações anteriores, às características da estrutura (Apêndices 1, 3, 5 e 7), e agregados estruturalmente estáveis (Apêndices 9 e 10). Salter & Williams (1965b) observaram que a estrutura é um dos mais importantes fatores modificadores da água disponível e que, em geral, ela provoca um maior efeito sobre a quantidade d'água retida a baixas tensões do que a altas tensões. Explicam que este fenômeno é decorrente da presença de grandes poros, os quais são mais afetados pela mudança da estrutura que os poros capilares. Observações a este respeito também foram feitas na discussão anterior.

Levando-se em consideração as condições de máxima demanda de evapo-transpiração, 6mm/dia, mencionada por Wolf (1975) como base para as áreas onde se localizam os perfis 1, 2, 3 e 4, as reservas de água em 30 cm de profundidade até 15 atm se esgotariam provavelmente em 6, 3, 3 e 2 dias, respectivamente. E na profundidade de 60 cm na mesma tensão, poderia haver aproximadamente mais 2 dias de reservas, as quais representariam muito para as culturas capazes de explorar aquela profundidade. Esse autor, usando tensões de 0,1 a 15 bar, verificou que os latossolos de textura argilosa e arenosa de Brasília (DF), apresentaram reserva d'água disponível de 27 a 44 mm de umidade por 34 cm de solo; que, na ausência de chuvas, o crescimento das raízes nesta profundidade esgotou toda a água de reserva disponível no latossolo argiloso para tensões maiores que 1 bar, em menos de 4 dias.

Enfim, observa-se que entre os limites convencionais de ponto de murchamento (15 atm) e capacidade de campo (0,33 atm), estes solos apresentam, de uma maneira geral, menos de 10 mm de água disponível por cada 10 cm de solo, confirmando a observação de Van Wambeke (1975) de que, "geralmente é aceito que os oxissolos não podem guardar mais que 10 mm de água disponível por 10 cm de solo".

Como informações adicionais, preparou-se o quadro 3, mais completo sobre a capacidade d'água disponível, tomando-se como base do limite superior, 0,06 atm. Por esse quadro, nota-se que a capacidade de água disponível desses solos, em relação aos limites convencionais, aumentou consideravelmente confirmando desta maneira as observações de Salter & Williams (1965b), citadas acima.

Verifica-se, para todas as profundidades, que cerca de 3/4 de umidade é disponível abaixo de 1 atm, e que há uma maior remoção de umidade entre as tensões de 0,06 a 0,2 atm e entre 0,2 a 1 atm.

Na profundidade de 30 cm verifica-se que o perfil 1 se destaca dos demais por possuir um maior reservatório d'água disponível, apresentando, portanto, uma capacidade elevada de reter umidade com baixa energia. Na profundidade de 60 cm, o perfil 1 de 0,10 a 2 atm apresenta uma capacidade de água disponível menor que o perfil 3. Nas demais tensões, e em todas as profundidades, apresenta uma equivalência de suprimento d'água com relação àquele perfil.

O perfil 2 possui uma menor capacidade de suprimento d'água que os perfis 3 e 4 em todas as profundidades, sendo que na de 30 a 60 cm é 2 vezes menor em relação ao perfil 3, e em relação ao 4 os valores são aproximadamente iguais.

Considerando-se a profundidade de 30 cm, os perfis 1, 2, 3 e 4 passam a ter, respectivamente, 2, 1, 1 e 3 dias adicionais de água disponível, quando é atingido 1 atm em condições de alta demanda de evapotranspiração (6 mm/dia), comparativamente aos dados do quadro nº 2.

Do exposto, observa-se que a capacidade de retenção dos solos argilosos aumenta com a profundidade, e que entre os perfis examinados, os de

QUADRO Nº 3

CAPACIDADE DE ÁGUA DISPONÍVEL (mm) NOS SOLOS.

Profundidades (cm)	Limites (atm)	P E R F I S				
		1	2	3	4	
30	0,06 - 0,10	29,0	14,2	29,1	17,9	
	0,06 - 0,20	42,6	20,2	42,7	24,8	
	0,06 - 0,33	51,3	24,1	48,8	28,3	
	0,06 - 0,40	56,2	26,2	50,9	30,7	
	0,06 - 0,50	60,0	27,9	54,3	32,5	
	0,06 - 0,70	62,9	30,1	54,9	32,8	
	0,06 - 1,00	67,4	32,2	57,9	34,3	
	0,06 - 2,00	68,9	32,5	59,1	35,8	
	0,06 - 3,00	75,9	36,8	61,9	37,0	
	0,06 - 5,00	78,0	37,9	63,1	37,6	
	0,06 - 10,00	80,5	38,3	65,5	39,3	
	0,06 - 15,00	84,5	43,0	67,8	39,9	
	60	0,06 - 0,10	54,2	33,4	63,8	35,0
		0,06 - 0,20	80,1	44,2	93,4	51,8
0,06 - 0,33		86,8	54,7	105,2	61,6	
0,06 - 0,40		105,0	58,3	111,5	66,7	
0,06 - 0,50		110,2	60,9	116,7	69,7	
0,06 - 0,70		114,5	64,0	118,5	70,6	
0,06 - 1,00		122,7	71,8	125,0	73,6	
0,06 - 2,00		124,6	73,3	127,8	75,1	
0,06 - 3,00		137,0	77,9	133,7	77,5	
0,06 - 5,00		141,0	81,7	134,2	78,7	
0,06 - 10,00		144,7	83,3	139,9	81,3	
0,06 - 15,00		153,2	90,5	144,6	84,6	
90		0,06 - 0,10	86,3	44,2	92,3	68,3
		0,06 - 0,20	120,9	60,1	143,8	95,9
	0,06 - 0,33	144,0	74,2	160,1	111,1	
	0,06 - 0,40	155,4	77,8	172,4	118,3	
	0,06 - 0,50	163,0	81,9	178,5	122,1	
	0,06 - 0,70	168,7	85,0	180,6	124,3	
	0,06 - 1,00	180,7	96,1	189,9	128,8	
	0,06 - 2,00	183,9	97,9	196,5	132,1	
	0,06 - 3,00	200,2	104,6	203,5	135,4	
	0,06 - 5,00	205,9	110,5	206,5	136,9	
	0,06 - 10,00	210,5	113,3	213,4	139,8	
	0,06 - 15,00	223,4	122,0	222,0	145,5	
	120	0,06 - 0,10	122,0	55,0	120,4	101,6
		0,06 - 0,20	163,5	76,0	193,3	140,0
0,06 - 0,33		192,3	93,7	213,9	160,6	
0,06 - 0,40		207,0	97,3	231,9	169,9	
0,06 - 0,50		217,6	102,9	230,5	175,9	
0,06 - 0,70		224,8	106,0	241,5	178,0	
0,06 - 1,00		240,7	120,4	253,2	184,0	
0,06 - 2,00		245,7	122,5	264,0	189,1	
0,06 - 3,00		265,3	131,3	272,2	193,3	
0,06 - 5,00		272,5	139,3	276,9	195,1	
0,06 - 10,00		278,0	143,3	285,4	198,3	
0,06 - 15,00		295,1	153,5	298,5	206,4	
150		0,06 - 0,10	157,7	65,8	147,5	136,3
		0,06 - 0,20	206,1	91,9	242,1	186,3
	0,06 - 0,33	240,6	113,2	266,7	212,8	
	0,06 - 0,40	258,6	116,8	289,1	223,9	
	0,06 - 0,50	272,2	123,9	297,1	231,3	
	0,06 - 0,70	280,9	127,0	302,5	234,2	
	0,06 - 1,00	300,7	144,7	316,1	241,6	
	0,06 - 2,00	307,5	147,1	330,3	248,5	
	0,06 - 3,00	330,4	158,0	339,2	253,5	
	0,06 - 5,00	339,1	168,1	344,8	255,8	
	0,06 - 10,00	345,5	173,3	355,7	259,4	
	0,06 - 15,00	366,8	185,0	373,8	269,8	

números 1 e 3 constituem melhores reservatórios para suprimento d'água às plantas.

5.3 Condutividade Hidráulica Vertical

Os valores da condutividade hidráulica vertical (K), cm/h, representando a média de duas repetições, estão contidos no quadro nº 4. Entretanto, estes valores podem ser melhor comparados através dos 4 gráficos da figura 22, onde se procurou mostrar a variação da condutividade hidráulica em função das profundidades dos solos para os perfis estudados.

Segundo as classes de condutividade para os solos saturados com água, estabelecidas por O'Neal (1952), e com base nos comentários de Smith & Browning (1946) relacionando estas classes às condições de retenção de umidade e aeração, concluiu-se que de uma maneira geral, para todas as profundidades estudadas, os valores de K dos perfis são considerados elevados e a classe muito rápida. Constituem exceções os horizontes A_p do perfil 1 B_{22} e B_{23} do perfil 3, que estão na classe rápida. Por outro lado, Corsini (1974) também encontrou classe idêntica de condutividade hidráulica variando entre 20 a 90 cm/h para solos das séries "Sta. Teresa" (Typic Haplustox) e "Jaboticabal" (Typic Eutrotox), com características muito semelhantes às estudadas no presente trabalho.

O comportamento semelhante da permeabilidade dos solos de textura argilosa (perfis 1 e 2) em relação aos de textura média (perfis 3 e 4), provavelmente poderá ser justificado pelo tipo de estrutura que possuem, isto é, tipicamente granular (Apêndices 1, 3, 5 e 7), elevados índices de agregação (Apêndices 9 e 10), porosidade total mais elevada e macroporosidade bastante aproximada à dos solos arenosos (Apêndice 12). Semelhantes observações foram feitas por Wolf (1975), nos latossolos de Brasília (DF), e por Wolf & Drosdoff (1974) com os oxissolos (latossolos) de Porto Rico.

QUADRO 4
 CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA VERTICAL
 (VALORES CORRIGIDOS PARA 20^o C)

PERFIL	HORIZONTE	PROFUNDIDADE cm	DURAÇÃO MÉDIA h	K cm/h
1	A _p	0-10	8,00	16,0
	A ₃	10-35	8,30	19,0
	B ₁	35-70	8,30	30,6
	B ₂₁	70-150	8,25	25,0
2	A ₁	0-18	8,00	37,6
	A ₃	18-30	8,00	20,2
	B ₁	30-60	5,30	39,0
	B ₂₁	60-150	5,30	28,7
3	A ₁	0-18	7,30	31,4
	A ₃	18-35	7,25	21,3
	B ₁	35-60	7,30	15,1
	B ₂₁	60-105	5,30	20,2
	B ₂₂	105-135	5,30	16,2
4	B ₂₃	135-175	5,30	16,0
	A ₁	0-16	7,30	44,9
	A ₃	16-30	6,50	40,9
	B ₁	30-60	6,50	33,1
	B ₂₁	60-140	5,50	62,7
	B ₂₂	140-210	5,50	24,8

VARIAÇÕES DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA VERTICAL (VALORES CORRIGIDOS PARA 20°C)

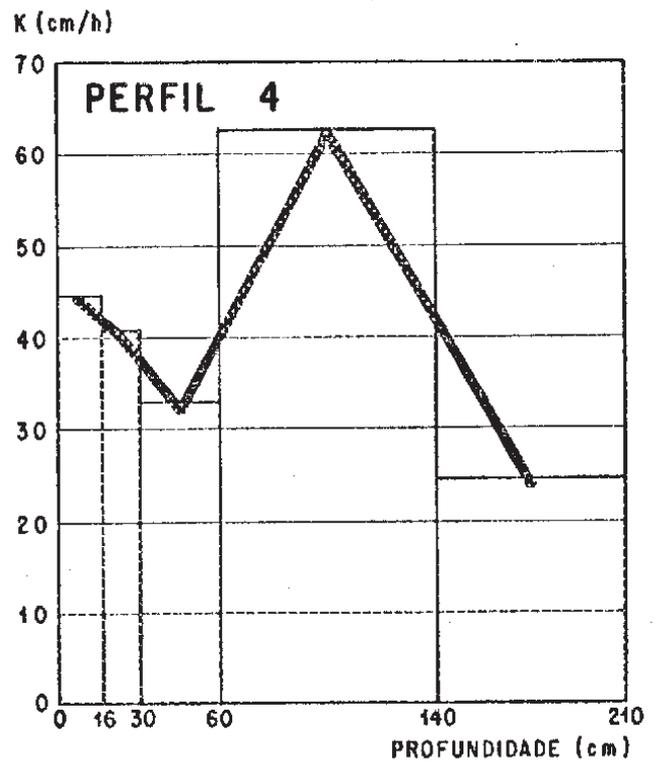
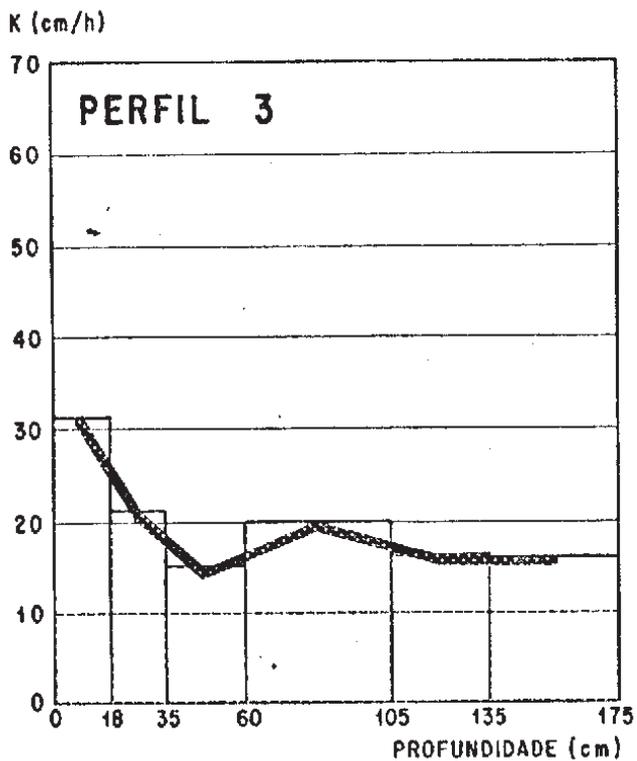
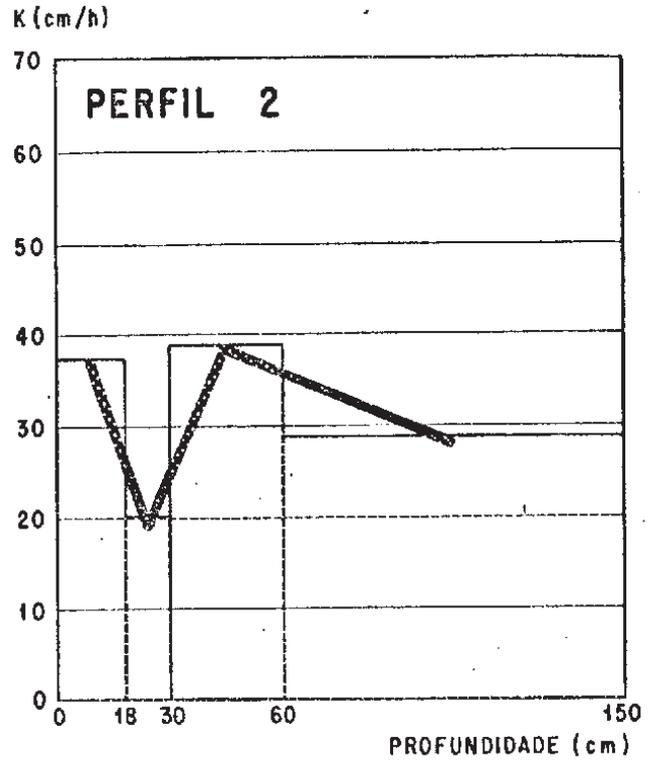
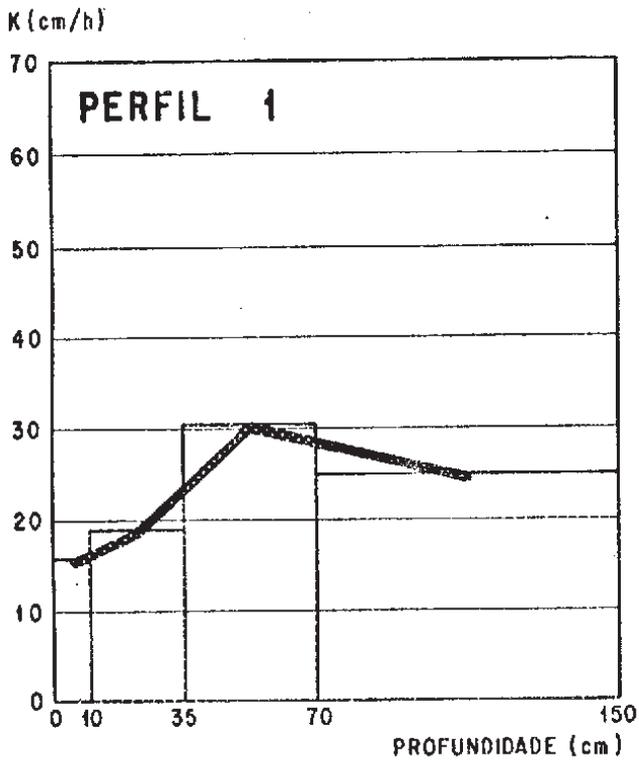


fig. 22

Comparando-se os gráficos da figura 22 (ver quadro 4), verifica-se que o perfil 2 apresenta, de um modo geral, condutividade superior ao perfil 1. Estes valores podem estar associados aos seus índices de agregação e porosidade total mais elevados. O efeito da estabilidade dos agregados na permeabilidade de solos argilosos, fortemente estruturados, foi comprovado por Sharma & Uehara (1968b), estudando dois latossolos do Havai (com composições idênticas) de diferentes índices de agregação (77,8% e 95%). Tais autores verificaram que o latossolo de maior estabilidade apresentou uma maior condutividade hidráulica, e que o maior movimento d'água ocorreu entre as superfícies dos agregados estruturalmente estáveis (macroporos entre os agregados).

Os valores de K do perfil 1 aumentam em função do aumento da porosidade total e da macroporosidade em relação à profundidades, para depois decrescer no horizonte B₂₂. Provavelmente este menor valor possa ser explicado pela menor estabilidade estrutural associada à eluviação de partículas mais finas (nas experimentais condições de laboratório), fenômeno este também observado por Leyton & Yadav (1960). Outro aspecto interessante é a menor condutividade apresentada no horizonte A_p, a qual revela realmente a modificação que a estrutura deste horizonte sofreu. Isto vem provar ser a condutividade hidráulica um índice bastante sensível para revelar diferenças estruturais entre os horizontes que constituem o perfil do solo, como também observaram Dakshinamurii & Pradham (1968), citado por Corsini (1974). Dentro do perfil, este horizonte tem, portanto, um maior poder de retenção d'água e permeabilidade mais adequada. Com relação ainda a este fator, Corsini (1974) concluiu que o cultivo intenso do solo diminui os valores da condutividade hidráulica, melhorando as propriedades indiretamente relacionadas a este parâmetro, tais como: capacidade de retenção de umidade, permeabilidade e relação ar/água.

No perfil 2, os valores de K poderão ser relacionados tanto com a porosidade total como também com os valores de macroporosidade, com exceção de K do horizonte B_{21} que poderá estar associado ao seu maior índice de agregação dentro do perfil, com ocorrência de eluviação de partículas mais finas. Neste perfil, o horizonte A_3 apresenta melhores características de retenção d'água e permeabilidade mais adequada.

Os valores de K do perfil 3 com relação aos do perfil 4 apresentam-se mais baixos, o que lhe confere um maior poder de retenção d'água e uma permeabilidade mais adequada. Do Apêndice 12, observa-se que os valores encontrados para a porosidade total dos diferentes horizontes do perfil 4 são menores, não havendo, contudo, grandes diferenças quanto aos valores da macroporosidade em relação aos registrados para o perfil 3. Deste modo, os valores de K destes perfis não seguem de perto somente as porosidades que possuem. Outros parâmetros devem estar associados, como a textura mais grossa, principalmente no caso do perfil 4 que possui cerca de 88% de areias, em relação ao perfil 3 com 66%. Segundo Lambe (1954), citado por Gidigas (1976), a permeabilidade é influenciada pelo tamanho dos grãos e parece ser proporcional ao quadrado do tamanho efetivo de um grão. Além disso, pode-se constatar, também, a existência de proporções maiores de grãos simples em todo o perfil 4, em relação ao perfil 3 (Apêndices 1, 3, 5 e 7), e ser considerado o efeito dos agregados estruturalmente estáveis (embora em menor proporção) em maior parte dos horizontes. Do exposto, parece que se pode concluir, como fez Childs (1967), que a permeabilidade é mais função da textura do que da estrutura do solo.

No perfil 3 o horizonte B_1 é o que apresenta melhores características de retenção de umidade e uma permeabilidade mais adequada. No per

fil 4, essas características encontram-se no horizonte B₂₂.

De um modo geral, os gráficos mostram, em ordem crescente de prioridade, que os perfis 3 e 1 apresentam, em relação aos perfis 2 e 4, valores mais adequados de permeabilidade e retenção de umidade. Tais observações servem provavelmente para confirmar as apreciações feitas no estudo da capacidade de água disponível, quando se verificou que os perfis 1 e 3 constituem, sem dúvida, os melhores reservatórios de água para as plantas.

6. CONCLUSÕES

Acredita-se que, dentre as possíveis contribuições que este estudo possa trazer, está a metodologia e equipamentos adaptados para o desenvolvimento de trabalhos semelhantes. De uma maneira geral, a metodologia e equipamentos usados nas determinações de laboratório, revelaram-se bastante satisfatórios na obtenção dos resultados.

Destacam-se as seguintes conclusões:

- a maior quantidade de água nesses solos foi removida a tensões relativamente baixas (0,06 - 0,2 atm), tendo sido sugerido que esta é a água contida nos macroporos entre os agregados;

- os teores de umidade diminuíram gradativamente acima de 0,2 atm, o que foi atribuído à influência dos microporos entre as partículas dos solos e à 15 atm onde não há praticamente variação de umidade, o que foi atribuído aos efeitos mais da textura e superfície específica do que propriamente da estrutura;

- os solos de textura argilosa possuem maiores disponibilidades d'água a tensões abaixo de 5 atm, do que os de textura média, o que é verificado abaixo de 3 atm;

- os solos de textura argilosa com superfície específica variando de 67,4 a 98,4 m²/g solo retêm mais água que os de textura média, com superfície específica variando de 29,6 g a 48,5 m²/g solo;

- a capacidade de água disponível desses solos é mínima, sendo que, de uma maneira geral, apresentam menos de 10 mm de água disponível por cada 10 cm de solo, levando-se em consideração os limites convencionais de capacidade de campo (0,33 atm) e ponto de murchamento (15 atm). A 1 atm estes solos retêm cerca da metade da capacidade máxima de água disponível;

- quando se considera como 0,06 atm o limite superior da capacidade de campo, observa-se que a capacidade de água disponível desses solos aumenta consideravelmente; que cerca de 3/4 de umidade é disponível abaixo de 1 atm, e que há uma maior remoção de umidade entre as tensões de 0,06 atm a 0,2 atm e entre 0,2 a 1 atm;

- entre os perfis examinados, a capacidade de água disponível dos solos argilosos diminuiu com a profundidade;

- os solos de textura argilosa apresentaram capacidade de água disponível semelhante aos de textura média, tendo sido atribuído este fenômeno à presença, nos solos argilosos, de estrutura granular e agregados estruturalmente estáveis (índices variando de 3,92 mm a 4,97 mm);

- a condutividade hidráulica vertical destes solos pode ser classificada como muito rápida, pois variou de 15 a 62,7 cm/h;

- a semelhança da condutividade hidráulica dos solos de textura argilosa com os de textura média, é atribuída à estrutura granular, agregados estruturalmente estáveis e porosidade elevadas dos solos argilosos;

- finalmente, recomenda-se que seja averiguado o efeito da estrutura na retenção e movimento d'água nestes solos e que, a níveis mais adequados, deve-se modificar a estrutura desses solos através do cultivo intenso, para melhoramento das propriedades retenção e permeabilidade.

7. ABSTRACT

This work gives information on the physical-hydric characteristics of relevante varieties of medium textured and clayey latosols under cerrado vegetation from Central Brasil, collected in the Distrito Federal and João Pinheiro (MG) regions. They were classified according to the SNLC-EMBRAPA system, USA-soil Taxonomy system and FAO-UNESCO system.

Water content at tensions from 0,06 atm to 15 atm were determined in the soil samples to draw characteristic curves and vertical hydraulic conductivity. Some other parameters were also determined, such as: porosity, bulk density, aggregate distribution and specific surface, in order to complement the physical characteristics of the soils and for possible association with the phenomenon of water retention and movement.

The water holding capacity of the soils was extremely low. Higher values were found below 3 and 5 atm., respectively, for clayey and medium textured soils. It was further observed that the hydraulic conductivity is very high, corresponding to the very rapid class, and that clayey soils with structurally stable aggregates, high porosity and specific surface, show similar behaviour to the medium textured soils.

8. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- 1 - AMERICAN INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR ECONOMIC AND SOCIAL DEVELOPMENT.
Reconhecimento do potencial agrícola do planalto central do Brasil;
Relatório Geral. Rio de Janeiro, Aliança para o Progresso, 1963.
186 p.
- 2 - ARENA, A. - Curso de solos; física de suelos. s.l., Centro Panamericano
de Aperfeiçoamento Para Pesquisas de Recursos Naturais, 1966. 72 p.
- 3 - BAVER, L. D. et alii. - Física de suelos. México, Union Tipografia Edi-
torial Hispano-Americana, 1973. xviii + 529 p.
- 4 - BRASIL. Ministério da Agricultura - Escritório de Pesquisa e Experimenta-
ção. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. Levantamento semidetá-
lhado dos solos de áreas do Ministério da Agricultura, no Distrito Fe-
deral. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, s.d. 135 p.
(Boletim Técnico n.8)

- 5 - BRASÍLIA, DF - Prefeitura. Secretária de Agricultura e Produção. Projeto de programa. Brasília s. ed., 1965. 30 p.
- 6 - BREWER, R. - Fabric and mineral analysis. Reimp. Huntington, New York, Robert E. Krieger Publishing Company, 1976. viii + 482 p.
- 7 - BRYAN, R. B. - The Efficiency of aggregation indice in the comparison of some english and canadian Soil. J. of Soil. Sci. London, 22 (2): 167-76, Je., 1971.
- 8 - CAVALCANTI, A. C. - Estudo de latossolos do plantalto central do Brasil: caracterização, distinções de acordo com suas superfícies de aplainamento, gênese e classificação. Rio de Janeiro, Decanato de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1977. xiii + 186 p. (Tese - Magister Scientiae)
- 9 - CAVAZA, L. et alii - Correlation of capacity between open field and laboratory determinations. In: HADAS, A. et alii - Phisical aspects of soil-water and salts in ecosystems. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 1973. V. 4, Part 1, p. 187-93 (Ecological studies, analysis and synthesis)
- 10 - CHILDS, E. C. - La física del drenaje de tierras. In: LUTHIN, J. N. Drenaje de tierras agrícolas. México, Limusa Willey, 1967. Cap. 1, p. 71-100

- 11 - _____ - An introduction to the physical basis of soil water phenomena.
London, A. Wiley-Interscience publication, 1969. xiii + 493 p.
- 12 - CLINE, M. G. & BUOL, S. W. - Solos do planalto central do Brasil e extensão dos resultados obtidos da pesquisa de campo realizada perto de Planaltina, D.F., para esses solos. Trad. de M. N. Camargo e H. S. Araujo. Ithaca, N. Y., Universidade de Cornell, 1973. 27 p.
- 13 - COELHO, M. A. - Características de umidade de alguns solos de aluviões: normais, sódico e sódico-salinos. Rio de Janeiro, Escola de Pós-Graduação, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1971.
vii + 113 p. (Tese.- Magister Scientiae).
- 14 - CONAWAY Jr., A. W. & STRICKLING, E. - A Comparison of selected methods for expressing soil aggregate stability. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Madison, 26 (5): 426-30, sep./oct., 1962.
- 15 - CORSINI, P. C. - Modificações de características físico-hídricas em perfis das séries Jaboticabal e Santa Teresa, ocasionadas pelo cultivo intenso. Cientia, Jaboticabal, SP, 2 (2): 148-61. 1974.
- 16 - DUCHAUFOUR, P. - Física del suelo. In: _____. Manual de edafología. Barcelona, Toray-Masson, 1975. Cap. 2, p. 26-81
- 17 - FALESI, I. C. & CAMARGO, M. N. - Soil of the Central Plateau and Transamazonic Highway of Brazil. In: BORNEMISZA, E. & ALVARADO Ed. Soil management in tropical america, Raleigh, N. C., North Carolina State University, 1975. Chap. 1, p. 25-44

- 18 - FERNANDES, B. & RESENDE, M. - Caracterização de solos sob cerrado e a disponibilidade d'água para cultura. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, Escola Superior de Agricultura, 1972. 33 p.
(Relatório Final de Atividades, Proc. 8681/69-CNPq., TC 10668)
- 19 - _____ & SYKES, D. J. - Capacidade de campo e a retenção de água em três solos de Minas Gerais. R. Ceres, Viçosa, MG, 15 (83): 1-39.
Maio/jun. 1968. (Separata).
- 20 - FORSYTHE, W. - Manual de Laboratório, Física de Suelos. San José, Costa Rica, IICA, 1975. 212p.
- 21 - GAIRON, S. - Important soil characteristics relevant to irrigation.
In: YARON, B. et alii - Arid Zone irrigation. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 1973. V. 5, Part 5, p. 227-40 (Ecological studies, analysis and synthesis)
- 22 - _____ & HADAS, A. - Measurement of the water status in soils.
In: YARON B. et alii - Arid zone irrigation. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 1973. V. 5, Part 5, p. 216-26 (Ecological studies, analysis and synthesis)
- 23 - GIDIGASU, M. D. - Compressibility and permeability characteristics of natural and laterite soils. In: _____ . Laterite soil engineering; pedogenesis and engineering principles. Amsterdam, Elsevier Scientific publishing company, 1976. Chap. 17, p. 397-417
(Developments in geotechnical engineering, 9)

- 24 - GRASSI, C. J. & CHRISTIANSEN, J. - Manual de drenaje agrícola. Campina Grande, PB, Universidade Federal da Paraíba, Escola Politécnica, 1969. 192 p.
- 25 - GROHMANN, F. - Análise de agregados de solos. Bragantia. Boletim Técnico do Instituto Agronômico do Estado de São Paulo, Campinas, 19 (13): 201-13, mar. 1960a.
- 26 - _____ - Distribuição e tamanho de poros em três tipos de solos do Estado de São Paulo. Bragantia. Boletim Científico do Instituto Agronômico do Estado de São Paulo, Campinas, 19 (21): 320-8, abr. 1960b.
- 27 - _____ - Superfície do solo de unidades de mapeamento do Estado de São Paulo. Estudo de perfis com horizonte B textural e horizonte B latossólico. Bragantia. Boletim Científico do Instituto Agronômico do Estado de São Paulo, Campinas, 31 (13): 146-65, abr. 1972a.
- 28 - _____ - Superfície específica do solo de unidades de mapeamento do Estado de São Paulo. II - Influência da matéria orgânica, dos óxidos de ferro livres e dos cations trocáveis, na superfície específica total do solo. Bragantia. Boletim Científico do Instituto Agronômico do Estado de São Paulo, Campinas, 31 (14): 168-84, abr. 1972b.
- 29 - _____ & MEDINA, H. P. - Característica de umidade dos principais solos do Estado de São Paulo. Bragantia. Boletim Técnico do Instituto Agronômico do Estado de São Paulo, Campinas, 21 (18): 285-95, mar. 1962.

- 30 - _____ - Disponibilidade de água em alguns solos sob cerrado.
Bragantia. Boletim Técnico do Instituto Agronômico do Estado de São Paulo, Campinas, 25 (6): 65-75, jan. 1966. (Separata).
- 31 - GUIMARÃES, F. M. - Histórico dos trabalhos botânicos sobre o cerrado.
In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 1º, São Paulo, 1962. São Paulo, Edgard Blücher e Universidade de São Paulo, 1971.. p. 7-35
- 32 - HADAS, A. - Water retention and flow in soils. In: YARON, B. et alii
Arid zone irrigation. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 1973 a.
V. 5, Part 3, p. 89-109 (Ecological studies, analysis and synthesis)
- 33 - _____ - Water transfer from soil to plant. In: YARON, B. et alii
Arid zone irrigation. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 1973 b.
V. 5, Part 3, p. 111-122 (Ecological studies, analysis and synthesis)
- 34 - _____ et alii - Physical aspects of soil water and salts in ecosystems. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 1973.c. V. 4,
Part 1, p. 203-4 (Ecological studies, analysis and synthesis)
- 35 - HEILMAN, et alii. - The ethylene glycol monoethyl ether (egme) technique for determining soil-surface area. Soil Sci. Baltimore, 100 (6): 409-13, Dec., 1965.
- 36 - HILLEL, D. - Soil and water; physical principles and process.
New York, Academic Press, 1971. xiv + 288 p. (Physiological ecology)

- 37 - INSTITUTO BRASILEIRO DE REFORMA AGRÁRIA. - Núcleo Alexandre de Gusmão;
Síntesis. (Documento preparado por el IBRA para presentación en la
Conferência Internacional Sobre Reforma Agrária, patrocinado por la
FAO, Roma. Itália, Jun. 1966) 57 p.
- 38 - INSTITUTO DE PLANEJAMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. - Setor Agricultura.
Aproveitamento atual e potencial dos cerrados; base física e poten-
cialidade da região. Brasília, IPEA, 1973. x + 197 p. (série estu-
dos para o planejamento n. 2, V. 1)
- 39 - INSTITUT BRÉSILIEN DE REFORME AGRAIRE. - Estudo de reconnaissance au
1/25.000 e des sols du bassin versant du rio Jaboticabal, MG.
(Zone Prioritarie de Brasília). Brasília, Institut Bresilien de
Reforme Agraire e Mission Française. Cooperação Technique, 1967.
62 p. (IBRA, 2 - n. 4, Pedologia)
- 40 - JACQUOD, A. - Curvas características de umidade dos solos da área da
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Esco-
la de Pós-Graduação da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro,
1971. viii + 72 p. (Tese - Magister Scientiae)
- 41 - JAMISON, V. C. - Changes in air-water relationships due to structural
improvement of soil. Soil Sci., Baltimore, 76 (2): 143-51, Aug.,
1953.

- 42 - _____ & KROTH, E. M. - Available moisture storage capacity in relation to textural composition and organic matter content of several missouri soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Washington, D. C., 22, (3): 189-92, may/je., 1958.
- 43 - JURINAK, J. J. - Salt - Affected soils; soil science, 619 Utah, U.S., Utah State University, (s.d.). 92 p. n. num. (Lecture notes)
- 44 - KOHNKE, H. - Soil physics. Bombay, New Delhi, Tata McGraw-Hill Publishing Company, 1968. xi + 224 p.
- 45 - KRAMER, P. J. - Water in the soil. In: _____. Plant soil water relationships: a modern synthesis. Bombay, New Delli, Tata McGraw-Hillel Publishing Company, 1969. Chap. 2 p.46-71
- 46 - KUTILEK, M. - The influence of clay minerals and exchangeable cations on soil moisture potencial. In: HADAS, A. et alii - Phisical aspects of soil water and salts in ecosystems. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 1973. V.4, Part 1, p. 153-60 (Ecological studies, analysis and synthesis)
- 47 - LABORIAU, L. G. - Problemas da fisiologia ecológica dos cerrados. In: SIMPÓSIO SOBRE CERRADO, 1º, São Paulo, 1962, São Paulo, Edgard Blücher e Universidade de São Paulo, 1971. p. 7-35

- 48 - LEYTON, L. & YADAV, J. S. P. - Effect of drainage on certain physical properties of a heavy clay soil. J. of Soil Sci., London, 31 (2): 305-12, sept., 1960.
- 49 - LIBARDI, P. L. & REICHARDT. - Generalização do movimento da água no solo: infiltração vertical. Piracicaba, SP, Centro de Energia Nuclear, USP, 1974. 16 p. (Boletim Científico, BC - 017)
- 50 - _____ - Características hídricas de 5 (cinco) solos do Estado de São Paulo. II. Curvas de retenção e condutividade hidráulica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 10., Santa Maria, RS, 16 a 23 de julho, 1973. Anais. Guanabara, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1974. p. 189
- 51 - LOW, A. J. - The study of soil structure in the field and the laboratory. J. of Soil Sci., London, 5 (1): 57-74, Apr. 1954.
- 52 - MORTLAND, M. M. - Specific surface and its relationship to some physical and chemical proprieties of soils. Soil Sci. Baltimore, 7B (5): 343-7, nov. 1954.
- 53 - OLIVEIRA, L. B. de. - Coeficiente de permeabilidade de dois tipos de solo (aluvial) da estação experimental do curado. (Permeability coefficient of two aluvial soils of curado experimental station). Recife, Instituto Agrônômico do Nordeste, Ministério da Agricultura, 1961. 32 p. (Boletim Técnico, n. 16 dez. 1961).

- 54 - _____ & QUEIROZ, E. N. - Curvas características de retenção de umidade de alguns solos do nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 10., Santa Maria, RS, 16 a 23 de julho, 1973. Anais. Guanabara, Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 1974. p. 189
- 55 - O'NEAL, A. M. - A key for evaluating soil permeability by means of certain field cluds. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 16 (3): 312-5, jul., 1952.
- 56 - PILLISBURY, A. F. - Effects of particle size and temperature on the permeability of sand to water. Soil Sci., Baltimore, 70 (4): 299-300, oct., 1950.
- 57 - REEVE, R. C. - Determinacion de la permeabilidad. In: LUTHIN, J. N. Drenage de tierras agrícolas. México, Limusa, 1967. Cap. 4, p. 446-60
- 58 - REICHARDT, K. - Evaporação da água do solo: Piracicaba, SP, Centro de Energia, USP, 1972. 30 p. (Boletim Científico. BD - 004)

- 59 - _____ - Determinação da condutividade hidráulica em condições de campo para estimativa da drenagem profunda em balanços hídricos:
Piracicaba, SP, Centro de Energia Nuclear, USP, 1974. 12 p.
(Boletim Científico BD - 015)
- 60 - _____ - Processo de transferência no sistema solo-planta-atmosfera.
3. ed. rev. SP, Centro de Energia Nuclear na Agricultura - USP e
Fundação Cargill, 1975, vi + 287 p
- 61 - RICHARDS, L. D. & CHAIRMAN. - Report of the subcommittee on
permeability and infiltration, committee on terminology, Soil
Science Society of America. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Madison,
16 (1): 85-8, jan, 1952.
- 62 - SALTER, P. J. & WILLIAMS, J. B. - The influence of texture on the
moisture characteristics of soils. I. A. critical comparasion of
tochiniques for determining the avaiable - water capacity and
moisture characteristics curve of a soil. J. of Soil Sci., 16 (1):
1-15, 1965a.
- 63 - _____ - The Influence of texture on the moisture
characteristic of soils. II. Available - water capacity and moisture
realease characteristics. J. of Soil Sci., 16 (2): 312-7, 1965b.
- 64 - SHARMA, M. L. & UEHARA, G. - Influence of soil structure on water
relations in low humic latosols: I. Water retention. Soil. Sci.
Soc. Amer. Proc. Washington, D. C., 32: 765-9, 1968a.

- 65 - _____ - Influence of soil structure on water relations in low humic latosols: II. Water movement. Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. Washington, D. C., 36: 770-4, 1968b.
- 66 - SMITH, R. M. & BROWING, D. R. - Some suggested laboratory standards of subsoil permeability. Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. Washington, D. C.: 21-6, 1946.
- 67 - SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO - Comissão Permanente de Métodos e Trabalho de Campo, Rio de Janeiro - Manual de método de trabalho de Campo. 1967. v + 33 p. (2ª aproximação)
- 68 - UEHARA, G. & KENG, J. - Management implications of soil mineralogy in Latin America. In: BORNEMISZA, E. & ALVARADO, A. Ed. Soil management in tropical america - Raleigh, N. C. North Carolina State University, 1975. Chap. 20, p. 351-63
- 69 - VAN BAVEL, C. H. M. - Mean weight-diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 14: 20-3, 1949.
- 70 - VAN WANBEKE, A. - Management properties of oxisols in savana ecosystems. In: BORNEMISZA, E. & ALVARADO, Ed. - Soil management in tropical america. Raleigh, N. C., North Carolina State University, 1975. Chap. 21, p. 364-70

- 71 - VEIHMEYER, F. J. - Soil moisture and its availability to plants.
Davis, Department of irrigation University of California, 1955.
86 p.
- 72 - WOLF, J. M. - Water constraints to corn production in central Brasil.
New York, s. ed. 1975. xvii + 199 p. (A Thesis Presented to the
Faculty of the Graduate School of Cornell University for the Degree
of Doctor of Philosophy)
- 73 - WOLF, J. M. & DROSDOFF, M. - Soil-water studies on oxisols and ultisols
of Porto Rico. Ithaca, N. Y., Cornell University, 1974. 60 p.
- 74 - YONG, R. N. & WARKENTIN, B. P. - Soil properties and behaviour.
Amsterdam, Elsevier Scientific publishing company, 1975.
xiii + 449 p. (Developments in geotechnical engineering, 5)
- 75 - ZANKER, A. - Nomograph for hydraulic conductivity and intrinsic
permeability of water - soil system. Soil Sci., Baltimore, 113 (5):
375-7, may, 1972.

9. APÊNDICES

APÊNDICE 1

Perfil 1

Classificação:

SNLCS-EMBRAPA - LATOSSOLO VERMELHO ESCURO DISTRÓFICO, álico A mode
rado, textura argilosa, fase transição floresta/cerrado e relevo pla
no;

USDA Soil Taxonomy - Typic Haplustox, fine clayey, kaolinitic,
isohyperthermic;

FAO-UNESCO - Orthic Ferrasol

Localização:

Lado direito da estrada principal do Centro de Pesquisa Agropecuá
rio do Cerrado, distante cerca de 1 km depois da sede.

Situação e Declividade:

Terço médio-inferior do plano suavemente inclinado que corresponde
à segunda superfície de aplainamento, com 2 - 3% de declividade. Pe
quena área desmatada preservada a salvo dos tratamentos experimen
tais.

Litologia e Formação Geológica:

Material retrabalhado sobre rochas do grupo Bambuí - especialmente micaxistos e filitos. Épcambriano Superior.

Material Originário:

Desenvolvido provavelmente da cobertura de material deposicional su
pra citado.

Relevo:

Plano e suave ondulado, de superfície abaixo das chapadas, numa si
tuação que precede a planície aluvial.

Altitude:

960 metros.

Erosão:

. Laminar ligeira.

Drenagem:

Bem drenado.

Vegetação:

Formações secundárias, culturas e remanescentes, vegetação nativa, transição floresta ribeirinha/cerrado, subcaducifólio e arbóreo-ar**ar**
bustivo.

Uso atual:

Campos de experimentos.

Hor.	Prof. cm.	Características Morfológicas
A _p	0 - 10	Bruno avermelhado escuro (2,5 YR 3/3, úmido), bruno avermelhado escuro (2,5 YR 3/4, úmido amassado), bruno avermelhado (5 YR 4/4, seco e seco triturado) argila; moderado e forte muito pequena e pequena granular; macio, friável, plástico e pegajoso; transição clara e plana.
A ₃	10 - 35	Bruno avermelhado escuro (2,5 YR 3/5, úmido), vermelho escuro (2,5 YR 3/6, úmido amassado), bruno avermelhado (5 YR 4/5, seco e seco triturado) argila; moderada e forte muito pequena e pequena granular; macio a ligeiramente duro, friável, plástico e pegajoso; transição gradual e plana.
B ₁	35 - 70	Vermelho escuro (2,5 YR 3/6, úmido), vermelho amarelado (5 YR 4/6, seco); argila; moderada e forte muito pequena e pequena granular; macio e ligeiramente duro; friável, plástico e pegajoso; transição difusa e plana.
B ₂₁	70 - 150	Vermelho escuro (10 YR 3, 5/6, úmido), vermelho amarelado (5 YR 4/7, seco); argila; moderada e forte muito pequena e pequena granular; macio muito friável, plástico e pegajoso; transição difusa e plana.

Raízes: Muitas muito finas e comuns fina, no A_p; comuns muito finas e pouco finas e médias, no A₃ e B₁; comuns a poucas muito finas e médias, no B₂₁ e B₂₂.

Observações

Percebe-se um aparente mosqueado vermelho (10 YR 4/7, úmido), ver
melho amarelo (5 YR 4/6, úmido) e alguma ocorrência de carvão ve
getal no B₂₁.

A estrutura oferece aspecto maciço poroso in situ especialmente no
B₂₁ onde é mais típica a feição "pó de café".

As cores do solo úmido amassado e seco triturado são quando as mes
mas 0,5 a 1, umidades de valor e/ou croma mais elevados que os ve
rificados para o solo úmido e seco.

Expressiva ocorrência de termiteiros nestes solos.

APENDICE 2
 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DO PERFIL 1

HORIZONTE	PROFUNDIDADE	FRAÇÕES GROSSEIRAS				COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (DISPERSÃO COM NaOH)				ARGILA DISPERSA EM ÁGUA %	GRAU DE FLOCULAÇÃO %	% SILTE % ARGILA	DENSIDADE REPL
		CALHAU %	CASCALHO %	TERRA FINA %	AREIA GROSSA %	AREIA FINA %	SILTE %	ARGILA %					
A _p	0-10	0	x	100	15	25	16	44	13	91	0,36	2,60	
A ₃	10-35	0	0	100	15	25	14	46	12	87	0,30	2,63	
B ₁	35-70	0	x	100	13	24	17	46	1	96	0,37	2,63	
B ₂₁	70-150	0	x	100	14	25	15	46	0	94	0,33	2,63	

pH	COMPLEXO SORTIDO ME/100 g										SATURAÇÃO DE BASE % V		P ASSIMILÁVEL PFC	
	XCl	POZ*	Co ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	VALOR S (SOMA)	Al ⁺⁺⁺	H ⁺	VALOR S (SOMA)	100 Al Al + S	Kf	Ki	Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃
4,5	4,0	3,8	1,2	0,5	0,18	0,02	1,9	1,5	9,2	12,6	44	15	71	
4,3	3,9	3,8	0,7	1,5	0,04	0,01	2,4	2,2	7,8	12,4	48	19	2	
4,5	3,9	3,9	0,9	0,9	0,03	0,01	0,9	1,9	6,0	8,8	68	10	1	
4,9	4,0	3,9	0,6	0,6	0,02	0,00	0,6	1,3	4,1	6,0	68	10	1	

ATAQUE POR H ₂ SO ₄ (d = 1,47) %										
C	N	C	N	SiO ₂	Al ₂ O ₃	F ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	Kf	Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃
2,49	0,16	16	16	14,0	15,5	7,4	0,29	0,08	1,18	3,28
3,57	0,10	16	16	14,3	15,9	8,1	0,31	0,05	1,15	3,02
1,51	0,10	15	15	14,7	16,3	8,1	0,33	0,05	1,16	3,32
0,79	0,05	16	16	14,3	16,3	7,7	0,33	0,04	1,15	3,32

* Determinado no Laboratório de Química do Departamento de Solos da UFRRJ/RJ pelo autor como informações adicionais. Método proposto por H. Eswaran ao Committee on classification of Siffois and Ultisols with low activity clays/Rio de Janeiro, 1977.

APÊNDICE 3

Perfil 2

Classificação:

SNLCS-EMBRAPA - LATOSSOLO VERMELHO ESCURO DISTRÓFICO epiálico A mo
derado textura argilosa fase cerrado relevo plano;

USDA Soil Taxonomy - Typic Acrustox, very fine clayey, oxidic,
isohyperthermic;

FAO-UNESCO - Acric Ferrasol.

Localização:

Cerca de 100 metros a esquerda e antes do cruzamento da DF 18 com a
DF 9. Área sob vegetação natural de cerrado.

Situação e Declividade:

Topo da primeira superfície de aplainamento, com 1% de declividade.

Litologia e Formação Geológica:

Material retrabalhado sobre rochas do grupo Bambuí - ardósias, filⁱ
tos e micaxistos. Eocambriano Superior.

Material Originário:

Desenvolvido provavelmente da cobertura de material deposicional su
pra citada.

Relevo:

Plano de superfícies elevadas (chapadas).

Altitude:

1.120 metros.

Erosão:

Nula laminar ligeira.

Drenagem:

Acentuadamente drenado.

Vegetação:

Cerrado subcaducifólio arbóreo-arbustivo denso.

Uso atual:

Pastagem natural.

Hor.	Prof. cm.	Características Morfológicas
A ₁	0 - 18	Bruno avermelhado escuro (3,5 YR 3/3, úmido) e úmido amassado, bruno avermelhado (3,5 YR 4/4, seco e seco triturado); muito argilosa, moderada e forte muito pequena e pequena granular; macio, friável a muito friável, plástico e pegajoso; transição gradual e plana.
A ₃	18 - 30	Bruno avermelhado escuro (2,5 YR 3/5, úmido) vermelho escuro (2,5 YR 3/6, úmido amassado), vermelho (3,5 YR 4/6, seco e seco triturado); muito argilosa; moderada e forte muito pequena e pequena granular e fraca pequena blocos subangulares; macio, friável e muito friável, plástico e pegajoso; transição gradual e plana.
B ₁	30 - 60	Vermelho escuro (2,5 YR 3/6, úmido), vermelho (3,5 YR 4/7, seco), muito argilosa; moderada e forte muito pequena e pequena granular; macio, muito friável; plástico e pegajoso; transição difusa e plana.
B ₂₁	60 - 150	Vermelho escuro (2,5 YR 3/6, úmido), vermelho (3,5 YR 4/7, seco); muito argilosa; forte e moderada muito pequena e pequena granular; macio, muito friável, plástico e pegajoso; transição difusa e plana.

Raízes: abundantes muito finas e poucas médias, no A₁; muitas muito finas e poucas a comuns finas e médias no A₃; comuns muito finas e raras médias, no B₂₁ e B₂₂.

Observações

Percebo-se um aparente mosqueado vermelho (10 R 4/7, úmido), ver
melho amarelo (5 YR 4/6, úmido) e alguma ocorrência de carvão ve
getal no B₂₁.

A estrutura oferece aspecto poroso in situ especialmente no B₂₁
onde é mais típica a feição "pó de café".

As cores do solo úmido amassado e seco triturado são quando as mes
mas 0,5 a 1, unidades de valor e/ou croma mais elevados que os ve
rificados para o solo úmido e seco.

Expressiva ocorrência de termiteiros nestes solos.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DO PERFIL 2

HORIZONTE	PROFUNDIDADE	FRAÇÕES GROSSEIRAS				COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (DISPERSÃO COM NaOH)				ARGILA DISPERSA EM ÁGUA %	GRAU DE FLOCULAÇÃO %	SILTE		DENSIDADE REFL
		CALHAU %	CASCALHO %	TERRA FINA %	AREIA GROSSA %	AREIA FINA %	SILTE %	ARGILA %	% ARGILA			% ARGILA		
A ₁	0-18	0	0	100	3	11	11	11	75	27	95	0,15	2,60	
A ₃	18-30	0	0	100	4	11	8	77	1	1	94	0,10	2,63	
B ₁	30-60	0	0	100	3	11	9	77	0	0	99	0,12	2,67	
B ₂₁	60-150	0	0	100	3	10	12	75	0	0	100	0,15	2,67	

H ₂ O	KCl	pH	COMPLEXO SORTIVO me/100 g										SATURAÇÃO DE BASE % V		P ASSIMILÁVEL ppm
			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	VALOR S (SOMA)	AL ⁺⁺⁺	H ⁺	VALOR T (SOMA)	100 Al Al + S	% V			
4,9	4,1	4,0	0,6	0,09	0,02	0,7	0,9	7,1	8,7	8	56	1			
5,6	4,5	4,3	0,6	0,03	0,01	0,6	0,3	5,1	6,0	10	33	1			
5,6	4,8	4,6	0,5	0,02	0,01	0,5	0	4,1	4,6	11	0	1			
6,1	5,5	5,4	0,5	0,01	0,01	0,5	0	2,7	3,2	16	0	1			

C %	N %	ATRQUE POR H ₂ SO ₄ (d = 1,47) %							K _F	K _I	Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	F ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	P ₂ O ₅	K _I	K _F			
2,73	0,12	23	32,4	12,70	0,81	0,07	0,72	0,58	4,00		
1,91	0,10	18	34,3	13,50	0,85	0,06	0,70	0,56	3,98		
1,41	0,09	16	34,5	13,70	0,91	0,06	0,74	0,59	3,95		
0,96	0,07	14	35,2	13,90	0,96	0,06	0,67	0,54	3,97		

* Determinado no Laboratório de Química do Departamento de Solos da UFRRJ/RJ pelo autor como informações adicionais. Método proposto por H. Eswaran ao Committee on classification of soils and ultisols with low activity clays/Rio de Janeiro, 1977.

APÊNDICE 5

Perfil 3

Classificação:

SNLCS-EMBRAPA - LATOSSOLO VERMELHO AMARELO DISTRÓFICO epiálico A mo
derada textura média fase cerrado e relevo plano;

USDA Soil - Typic Acrustox, fine loamy, oxidic, isohyperthermic;

FAO-UNESCO - Acric Ferrasol.

Localização:

Área de Estação Experimental de Brasília, cerca de 2km NW da sede.

Situação e Declive:

Trincheira situada em longa e suave pendente próxima ao rebordo de
chapada. Declividade aproximada de 2% sob vegetação natural de cam
po cerrado.

Litologia e Formação Geológica:

Material retrabalhado sobre rochas quartzíticas do Grupo Bambuí.

Material Originário:

Desenvolvido provavelmente a partir de rochas supra citadas.

Relevo:

Plano e suave ondulado.

Altitude:

1.040 m.

Erosão:

Laminar ligeira, ocorrendo algumas voçorocas na área.

Drenagem:

Bem drenado.

Vegetação:

Cerrado subcaducifólio arbustivo-arbóreo aberto.

Uso atual:

Campo de experimentação agrícola.

Hor.	Prof. cm.	Características Morfológicas
A ₁	0 - 18	Bruno escuro (7,5 YR 4/4, úmido), bruno amarelado escuro (10 YR 4/4, úmido amassado), bruno amarelado claro (10 YR 6/4, seco), e bruno muito claro acinzentado (10 YR 7/4, seco triturado); franco arenoso; moderada muito pequena a grande granular e grãos simples; macio, muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.
A ₃	18 - 35	Bruno escuro (7,5 YR 4/4, úmido e úmido amassado), bruno amarelado claro (10 YR 6/4, seco) e bruno claro acinzentado (10 YR 6/3, seco triturado); franco arenoso; moderada muito pequena a média granular e grãos simples; macio, muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.
B ₁	35 - 60	Bruno forte (7,5 YR 5/6, úmido), amarelo brunado (10 YR 6/6, seco); franco argilo arenoso; moderada muito pequena e pequena granular e grãos simples; macio; muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.
B ₂₁	60 - 105	Vermelho amarelado (5 YR 5/8, úmido); franco argilo arenoso; moderada muito pequena e pequena granular e grãos simples; macio, muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.

Hor.	Prof. cm.	Características Morfológicas
B ₂₂	105 - 135	Vermelho amarelado (5 YR 5/8, úmido); franco argilo arenoso; moderada muito pequena e pequena granular e grãos simples; macio, muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.
B ₂₃	135 - 175	Vermelho amarelado (4 YR 5/8, úmido); franco argilo arenoso; moderada muito pequena e pequena granular e grãos simples; macio, muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.

Raízes abundantes no A₁ e A₃, muitas no B₂₁ e B₂₂, poucas no B₂₃, todas com diâmetro variando de 1 a 5 milímetros.

APENDICE 6

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DO PERFIL 3

HORIZONTE	PROFUNDIDADE	FRAÇÕES GROSSEIRAS			COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (DISPERSÃO COM NaOH)				ARGILA DISPERSA EM ÁGUA %	ARGILA FLOCULAÇÃO %	GRAU DE FLOCULAÇÃO	% SILTE		DENSIDADE REAL
		CALHAU %	CASCALHO %	TERRA FINA %	AREIA GROSSA %	AREIA FINA %	SILTE %	ARGILA %				% ARGILA	% ARGILA	
B ₁	0-18	0	x	100	31	38	12	12	19	12	37	0,64	2,47	
B ₂	18-35	0	x	100	30	39	11	11	20	12	40	0,55	2,53	
B ₃	35-60	0	1	100	32	37	11	11	20	13	35	0,55	2,54	
B ₂₁	60-105	0	1	100	28	37	12	12	23	0	100	0,52	2,58	
B ₂₂	105-135	0	1	100	26	39	12	12	23	0	100	0,52	2,59	
B ₂₃	135-175	0	3	100	25	38	13	13	24	0	100	0,54	2,56	

PH	COMPLEXO SORTIVO me/100 g										SATURAÇÃO DE BASE		100 Al Al + S	P ASSIMILÁVEL ppm
	K ₂ O	KCl	PCZ*	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	VALOR S (SOMA)	VALOR T (SOMA)	H ⁺	AL ⁺⁺⁺	% V		
5,2	4,2	3,8	0,2	0,2	0,04	0,01	0,2	0,2	3,2	0,9	0,9	7	75	1
5,3	4,3	3,8	0,2	0,2	0,02	0,01	0,2	0,2	2,7	0,7	0,7	6	78	1
5,4	4,3	4,5	0,2	0,2	0,02	0,01	0,2	0,2	2,3	0,7	0,7	6	78	x
5,6	4,7	4,4	0,2	0,2	0,01	0,01	0,2	0,2	1,4	0,2	0,2	11	50	x
5,4	5,1	4,9	0,2	0,2	0,01	0,01	0,2	0,2	1,2	0,0	0,0	14	0	x
5,5	5,6	5,0	0,2	0,2	0,02	0,02	0,2	0,2	1,0	0,0	0,0	17	0	x

C %	N %	ATAQUE POR H ₂ SO ₄ (d = 1,47) %							KI	Kr	Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	F ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	KI	Kr			
0,42	0,06	15	3,9	9,6	3,7	0,22	0,03	0,69	0,56	75	
0,65	0,05	13	3,8	9,5	3,1	0,22	0,03	0,68	0,56	78	
0,53	0,05	11	3,8	10,3	3,8	0,22	0,03	0,62	0,50	78	
0,32	0,03	11	4,3	11,6	3,6	0,22	0,03	0,63	0,53	50	
0,23	0,03	8	4,4	12,1	3,9	0,26	0,03	1,61	0,51	0	
0,17	0,03	-	4,4	12,6	3,8	0,25	0,03	0,59	0,49	0	

* Determinado no Laboratório de Química do Departamento de Solos da UFRRJ/RJ pelo autor como informações adicionais. Método proposto por H. Eswaran ao Committee on Classification of Siltic and Ultisols with low activity clays/Rio de Janeiro, 1977.

APÊNDICE 7

Perfil P₄

Classificação:

SNLCS-EMBRAPA - LATOSSOLO VERMELHO AMARELO DISTRÓFICO epiálico A mo
derado textura média fase cerrado relevo plano;

USDA Soil - Typic Haplustox, fine loamy, kaolinitic, isohyperthermic;

FAO-UNESCO - Orthic Ferrasol.

Localização:

Cerca de 200 metros à esquerda da rodovia Brasília - Belo Horizonte,
no km 315 e distando 8 km depois de João Pinheiro.

Situação:

Topo aplainado de ampla superfície com 2 - 3% de declividade.

Litologia e Formação Geológica:

Provavelmente retrabalhamento de material psamítico sobre rochas arg
níticas. Formação Areado, Cretáceo.

Material Originário:

Desenvolvido da provável cobertura de material deposicional supra ci
tado.

Relevo:

Plano e suave ondulado com topos esbatidos e encostas com 100 - 200 m
de extensão e declives de 2-8%.

Altitude:

800 m.

Erosão:

Laminar ligeira.

Drenagem:

Acentuadamente drenado.

Vegetação:

Cerrado subcaducifólio arbóreo-arbustivo denso e pouco denso.

Uso Atual:

Pecuária extensiva. Uma parte se encontra em uso inicial com refl_
restamento de eucaliptos.

Hor.	Prof. cm.	Características Morfológicas
A ₁	0 - 16	Bruno avermelhado escuro (4 YR 3/3, úmido), bruno avermelhado escuro (4 YR 3/4, úmido amassado), bruno avermelhado (4 YR 4,5/4, seco), bruno avermelhado (4 YR 4/5, seco triturado); franco arenoso; moderada muito pequena e média granular, fraca pequena e média blocos subangulares, e grãos simples; macio, muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.
A ₃	16 - 30	Bruno avermelhado escuro (2,5 YR 3/5, úmido), bruno avermelhado (3,5 YR 3,5/5, úmido amassado), vermelho amarelado (4 YR 4/6, seco e seco triturado); franco arenoso; moderada muito pequena granular e fraca pequena e média blocos subangulares, e grãos simples; macio, muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso, transição gradual e plana.
B ₁	30 - 60	Vermelho escuro (2,5 YR 3,5/6 úmido), vermelho (2,5 YR 4,5/5, seco) franco arenoso; moderada muito pequena granular, fraca pequena e média blocos subangulares, e grãos simples; macio, muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.

Hor.	Prof. cm.	Características Morfológicas
B ₂₁	60 - 140	Vermelho escuro (2,5 YR 3,5/6, úmido), vermelho (2,5 YR 4,5/6, seco); franco argilo arenoso; moderada muito pequena granular; macio, muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.
B ₂₂	140 - 210	Vermelho escuro (2,5 YR 3/6, úmido); vermelho (2,5 YR 4/6, seco); franco argilo arenoso; moderada muito pequena granular; macio, muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.

Raízes: Abundantes finas e comuns médias no A₁; muitas finas e comuns médias no A₃; poucas a comuns finas e poucas médias no B₂₂.

Observações

A estrutura oferece um aspecto maciço poroso in situ.

As consistências para solo úmido e molhado tendem a não plástico e não pegajoso, respectivamente.

O perfil se encontrava quase seco nos primeiros 100 cm, passando a ligeiramente úmido daí para baixo.

Presença de pouco carvão vegetal nos horizontes B₁ e B₂₁.

APENDICE 8

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DO PERFIL 4

HORIZONTE	PROFUNDIDADE	FRAÇÕES GROSSEIRAS			COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (DISPERSÃO COM NaOH)					ARGILA DISPERSA EM ÁGUA %	GRAU DE FLOCULAÇÃO %	% SILTE % ARGILA	DESIKAOE REAL
		CALHAU %	CASCALHO %	TERRA FINA %	AREIA GROSSA %	AREIA FINA %	SILTE %	ARGILA %					
A ₁	0-16	0	0	100	52	33	2	13	8	63	0,15	2,52	
A ₂	16-30	0	0	100	54	29	1	16	14	14	0,06	2,57	
B ₁	30-60	0	0	100	51	28	2	19	4	38	0,11	2,58	
B ₂₁	60-140	0	0	100	49	28	3	20	0	100	0,15	2,62	
S _{2c}	140-210	0	0	100	48	28	3	21	0	100	0,14	2,62	

H ₂ O	pH	COMPLEXO SORTIVO me/100 g										SATURAÇÃO DE BASE % V	100 Al Al + S	ASSIMILÁVEL ppm
		KCl	PCZ	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	VALOR S (SDMA)	Al ⁺⁺⁺	H ⁺	VALOR T (SOMA)			
4,5	4,1	3,7	0,5	0,02	0,01	0,5	0,6	2,6	3,7	14	55	1		
4,7	4,2	3,8	0,5	0,02	0,01	0,5	0,6	2,2	3,2	15	55	1		
4,8	4,2	4,0	0,5	0,01	0,01	0,5	0,5	2,0	3,0	17	50	1		
5,0	4,3	4,0	0,5	0,01	0,01	0,5	0,3	1,7	2,5	20	38	1		
			0,4	0,01	0,01	0,4	0,1	1,5	2,0	20	20	1		

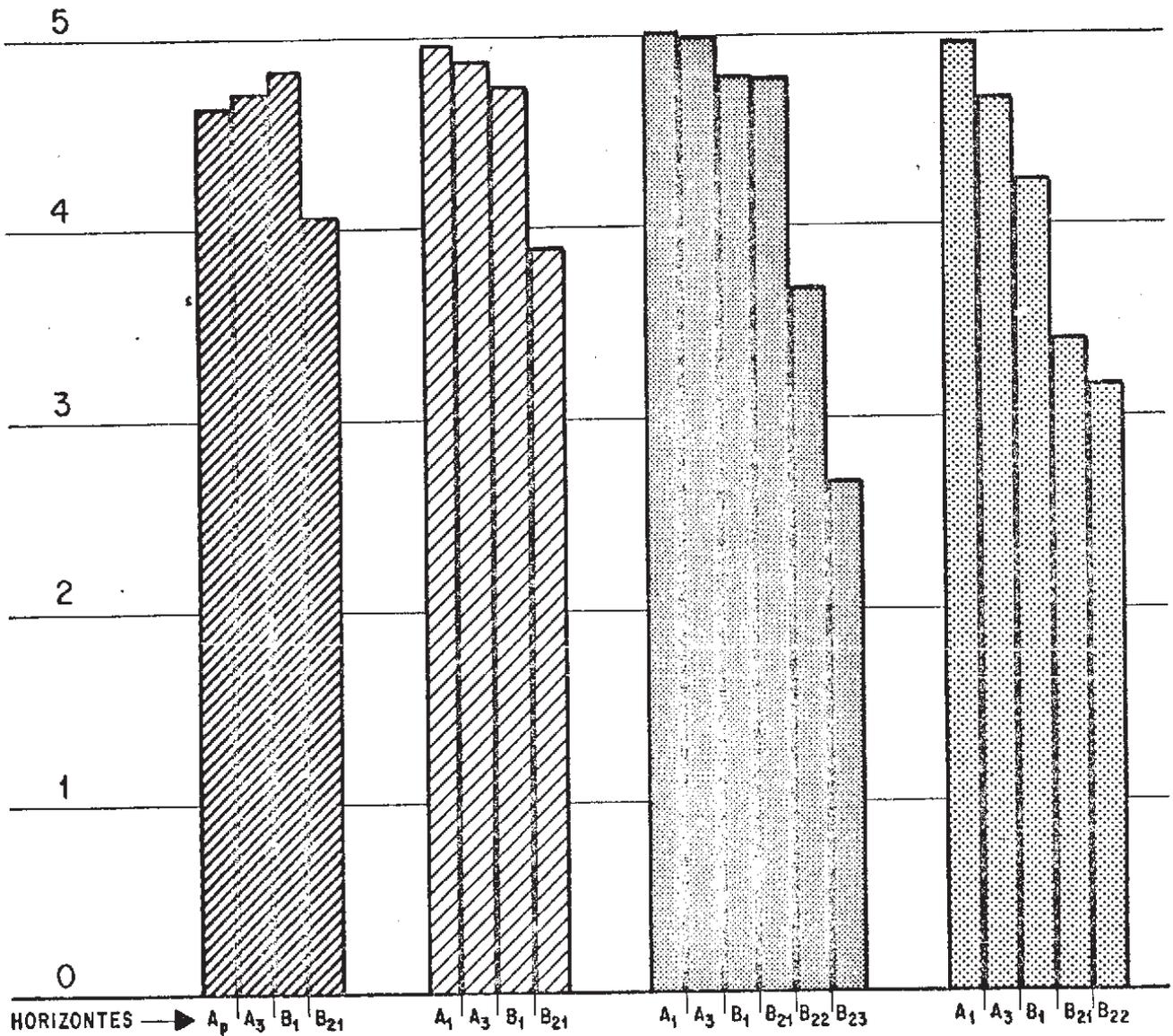
C	N	%	ATAQUE POR H ₂ SO ₄ (d = 1,47) %							Kf	Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃
			Al ₂ O ₃	SiO ₂	F ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	Kl			
0,71	1,06	12	4,7	4,1	2,0	0,30	0,02	1,48	1,17	2,49	
0,52	0,05	10	5,5	5,1	2,3	0,36	0,02	1,55	1,23	3,81	
0,42	0,05	18	7,0	6,1	2,8	0,43	0,02	1,48	1,18	3,92	
0,32	0,04	8	6,6	5,8	2,7	0,39	0,02	1,49	1,19	3,83	
0,21	0,03	7	8,6	7,4	3,4	0,56	0,03	1,46	1,17	3,96	

* Determinado no Laboratório de Química do Departamento de Solos da UFRRJ/RJ pelo autor como informações adicionais. Método proposto por H. Eswaran ao Committee on classification of soils and ultisols with low activity clays/Rio de Janeiro, 1977.

Apêndice 9

DIÂMETRO MÉDIO PONDERADO DOS AGREGADOS
(ÍNDICE DE AGREGAÇÃO)

DIÂMETRO MÉDIO (mm)



PERFIL 1



PERFIL 2



PERFIL 3



PERFIL 4

DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL (BASE PESO SECO) DO TAMANHO DOS AGREGADOS E SUA ESTABILIDADE,
E DIÂMETRO MÉDIO PONDERADO

PERFIL	HORI- ZONTE	PROFUN- DIDADE (cm)	CLASSES DE TAMANHOS (mm)					DIÂMETRO MÉDIO PON- DERADO (mm)	
			> 2	> 1	> 0,5	> 0,25	> 0,105		< 0,105
1	A P	0-10	88,3	2,7	1,6	2,1	1,7	3,6	4,63
	A 3	10-35	90,0	3,0	1,3	1,6	1,4	2,7	4,72
	B 1	35-70	92,6	2,7	0,9	0,9	0,8	2,1	4,85
	B 21	70-150	75,4	7,4	4,5	4,6	3,9	4,2	4,07
2	A 1	0-18	95,7	0,5	0,3	0,2	0,3	3,0	4,97
	A 3	18-30	94,2	0,8	0,5	0,6	0,5	3,4	4,89
	B 1	30-60	91,2	1,7	0,9	1,2	1,3	3,7	4,76
	B 21	60-150	73,0	5,9	3,1	4,9	4,1	9,0	3,92
3	A 1	0-18	96,9	0,4	0,2	0,4	0,4	1,7	5,03
	A 3	18-35	96,4	1,0	0,4	0,7	0,7	0,8	5,01
	B 1	35-60	92,0	1,9	0,7	1,4	1,4	2,6	4,81
	B 21	60-105	67,2	10,1	4,3	6,4	4,7	9,3	4,80
	B 22	105-135	45,0	15,6	7,3	11,0	8,1	13,0	3,69
	B 23	135-175	33,2	16,0	6,3	7,7	9,2	27,6	2,68
4	A 1	0-16	95,0	2,8	0,7	0,8	0,3	0,4	4,97
	A 3	16-30	88,5	4,8	2,0	1,7	1,0	2,0	4,68
	B 1	30-60	78,1	10,0	3,9	3,4	2,2	2,4	4,24
	B 21	60-140	60,2	14,4	6,8	6,7	4,4	7,5	3,42
	B 22	140-210	54,6	16,9	8,5	8,0	4,4	7,6	3,18

APENDICE 11
 SUPERFÍCIE ESPECÍFICA (S) DOS SOLOS

PERFIL	HORIZONTE	PROFUNDIDADE cm	S m ² /g solo
1	A _p	0-10	75,1
	A ₃	10-35	83,7
	B ₁	35-70	84,0
	B ₂₁	70-150	67,4
2	*A ₁	0-18	85,5
	A ₃	18-30	88,7
	B ₁	30-60	98,4
	*B ₂₁	60-150	83,5
3	*A ₁	0-18	36,7
	*A ₃	18-35	35,3
	*B ₁	35-60	35,1
	B ₂₁	60-105	36,1
	B ₂₂	105-135	42,1
	B ₂₃	135-175	48,5
4	A ₁	0-16	29,6
	A ₃	16-30	33,2
	*B ₁	30-60	37,6
	*B ₂₁	60-140	37,1
	B ₂₂	140-210	39,3

(*) Média de 3 determinações.