

POROSIDADE LIVRE DE ÁGUA DE DOIS  
SOLOS DO MUNICÍPIO DE PIRACICABA, S.P.

Tese apresentada à Escola  
Superior de Agricultura «Luiz de  
Queiroz», da Universidade de São  
Paulo, para obtenção do título  
de «Magister Scientiae».

RUBENS SCÁRDUA  
Professor Assistente Doutor do  
Departamento de Engenharia Rural

PIRACICABA - ESTADO DE SÃO PAULO

1972

## AGRADECIMENTOS

- O autor apresenta reconhecidos agradecimentos:

Ao Professor Dr. Zilmar Ziller Marcos pelo seu encorajamento, dedicação e irrestrito apoio na orientação deste trabalho;

- Ao professor Dr. Paulo Cesar Corsini pelas sugestões; e

A todos aqueles que direta ou indiretamente concorreram para a realização deste trabalho.

## CONTEÚDO

	Página
INTRODUÇÃO.....	1
REVISÃO de LITERATURA.....	3
Porosidade de Aeração.....	3
-Água do solo.....	6
MATERIAIS e MÉTODOS.....	9
Solo.....	9
Estudos de Campo.....	10
-Estudos de Laboratório.....	12
RESULTADOS e DISCUSSÃO.....	22
Características físicas dos solos.....	22
Propriedades físicas.....	59
CONCLUSÕES.....	75
SUMMARY.....	77
LITERATURA CITADA.....	79

## INTRODUÇÃO

A determinação da porosidade do solo é de fundamental importância no estudo do solo do ponto de vista edafológico. O significado especial desta característica prende-se ao fato de que, no solo, os fenômenos essenciais para a vida das plantas ocorrem nos poros. Reações químicas e biológicas, fluxo de fluidos, difusão de gases e íons, fenômenos de troca e processos físicos, como por exemplo, retenção de umidade, são alguns dos fatores que atuam no sistema poroso do solo constituindo as condições ambientes para o crescimento das raízes das plantas.

Sendo o solo essencialmente um conjunto de partículas minerais e orgânicas variáveis quanto ao seu tamanho, forma, concentração e organização, a geometria do vazio é, conseqüentemente, uma complexa rede de poros, interligados, de tamanhos e formas variadas. Este sistema poroso apresenta, para cada solo, num determinado instante, uma distribuição de poros por tamanho e uma particular organização destes vazios. Em virtude do solo ser um sistema natural dinâmico, sujeito quando cultivado, a modificações na sua estrutura, haverá também, conseqüentemente, alterações na geometria do vazio de amostras por deformações na mesma durante a amostragem ou preparo para análise em laboratório.



Um exame da literatura pertinente, revela que, dentre os fatores mencionados acima, o fluxo de fluídos e retenção de umidade dependem, não só do volume total de vazio por unidade de volume do solo e da distribuição de poros por tamanho, como também da ordem dessa distribuição. Um efeito prático dessa dependência é que poros grandes atuam diferentemente conforme estejam ligados a poros de dimensões maiores, iguais ou menores.

Este trabalho foi executado com os objetivos de verificar as relações de porosidade do solo quando este se apresenta com teores de umidade correspondentes a determinadas tensões e as diferenças de tensão a determinados teores de umidade do solo, por amostras deformadas e indeformadas. Para estes estudos foram utilizados dois solos que ocorrem no Município de Piracicaba por apresentarem características marcadamente distintas.

## REVISÃO DA LITERATURA

### Porosidade de Aeração

Determinadas propriedades físicas do solo se acham intimamente relacionadas com o tamanho e a proporção dos poros que o solo apresenta. Poro capilar (microporo) é o volume de vazios dos pequenos poros responsáveis pela retenção da água e, poro não capilar (macroporo) é o volume de vazios de grandes poros e são responsáveis pela drenagem rápida dos solos garantindo o arejamento. LEAMER e SHAW (1941) com base nos pesquisadores europeus afirmaram que a resposta de produção de muitas culturas está intimamente associada com a distribuição dos espaços porosos do solo.

KOPECKI (1927) observou que a porosidade livre de água está associada com bons rendimentos das culturas. Verificou que, para o capim sudanês uma porosidade não capilar de 5 a 10% e para trigo e aveia 10 a 15% são adequadas.

BAVER e FARNSWORTH (1940) condicionaram o solo a

um tratamento para variar a porosidade não capilar, a fim de verificar o valor limite da porosidade não capilar para beterraba de açúcar. Concluíram que a beterraba é influenciada pela aeração do solo e perdas de 50% ocorreram onde a porosidade não capilar atingiu a 2%. Solos com porosidade não capilar entre 7 a 10% produz bons tipos de beterraba com alto teor de açúcar. Verificou ainda que a porosidade não capilar o limite é de 8% a 7,5 cm de profundidade.

UHLAND (1949) verificou a modificação das propriedades físicas do solo pelo manejo do solo e pela cultura, pois, o estado físico de um solo não é estático. Verificando as propriedades físicas de um solo cultivado com alfafa e kudzu, observou que pode haver um aumento de porosidade, permeabilidade e grau de agregação do solo devido ao sistema radicular

Devemos considerar que a difusão dos gases é o pro

cesso mais importante na aeração do solo. A difusibilidade do solo depende da porosidade livre de água e WESSILING e VANWIJK (1957) considerando os resultados de vários estudos sobre a relação entre a porosidade livre de água e a difusibilidade do ar, concluíram que a difusão no solo deixa de se manifestar se a porosidade livre de água é menor que 10%. Portanto, temos um limite inferior físico da porosidade livre de água.

GROHMANN (1960) realizou estudos sobre tamanho e distribuição dos poros em terra roxa misturada e legítima e arenito Bauru e um bloco de areia pela aplicação das tensões a 15, 30, 60 e 150 cm de altura de água. Verificou que a distribuição dos poros na terra roxa e legítima aumenta com a profundidade do perfil. A porosidade capilar (microporosidade) é maior na camada superficial e decresce nas camadas mais profundas. No arenito Bauru a microporosidade aumenta com a profundidade do perfil e apresenta uma elevada porosidade não capilar.

VOMOCIL e FLOCKER (1961) citado por ROBINSON (1964)

concluíram que a amplitude de 10 a 15% de porosidade livre de água é adequada para numerosas culturas. Especificamente para

cana de açúcar SCARSBROOK (1952) achou que uma variação de 9 a 10% de porosidade livre é adequada.

OLIVEIRA (1963) realizando estudos físicos-hidricos do solo verificou a presença de uma camada densa através dos valores da capacidade de infiltração, coeficiente de permeabilidade e porosidade capilar (microporos) e não capilar (macroporos). Observou ainda que na determinação da porosidade capilar houve concordância da porosidade capilar com a permeabilidade e capacidade de infiltração.

ROBINSON (1964) conduzindo experimentos em lisímetros em Honolulu cujo volume de ar foi controlado pela manutenção de lençol freático abaixo da cana, concluiu que uma média de volume de ar de 11% do volume do solo ou uma variação de 9, a 12, 2% permitiu um funcionamento normal das raízes da cana.

OLIVEIRA (1967) verificou que o adensamento existente nas diversas camadas dos solos estudados ficou caracterizado através dos valores do coeficiente de permeabilidade e da porosidade capilar (microporo) e não capilar (macroporo) determinadas com amostras com estrutura indeformada.

Evidentemente o equilíbrio entre a macroporosidade e microporosidade está relacionado com a estrutura do solo, e MARCOS (1968) salienta que não escapou aos pesquisadores a idéia da atenção que se deve dar ao estudo das propriedades do solo que se acham em função de sua estrutura. BRADFIELD e JAMISON (1939) citado por MARCOS (1968) propuseram que a caracterização quantitativa da estrutura seja feita através da medição da distribuição e tamanho dos poros. STAUFFER (1927) afirma que o verdadeiro conhecimento das características físicas do solo se torna possível quando as propriedades podem ser medidas e expressas quantitativamente.

FORSYTHE et al (1967) realizaram estudos das características físicas do solo e determinaram a curva de retenção da água do solo no manejo do sistema solo-água ar-planta durante o ciclo do cultivo e no planejamento do sistema de drenagem, considerando a porosidade livre da água e a capacidade de drenagem.

## Água do Solo

É necessário estudar a capacidade de água disponível do solo para estabelecer a frequência de irrigação e por tanto há necessidade de medi-la. O limite superior da umidade disponível do solo é usualmente representado pela Capacidade de Campo (Ccampo) definida por VEIHMEYER e HANDRICKSON (1931) como a quantidade de água retida pelo solo após drenar o excesso de água gravitacional e quando o movimento descendente de água tenha decrescido materialmente. E deve ocorrer pouco depois de uma chuva ou irrigação, VEIHMEYER e HANDRICKSON (1949).

COLMAN (1947) relatou que a utilidade da capacidade de retenção de umidade como uma característica do solo aliada à dificuldade de sua determinação direta, proporciona uma relação que pode ser facilmente determinada em laboratório. Segundo Colman, um pequeno bloco de solo, drenado em uma placa porosa a tensão de  $1/3$  de atmosfera, a umidade correspondente pode ser relacionada empiricamente com a Ccampo de alguns solos de terminada sob condições naturais, e sugere que este procedimento pode ser um meio rápido de determinar indiretamente a Ccampo.

Embora COLMAN (1947), JAMISON e KROTH (1958) tenham verificado que uma tensão de 0,33 atm pudesse ser usada para indicar indiretamente o valor da Ccampo, outros pesquisadores têm usado tensões diferentes com resultados satisfatórios. Assim HANKS et al (1954) usaram 0,2 atm, e HAISE et al (1955) 0,10 atm e RUSSEL e BALCEREK (1944) usaram 0,05 atm.

LOHNES e HANDY (1968), BRAMÃO e DUDAL (1958),.... SOMBROEK (1966) e RANZANI et al (1966) têm apresentado dados de limite superior e inferior de umidade do solo considerando a capacidade de água disponível entre as tensões de 0,33 e 15 atm.

Os dois últimos autores tem usado a umidade equivalente para a mais baixa tensão. Mas, MARCOS (1968) e GROHMAN (1960), estudando a relação da porosidade de um solo similar, registraram tensão de umidade a 0,15 atm. SOMBROECK (1966) apresentou curva de umidade de Latosol vermelho escuro

que parece corresponder à tensão de 0,1 atm.

Os métodos para determinar estes parâmetros são de morados e trabalhosos, e por esta razão foram introduzidos métodos indiretos de laboratório. SALTER e HAWORTH (1961), porém demonstraram que a Ccampo determinada em condições de campo oferecem resultados mais consistentes do que o método de laboratório com o uso da placa de pressão proposto por RICHARDS (1943). A determinação do PMP em amostras indeformadas de solos dá melhores resultados. Nos estudos de plantas irrigadas, os níveis de umidade do solo não devem atingir o PMP, portanto, a sua determinação não exige muita precisão, sendo perfeitamente admissível o método indireto pelo uso da membrana de pressão de RICHARDS (1947). Mesmo o uso de amostras indeformadas permitem resultados satisfatórios para a determinação do PMP.

SALTER e HAWORTH (1961), em determinações prévias da Ccampo no solo, indicaram que 0,05 atm era a tensão provável para indicar a mais estreita aproximação de Ccampo do solo estudado. Na comparação de métodos para determinar a Ccampo, revelou que usando a placa de pressão com amostras indeformadas de solo obteve resultados satisfatórios. Nenhum método de laboratório pode ser um substituto do método direto, pois a Ccampo é influenciada pelas propriedades físicas e condições de umidade do perfil.

Segundo SALTER e WILLIAMS (1965) quando as umidades determinadas a 1/3 e 15 atm forem usadas como limites superior e inferior, respectivamente, os valores de capacidade de água disponível (CAD) dos solos estudados foram menores do que aqueles obtidos pelo uso da técnica de determinação direta no campo. As diferenças variaram de 9 a 76%, com média de 40% para 11 solos estudados. A característica de umidade do solo pode ser consideravelmente influenciada pela estrutura do solo. RICHARDS et al. (1961), KELLEY (1954), RICHARDS e WADLEIGH

(1952) e MARCOS (1968) mencionam em seus trabalhos vários efeitos da estrutura e do regime de água do solo.

## MATERIAIS e MÉTODOS

### Solo

O material que serviu de apoio para este estudo foi coletado a profundidades especificadas em dois solos que ocorrem no Município de Piracicaba. Estes solos foram classificados por RANZANI et al (1966) como séries Luiz de Queiroz e Sertãozinho, pertencentes às unidades de mapeamento Terra Roxa Estruturada e Regosol classificados e mapeados pela Comissão de Solos do CNEPA (1960) ao nível de grande grupo.

Estas unidades foram escolhidas, por apresentarem características físicas e morfológicas contrastantes julgadas interessantes aos propósitos do presente trabalho.

Foram escolhidos os horizontes até a profundidade de 45 cm por se tratar da camada do solo mais diretamente ligada aos trabalhos de irrigação e drenagem.

O estudo do perfil, realizado pelo Departamento de Solos e Geologia da ESALQ, apresentou as seguintes características morfológicas:



Série Sertãozinho

Ap 0- 25 cm: pardo avermelhado claro (5 YR 6/4;4/6 úmido); salpicado de areia lavada; barro arenoso grosso; maciço; macio, muito friável, não plástico, não pegajoso; galerias, pouca; raízes finas, comum; carvões, comum; pH 4,3; limite suave, difuso.

C<sub>1</sub> 25-75 cm: pardo avermelhado (5 YR 5/3; 4/4 úmido), barro arenoso grosso; maciço; macio, muito friável, não plástico, não pegajoso; galerias, pouco; raízes finas; comum; carvões, comum; pH 4,3; limite suave, difuso.

Série Luiz de Queiroz

Ap 0 - 25cm: pardo avermelhado (3,5YR 4/4; 3/4) úmido, barro argiloso; granular, média a grossa, moderada a forte; duro, friável, ligeiramente pegajoso; raízes finas abundantes, cascalhos (1 cm) anguloso, raro; pH 6,0; limite ondulado, claro.

B<sub>21</sub> 35-55 cm: vermelho escuro (2,5YR 3/6); argila; blocos subangulares, médio a grande, moderado; macroestrutura prismática; fendilhamento de 1 a 1,5 cm espaçados cada 25-35 cm; ligeiramente duro; muito friável, ligeiramente plástico, pegajoso; raízes finas abundantes; macroporos (1 - 2 cm) abundantes; pH 6,0; limite suave, gradual.

Estudos de Campo

Coleta de amostras de solo - As amostras de solo foram coletadas em perfis representativos de cada uma das séries com auxílio do cilindro de UHLAND (1949) a profundidades especificadas a 7,5; 15,0; 22,5; 30,0; 37,5 e 45,0 centímetros, obten

do assim amostras com 4 repetições para cada profundidade. O QUADRO 1 mostra a discriminação dos tratamentos. O cilindro foi cravado no solo por percussão.

As amostras indeformadas em números de 24 para cada solo e com um volume de  $347,5 \text{ cm}^3$ , foram condicionadas em caixas individuais e levadas ao laboratório para as análises e determinações necessárias.

QUADRO 1 - Discriminação dos tratamentos.

Tratamentos		
nº	Símbolos	Solo
1	7,5	Luiz de Queiroz
2	15,0	Luiz de Queiroz
3	22,5	Luiz de Queiroz
4	30,0	Luiz de Queiroz
5	37,5	Luiz de Queiroz
6	45,0	Luiz de Queiroz
7	7,5	Sertãozinho
8	15,0	Sertãozinho
9	22,5	Sertãozinho
10	30,0	Sertãozinho
11	37,5	Sertãozinho
12	45,0	Sertãozinho

No mesmo local da coleta das amostras indeformadas, foram retiradas amostras deformadas de 2 kg de terra obedecendo o mesmo critério quanto às profundidades. Estas amostras foram levadas para o laboratório e secadas ao ar. A seguir foram destorroadas e passadas na peneira nº 10 - 2 mm de diâmetro para obtenção de terra fina seca ao ar.

Capacidade de campo (Ccampo) - Para verificar a capacidade de água disponível do solo foi determinada a capacidade de retenção dos solos em condições de campo, comumente conhecida como capacidade de campo.

No mesmo local de retirada das amostras dos tratamentos foi instalado um dispositivo de chapa de ferro de secção retangular de 1,35 x 0,75 metros e 0,40 metros de altura, cravado no solo até a profundidade de 10 cm. Esta capacidade (405 l) foi escolhida para assegurar a incorporação de água no solo até a profundidade de 1 metro aproximadamente.

A umidade do solo foi determinada gravimetricamente, após a infiltração da água, a intervalos de 24 horas durante 120 horas.

As amostras para determinar a umidade foram retiradas com auxílio do tubo de VEIHMEYER (1929) (espaçadas uma da outra de 30 cm) às profundidades de 7,5; 15,0; 22,5; 30,0; 37,5 e 45,0 centímetros respectivamente.

### Estudos de Laboratório

Separação das partículas - A análise granulométrica foi feita com amostras de 10 g, seca ao ar usando o hexamefosfato de sódio como agente dispersante a 5%. A fração argila foi determinada pelo método da pipeta adotado por STEEL e BRADFIELD (1934). A fração areia foi separada pelo peneiramento úmido (peneira 270 - diâmetro 0,053 mm) e subsequentemente fracionada por peneiramento a seco. Estas determinações foram feitas em

duplicata para cada amostra, de acordo com a classificação granulométrica da USDA. As frações determinadas foram as seguintes:

Fração	Tamanho
Areia muito grossa - amg.....	1,0 - 2,0 mm
Areia grossa - ag.....	0,5 - 1,0 mm
Areia média - am.....	0,25 - 0,5 mm
Areia fina - af.....	0,10 - 0,25 mm
Areia muito fina - amf.....	0,25 - 0,10 mm
Limo.....	0,10 - 0,02 mm
Argila.....	0,02 - 0,002mm

A argila dispersa em água, denominada argila natural por VETTORI (1969), foi determinada por procedimento idêntico ao anteriormente descrito, sem o dispersante.

Determinação do peso específico aparente ( $\gamma_s$ ) - Esta determinação foi realizada com auxílio do cilindro de UHLAND (1949) com anéis volumétricos de alumínio de 347,5 cm<sup>3</sup> de Volume, com 4 repetições às profundidades de 7,5; 15,0; 22,5; 30,0; 37,5 e 45,0 cm. O cilindro foi cravado no solo por percussão e os anéis que conduzem a amostra retirados cuidadosamente. Com uma espátula retirou-se o excesso de solo de modo a obter um volume de solo idêntico ao do anel. A seguir a amostra foi colocada na estufa e submetida a um equilíbrio térmico de 105 a ... 110° C. A relação que define o peso específico aparente é:

$$\gamma_s = P_s \cdot V_t \delta^{-1}$$

onde  $P_s$  é o peso seco em g; e  $V_t$  é o volume total em cm<sup>3</sup>.

Determinação do peso específico real ( $\delta$ ) - Foi usa

do o método do picnômetro com capacidade de 50 cm<sup>3</sup> segundo BLACK (1965).

Para esta determinação usou-se três amostras secas ao ar, cuja umidade natural foi determinada gravimetricamente. MARCOS (1971) fez experimento com amostras seca em estufa e seca ao ar e as diferenças foram insignificantes.

Para eliminar as bolhas de ar da água e da amostra, a mesma, foi submetida ao vácuo equivalente a uma coluna de 72 cm de mercúrio.

O peso específico real é definido como:

$$\delta = \frac{P_s}{P_{pa} + P_s - P_{pas}}$$

onde:  $P_s$  - peso correspondente a solo seco em estufa a 105 ... 110° C em g;

$P_{pa}$  - peso do picnômetro com água destilada em g;

$P_{pas}$  - Peso do picnômetro, água e solo a temperatura ambiente em g.

O peso específico real foi determinado para as seis amostras de cada solo.

Ponto de murchamento permanente - (PMP) - Foi determinado pela membrana de RICHARDS (1949) com amostras indeformadas contidas nos anéis de alumínio com 4 repetições para as 6 profundidades dos solos em estudo. As amostras foram submetidas a saturação completa e a seguir a um equilíbrio hidráulico correspondente a uma altura de coluna de água de 150 metros ou 15 atmosferas. As amostras foram submetidas a pressão até cessar a drenagem. Após esta operação as umidades foram determinadas gravimetricamente.

Curva característica de umidade - As determinações

da tensão de água do solo abrangeram amostras deformadas e indeformadas, e se referem desde a saturação com potencial próximo de zero (0,001 até o potencial de 15 atmosferas).

Para determinar o potencial de 0,001 a 0,2 atm foi usada uma placa porosa de RICHARDS (1943) de 1 bar, especialmente montada para este trabalho. A retirada de água foi feita por sucção.

O uso de colunas de água e de placa porosa para relacionar o potencial com o teor de umidade do solo é bastante comum. Em geral, tem-se procedido a esta determinação com um funil munido de uma placa porosa. MARCOS (1968) construiu um dispositivo, por ele denominado de unidade de sucção, apresentando de talhes operacionais que simplificam as operações.

Para o presente trabalho envolvendo 24 amostras indeformadas, correspondentes aos dois solos em estudo com amostras contidas em anéis de 7,5 cm de diâmetro, seriam necessárias várias unidades de sucção devido ao elevado número de amostras. Por esta razão foi idealizado o uso da placa porosa de Richards que comporta 6 amostras simultaneamente.

A geometria do sistema idealizado para determinar os potenciais de água do solo de 0,001 a 0,2 atmosfera é apresentada na Fig. 1. Consta da placa porosa e de um tubo de plástico flexível conectado à placa e a um recipiente, tipo proveta, com duas saídas na base.

Uma saída é conectada ao tubo flexível e a outra, em contato com a atmosfera, se destina a drenar a água. O recipiente tem a função de manter o sistema completamente cheio de água, isto é, o tubo e os poros da placa, pois existe um vácuo

parcial no recipiente, conforme mostra a Fig. 1. Dessa maneira não há entrada de ar no sistema. A placa se mantém a uma certa altura fixa. A altura de sucção é regulada pelo recipiente por uma das saídas que está em contato com a atmosfera e que se desloca num suporte com uma escala graduada em centímetros.

Para preparar o sistema é necessário remover todo o

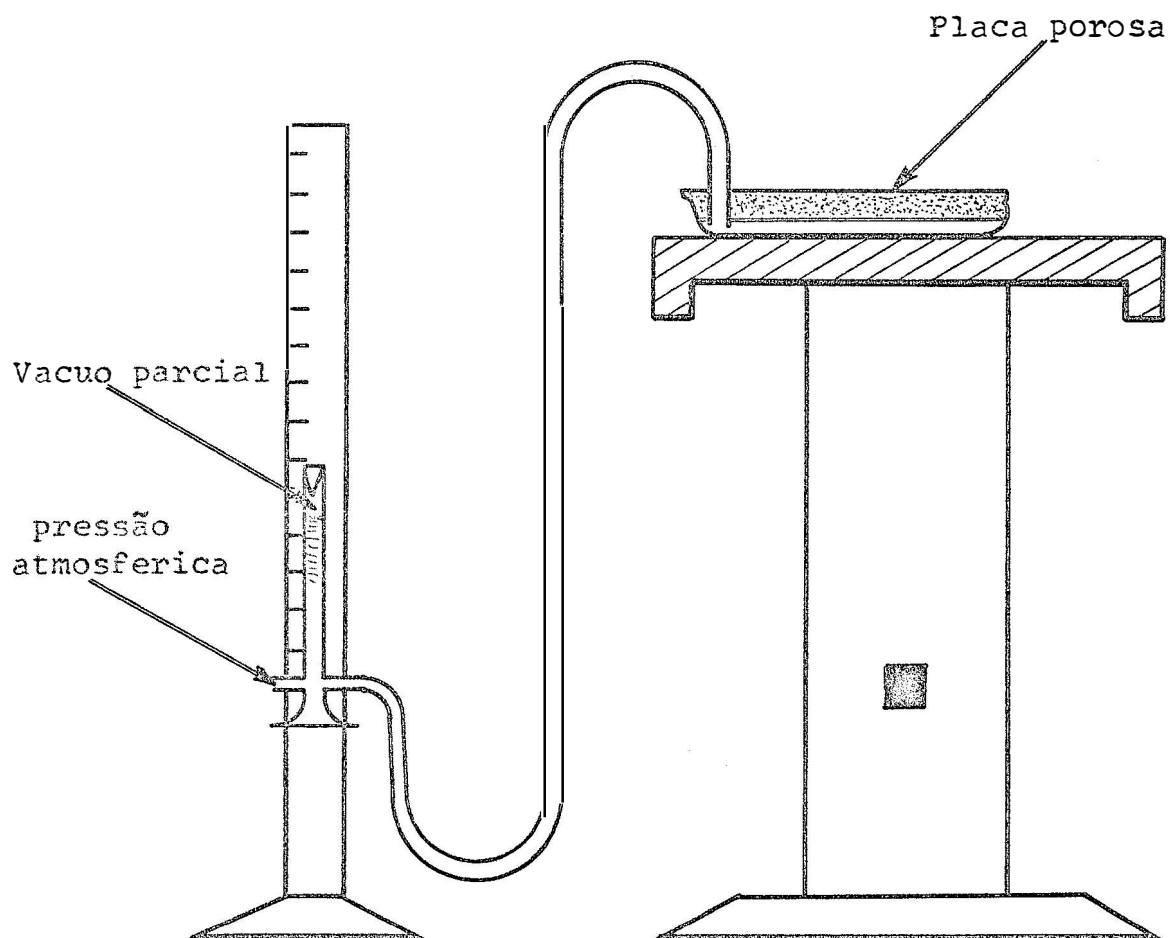


Fig. 1 - Geometria do sistema para determinar potenciais de 0,001 a 0,2 atmosferas.

ar contido na placa porosa e saturá-la com água. A remoção do ar da placa é feita mergulhando na água e submetendo-a a sucção com auxílio de uma bomba de vácuo. Esta operação prossegue até que todos os poros da placa se achem completamente saturados de água, o que pode ser perfeitamente observado através de um frasco que está entre a placa e a bomba de vácuo. A conexão do tubo flexível com a placa é feita quando ambos estão submersos.

Quando a saída de água do recipiente está em nível com a parte superior da placa a pressão desta é atmosférica.

Para colocar o sistema em funcionamento deve-se obter um filme de água sobre a placa de modo a dar o melhor contato do solo no cilindro com a placa. Este cuidado é importante para as amostras indeformadas. Colocada as amostras sobre a placa deve-se protegê-las com um plástico para evitar a evaporação.

A saturação das amostras foi feita em tanques, onde a água penetrava de baixo para cima. Para que a água emergisse na amostra foi colocado um anel de 2,5 cm de altura, ao anel de 7,5 cm de altura preso por fita adesiva. Após a saturação da amostra, a mesma foi pesada e levada para a placa porosa. A seguir o recipiente foi deslocado para as posições correspondentes às sucções desejadas de acordo com o QUADRO 2.

Para cada altura de sucção as amostras foram pesadas, após cessar a drenagem no recipiente, e os seus pesos registrados

Para as determinações de potenciais acima de 0,2.. atm foram usadas as placas de pressão e membrana de pressão de

Terminados os ensaios da placa porosa as amostras foram levadas para as placas de pressão tendo-se o cuidado de remover o ar da placa e saturá-la convenientemente, para determinar os potenciais da água do solo de 0,2 a 1,0 atmosfera....



QUADRO 2 - Potencial de água do solo e aparelhos utilizados para determinar a unidade dos tratamentos.

---

Potencial da água de solo - atm	Aparelho
0,004	Placa porosa de Richards
0,02	Placa porosa de Richards
0,06	Placa porosa de Richards
0,08	Placa porosa de Richards
0,10	Placa porosa de Richards
0,20	Placa porosa de Richards
0,33	Placa de pressão de Richards
0,70	Placa de pressão de Richards
1,00	Placa de pressão de Richards
3,00	Membrana de pressão de Richards
6,00	Membrana de pressão de Richards
15,00	Membrana de pressão de Richards

---

(QUADRO 2). Antes de colocar as amostras adicionou-se um filme de água à placa de modo a dar melhor contato de solo a mesma.

Para a determinação do potencial de água do solo na pressão,  $1/3$  da amostra era retirado cuidadosamente do anel de 7,5 centímetros com ligeira pressão e colocada em anel de 2,5 cm. Esta amostra era colocada na membrana de pressão e submetida a saturação. A seguir foi determinado o potencial de água do solo às tensões especificadas (QUADRO 2). Terminado o ensaio a amostra foi pesada e levada à estufa a  $105 - 110^{\circ}\text{C}$  para eliminação da umidade, e o respectivo peso seco registrado.

O peso da amostra do solo seco de cada anel serviu de base para o cálculo das umidades correspondentes a todos os ensaios realizados,

Com as amostras deformadas foi também determinada a curva característica de umidade do solo, fazendo uso dos mesmos aparelhos. Apenas que, para cada ensaio, usou-se uma amostra diferente. As amostras foram colocadas em anéis de borracha de 5 cm de diâmetro por 1 cm de altura, na quantidade aproximadamente de 25 a 30 g de solo. A seguir foram submetidas a saturação por 24 horas e submetidas às tensões desejadas.

As umidades foram determinadas gravimetricamente para cada ensaio. Estes ensaios foram feitos com três repetições

Porosidade total do solo - A porosidade do solo se refere ao volume do solo que não é ocupado por partículas sólidas. Um solo seco tem seus poros ocupados pelo ar ao passo que um solo úmido tem seus poros ocupados por água e ar. Portanto a quantidade de ar e água presente está intimamente relacionada com o tamanho dos poros.

A porosidade total dos solos dos tratamentos foi determinada diretamente pela quantidade de água que o volume destes solos continha quando saturado.

Esta porosidade foi também calculada teoricamente a partir do seu peso específico aparente ( $\gamma_s$ ) e do peso específico real ( $\delta$ ) através da expressão:

$$P = 100 (1 - \gamma_s \cdot \delta^{-1})$$

onde: P é a porosidade total em porcentagem;

$\gamma_s$  peso específico aparente em g/cm<sup>3</sup>;

$\delta$  peso específico real em g/cm<sup>3</sup>.

$100 \cdot \gamma_s \cdot \delta^{-1}$  = é o volume de matéria sólida.

A porosidade total não é tão importante como a distribuição e o tamanho dos poros na caracterização da estruturado solo e do arejamento do mesmo após uma irrigação ou chuva.

É conveniente fazer uma distinção entre os tamanhos dos poros e a sua proporção, devido às suas relações com determinadas propriedades físicas do solo.

A porosidade capilar é normalizada e segundo PEELE (1949), UHLAND (1949), VAN DOREN e KLINGEBIEL (1949) e GROHMANN (1960) é aquela que o solo apresenta quando submetido a uma tansão de 0,60 metros de coluna de água.

Como a água no solo se encontra em um estado dinâmico, havendo trocas constantes, é necessário que se defina a porosidade livre de água de acordo com as mudanças das tensões de umidades. Assim, pode ser expressada teoricamente pela fórmula seguinte:  $Pl_a = 100 (1 - \gamma_s \cdot \delta^{-1}) - U_v$

onde:  $Pl_a$  - é a porosidade livre de água em porcentagem;

$U_v$  - umidade do solo em porcentagem com base em volume.

No presente trabalho foram determinadas diretamente a porosidade total, capilar (microporosidade), não capilar (macroporosidade) e a porosidade livre de água de acordo com as tensões de umidade do solo, em todos os tratamentos.

## RESULTADOS e DISCUSSÃO

As amostras do solo que constituem os tratamentos básicos utilizados no presente trabalho foram levantadas no campo e representam o perfil de cada solo até a profundidade de 45 centímetros. Este valor foi escolhido porque é a profundidade em geral atingida pelo sistema radicular das plantas cultivadas quando irrigadas.

### Características físicas dos solos

Partículas primárias do solo - Os valores percentuais das frações de areia, limo e argila estão indicados no QUADRO 3 mostrando as variações em profundidades para os dois solos. O teor de argila no Luiz de Queiroz é bem mais elevado do que no Sertãozinho; portanto deve-se esperar um comportamento diferente destes solos com relação ao ar e a água, e também num mesmo solo entre as diferentes camadas.

A Fig. 2 ilustra em diagrama estas variações e a distribuição das partículas sólidas até a profundidade de 45cm.

Peso específico real ( $\delta$ ) - Os resultados se encontram no QUADRO 4. Para o solo Luiz de Queiroz a variação é pe

QUADRO 3 - Distribuição das partículas dos solos Sertãozinho e Luiz de Queiroz expressa em porcentagem.

Profundidade cm	D I S P E R S A E M C A L G O N						Limo	Arg.	Dist. água. Arg.
	m.g.	g.	m.	f.	m.f.	total			
	A R E I A								
S E R T ã O Z I N H O									
0 - 7,5	0,03	1,85	15,69	46,80	15,85	80,22	12,73	7,05	2,52
7,5 - 15,0	0,19	1,98	15,63	46,17	15,85	79,82	9,58	10,60	2,02
15,0 - 22,5	0,00	1,97	16,07	42,80	16,44	77,28	5,54	17,18	3,54
22,5 - 30,0	0,17	1,51	13,04	38,37	15,11	68,40	13,75	17,85	4,59
30,0 - 37,5	0,23	2,22	14,65	38,84	16,14	72,08	5,52	22,40	5,73
37,5 - 45,0	0,35	2,30	14,55	39,32	15,94	72,46	6,18	21,76	6,07
L U I Z D E Q U E I R O Z									
0 - 7,5	0,78	1,64	1,93	21,29	11,51	37,15	28,04	34,81	19,74
7,5 - 15,0	0,49	1,44	6,90	19,06	10,40	38,29	22,28	39,43	19,07
15,0 - 22,5	0,65	1,57	7,30	20,38	10,76	40,66	21,99	37,35	18,16
22,5 - 30,0	0,32	0,85	4,61	13,95	7,73	27,46	19,16	53,38	24,87
30,0 - 37,5	0,41	0,91	5,84	13,89	7,99	29,04	11,76	59,20	20,86
37,5 - 45,0	0,21	0,78	4,38	13,32	7,17	25,86	13,60	60,54	24,53

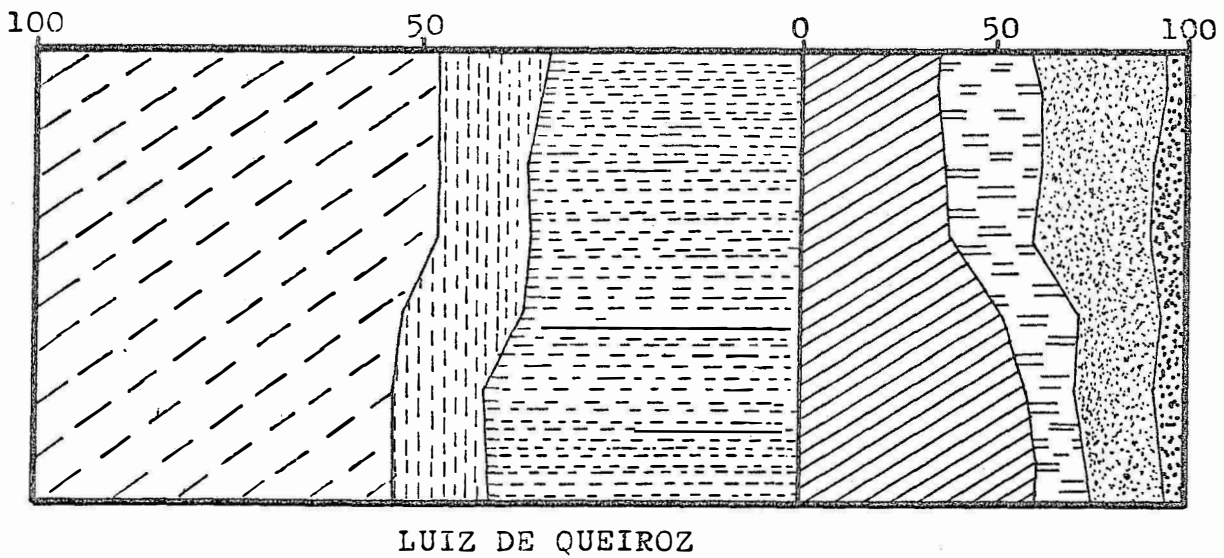
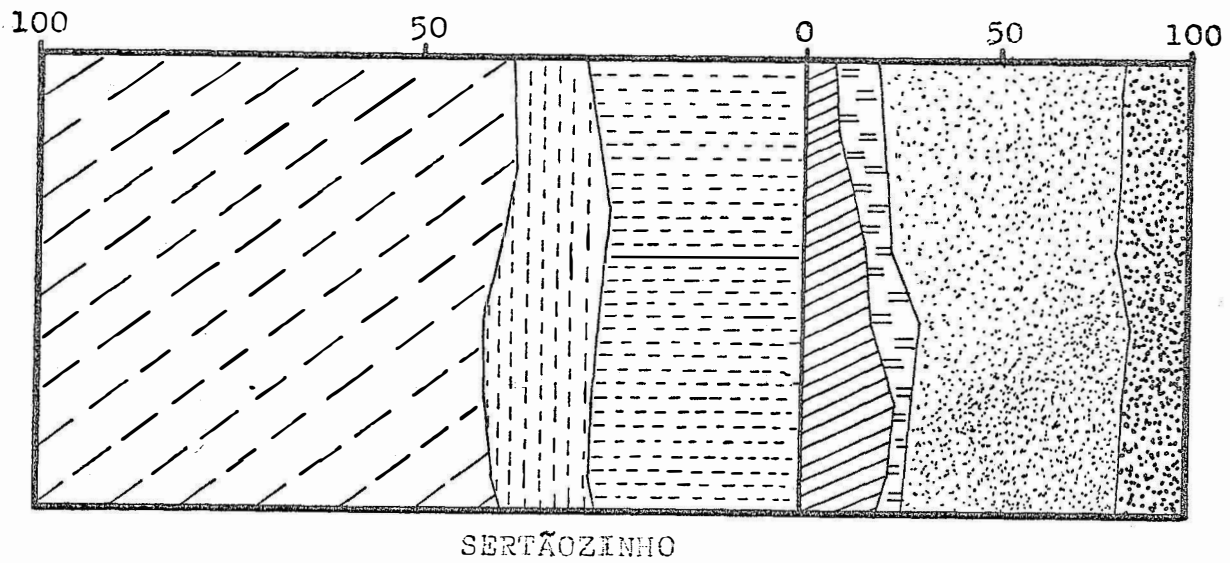
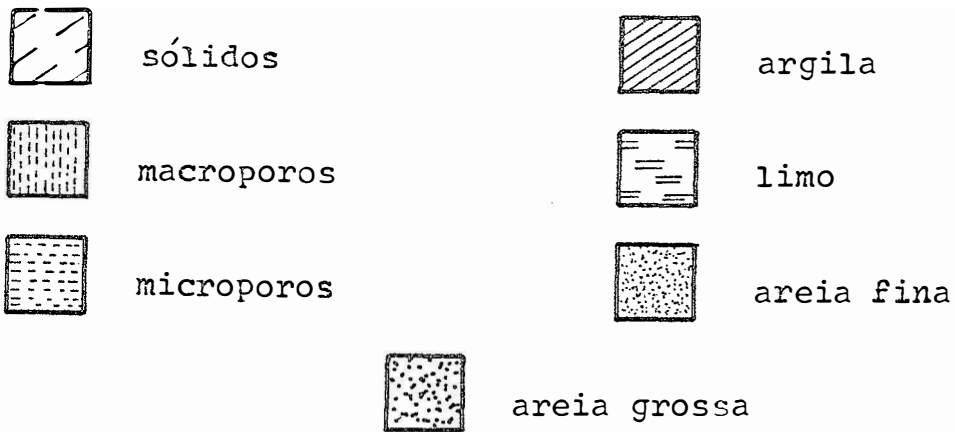


Fig. 2 - Ilustração esquemática da distribuição até 0,45 m de profundidade, da porosidade e das partículas sólidas por tamanho, nos solos Sertãozinho e Luiz de Queiroz.

QUADRO 4 - Características físicas do perfil dos solos estudados.

Profundidade cm	Peso específico		Porosidade				
	real g/cm <sup>3</sup>	aparente g/cm <sup>3</sup>	Macro %	Micro %	Total %*    %**		
S E R T A O Z I N H O							
0 - 7,5	2,530	1,573	9,88	27,92	37,80	32,62	
7,5 - 15,0	2,657	1,654	12,30	25,40	37,70	31,11	
15,0 - 22,5	2,634	1,585	14,27	25,63	39,90	34,52	
22,5 - 30,0	2,626	1,527	15,66	26,36	42,00	35,90	
30,0 - 37,5	2,581	1,515	14,12	27,28	41,40	36,47	
37,5 - 45,0	2,530	1,509	12,54	27,86	40,40	36,34	
L U I Z D E Q U E I R O Z							
0 - 7,5	2,870	1,507	12,89	34,57	47,46	39,21	
7,5 - 15,0	2,830	1,512	11,46	36,12	47,58	39,38	
15,0 - 22,5	2,800	1,483	12,64	35,58	48,22	40,29	
22,5 - 30,0	2,864	1,357	16,31	36,31	52,62	40,27	
30,0 - 37,5	2,875	1,345	11,82	41,40	53,22	48,12	
37,5 - 45,0	2,842	1,323	12,61	40,84	53,45	46,70	

\* Calculada pela equação -  $P = 100 (1 - \gamma_s \cdot \delta^{-1})$ .

\*\* Determinada com base no volume de água no ponto de saturação.

quena entre as profundidades O solo Sertãozinho apresentou valores mais baixos como era esperado, por se tratar de um solo com insignificante teor de minerais pesados em comparação com o Luiz de Queiroz.

Peso específico aparente ( $\gamma_s$ ) Estas determinações, cujos resultados aparecem no QUADRO 4, foram feitas com amostras indeformadas e representam a média de quatro repeti-

ções. Os valores referentes ao solo Luiz de Queiroz são maiores nas três camadas superiores podendo-se atribuir à compactação provocada por máquinas. Este resultado confirma os resultados de MARCOS (1971), estudando o mesmo solo. O solo Sertãozinho apresenta menor variação entre as camadas estudadas. Os valores mais altos para o Sertãozinho são esperados por se tratar de um solo arenoso.

Porosidade do solo - Os valores da porosidade total se encontram no QUADRO 4; uma determinada a partir das amostras indeformadas quando as mesmas atingem o ponto de saturação e a outra é calculada pela expressão  $P = 100 (1 - \gamma_s \cdot \delta^{-1})$ .

A porosidade total determinada, que corresponde ao ponto de saturação do solo com potencial igual a 0,001, aproximadamente, é menor do que aquela calculada com o auxílio dos pesos específico real e aparente conforme ilustra o QUADRO 4.

MARCOS (1971) considera que a diferença entre estas porosidades indica que parte dos poros não foram preenchidos pela água na saturação. É provável que parte destes poros vazios pertencem aos poros não capilares. A porosidade de um volume de solo determinada por cálculo será superestimada em relação à determinada. É razoável considerar que a diferença da porosidade calculada e determinada representa grandes poros.

O QUADRO 5 ilustra as diferenças em porcentagem entre as porosidades calculada e determinada que é variável com a profundidade em ambos os solos. O fato destas diferenças se



QUADRO 5 - Porosidade não capilar (macroporo) calculada e determinada e diferenças em % com base nos valores calculados.

Profundidade cm	Porosidade não capilar		Diferença	Diferença
	Calculada	Determinada	%	%
S E R T A O Z I N H O				
0 - 7,5	9,88	4,76	5,12	51,82
7,5 - 15,0	12,30	5,71	6,59	53,60
15,0 - 22,5	14,27	8,89	5,38	37,70
22,5 - 30,0	15,66	9,56	6,10	38,90
30,0 - 37,5	14,22	9,19	5,03	35,40
37,5 - 45,0	12,54	8,48	4,06	41,80
L U I Z D E Q U E I R O Z				
0 - 7,5	12,89	4,64	8,25	64,00
7,5 - 15,0	11,46	3,71	7,75	67,63
15,0 - 22,5	12,64	4,71	7,93	62,74
22,5 - 30,0	16,31	3,96	12,35	75,72
30,0 - 37,5	11,82	6,72	5,10	43,15
37,5 - 45,0	12,62	5,86	6,76	53,57

rem mais pronunciadas no Luiz de Queiroz indicam que o solo Sertãozinho provavelmente apresenta maior uniformidade de distribuição da porosidade, mostrando que a geometria dos poros neste caso contribui mais facilmente na absorção e remoção da água e ar do solo (MARCOS, 1971).

A porosidade não capilar (macroporosidade) é representada pelo teor de água, com base em volume, quando o solo está em equilíbrio com a tensão de 0,06 atm.

O QUADRO 4 indica os valores da macroporosidade e a Fig. 2 ilustra a distribuição da porosidade até a profundidade estudada do solo. A porosidade total aumenta nos dois solos com a profundidade, sendo este aumento mais evidente no Luiz de Queiroz, devido ao seu maior teor de argila.

Porosidade livre da água ( $P_{LA}$ ) - Esta porosidade é definida pela relação:

$$P_{La} = 100 \left( 1 - \frac{U_v}{U} \right) - U_v$$

Como já foi discutido, esta porosidade é calculada e não determinada. Os QUADROS 6 a 17 indicam os valores da tensão da água do solo, umidade e porosidade livre de água, para os dois solos. As Figs. 3 a 14 ilustram as curvas características de umidade do solo e as curvas de porosidade livre de água, isto é, a calculada e a determinada, que são linhas de regressão cujo coeficiente angular é o peso específico aparente do solo, para ambas.

Observando as Figs. 3 a 14 do solo Sertãozinho nota-se que as curvas de retenção de umidade variam muito pouco com a profundidade. As linhas de regressão da porosidade livre de água apresentam a mesma inclinação. Como estas linhas dependem do peso específico aparente, e este por sua vez varia pouco com a profundidade, elas são praticamente iguais. A porosidade livre de água, avaliada a partir da porosidade total determinada apresenta uma linha de regressão paralela, à de  $P_{La}$  - calculada

QUADRO 6 - Valores da tensão da água do solo, unidade e porosidade livre de água calculada e determinada. Ser-tãozinho 0-7,5 cm.

Tensão atm	Umidade		Porosidade livre de água		
	% em peso	% em Vol.	Calculada		Determinada
			parcial %	total %	%
		37,80*			
0,001	20,74	32,62	5,18	5,18	
0,02	19,27	30,31	2,31	7,49	2,31
0,06	17,75	27,92	2,39	9,88	4,70
0,08	17,36	27,31	0,61	10,49	5,31
0,10	16,73	26,32	0,99	11,48	6,30
0,20	14,37	22,60	3,72	15,20	10,02
0,33	12,08	19,00	3,60	18,80	13,62
0,70	10,52	16,55	2,45	21,25	16,07
1,00	9,85	15,49	1,06	22,31	17,13
3,00	7,51	11,81	3,68	25,99	20,81
6,00	6,58	10,35	1,46	27,45	22,27
15,00	5,85	9,20	1,15	28,60	23,42

\* Porosidade total calculada -  $P = 100(1 - \gamma_s \cdot \delta^{-1})$

QUADRO 7 - Valores da tensão da água do solo, unidade e porosidade livre de água calculada e determinada. Ser~~te~~zozinho 7,5-15,0 cm.

Tensão atm	Unidade		Porosidade livre Calculada		de água Determinada
	% em peso	% em Vol.	parcial %	total %	%
		37,70*			
0,001	18,81	31,11	6,59	6,59	
0,02	17,36	28,71	2,40	8,99	2,40
0,06	15,36	25,40	3,31	12,30	5,71
0,08	14,40	23,82	1,58	13,88	7,29
0,10	13,55	22,41	1,41	15,29	8,70
0,20	11,58	19,15	3,26	18,55	11,96
0,33	10,64	17,60	1,55	20,10	13,51
0,70	9,70	16,04	1,56	21,66	15,07
1,00	9,22	15,25	0,79	22,45	15,86
3,00	7,07	11,69	3,56	26,01	19,42
6,00	6,41	10,60	1,09	27,10	20,51
15,00	5,81	9,61	0,99	28,09	21,50

\* Porosidade total calculada -  $P = 100 (1 - \gamma_s \cdot \delta^{-1})$

QUADRO 8 - Valores da tensão da água do solo, umidade e porosidade livre de água calculada e determinada. Ser-  
tãozinho 15-22,5cm.

Tensão	Unidade		Porosidade livre de água		
	% em peso	% em Vol.	Calculada		Determinada
atm			parcial	total	
			%	%	%
		39,90*			
0,001	21,78	34,52	5,38	5,38	
0,02	18,94	30,02	4,50	9,88	4,50
0,06	16,17	25,63	4,39	14,27	8,89
0,08	15,11	23,95	1,68	15,95	10,57
0,10	14,38	22,79	1,16	17,11	11,73
0,20	12,62	20,00	2,79	19,90	14,52
0,33	11,53	18,27	1,73	21,63	16,25
0,70	10,73	17,01	1,26	22,89	17,51
1,00	9,77	15,48	1,53	24,42	19,04
3,00	8,17	12,95	2,53	26,95	21,57
6,00	7,29	11,55	1,40	28,35	22,97
15,00	7,14	11,32	0,23	28,58	23,20

\* Porosidade total calculada -  $P = 100 (1 - \gamma_s \cdot \delta^{-1})$

QUADRO 9 - Valores da tensão da água do solo, unidade e porosidade livre de água calculada e determinada. Ser-tãozinho 22,5-30,0

Tensão atm	Umidade		Porosidade livre de água		
	% em peso	% em Vol.	Calculada		Determinada
			parcial %	total %	%
		42,00*			
0,001	23,54	35,90	6,08	6,08	
0,02	21,00	32,02	3,90	9,98	3,90
0,06	17,27	26,34	5,68	15,66	9,58
0,08	16,58	25,28	1,06	16,72	10,64
0,10	15,90	24,25	1,03	17,75	11,67
0,20	13,78	21,01	3,24	20,99	11,91
0,33	12,68	19,34	1,67	22,66	16,58
0,70	11,90	18,15	1,19	23,85	17,77
1,00	11,59	17,67	0,48	24,33	18,25
3,00	9,00	13,72	3,95	28,28	22,20
6,00	8,48	12,93	0,79	29,07	22,90
15,00	6,75	10,29	2,64	31,71	25,63

\* Porosidade total calculada -  $P = 100 (1 - \gamma_s \cdot \delta^{-1})$

QUADRO 10 - Valores da tensão da água do solo, unidade e porosidade livre de água calculada e determinada. Ser-  
tãozinho 30,0-37,5 cm.

Tensão atm	Umidade		Porosidade livre de água		
	% em peso	% em Vol.	Calculada		Determinada
			parcial %	total %	%
		41,40*			
0,001	24,07	36,47	4,93	4,93	
0,02	21,13	32,01	4,46	9,39	4,43
0,06	18,01	27,28	4,73	14,12	9,19
0,08	17,07	25,86	1,42	15,54	10,61
0,10	16,42	24,88	0,98	16,52	11,59
0,20	14,07	21,32	3,56	20,08	15,15
0,33	12,38	18,75	2,57	22,65	17,72
0,70	11,89	18,01	0,74	23,39	18,46
1,00	11,71	17,74	0,27	23,66	18,73
3,00	9,36	14,18	4,44	27,22	23,17
6,00	8,27	12,53	1,65	28,87	24,82
15,00	7,58	11,48	1,05	29,92	25,87

\* Porosidade total calculada -  $P = 100 (1 - \gamma_s \cdot \delta^{-1})$

QUADRO 11 - Valores da tensão da água do solo, umidade e porosidade livre de água calculada e determinada. Ser-  
tãozinho 37,5-45,0 cm.

Tensão atm	Umidade		Porosidade livre de água		
	% em peso	% em Vol.	Calculada		Determinada
			parcial %	total %	%
		40,40*			
0,001	24,08	36,34	4,06	4,06	
0,02	21,47	32,40	3,94	8,00	3,94
0,06	18,46	27,86	4,54	12,54	8,48
0,08	17,30	26,10	1,76	14,30	10,24
0,10	16,42	24,78	1,32	15,62	11,56
0,20	13,66	20,61	4,17	19,79	15,73
0,33	12,46	18,80	1,81	21,60	17,54
0,70	11,43	17,25	1,65	23,15	19,19
1,00	11,09	16,73	0,52	23,67	19,71
3,00	8,71	13,14	3,59	27,26	23,30
6,00	8,04	12,13	1,01	28,27	24,31
15,00	7,67	11,57	0,56	28,83	24,87

\* Porosidade total calculada -  $P = 100 (1 - \gamma_s \cdot \delta^{-1})$



QUADRO 12 - Valores da tensão da água do solo, umidade e porosidade livre de água calculada e determinada. Luiz de Queiroz 0-7,5 cm

Tensão atm	Umidade		Porosidade livre de água		
	% em peso	% em Vol.	Calculada parcial %	total %	Determinada %
		47,46*			
0,001	26,02	39,21	8,25	8,25	
0,02	23,61	35,58	3,63	11,88	3,63
0,06	22,94	34,57	1,01	12,89	1,01
0,08	22,57	34,01	0,56	13,45	1,57
0,10	22,27	33,56	0,45	13,90	2,02
0,20	21,39	32,23	1,33	15,23	3,35
0,33	21,06	31,74	0,49	15,72	3,84
0,70	20,59	31,03	0,71	16,43	4,55
1,00	19,77	29,79	1,24	17,67	5,79
3,00	18,41	27,74	2,05	19,72	7,84
6,00	16,86	25,41	2,33	22,05	10,17
15,00	14,93	22,50	2,91	24,96	13,08

\* Porosidade total calculada -  $P = 100 (1 - \gamma_s \cdot \delta^{-1})$

QUADRO 13 - Valores da tensão da água do solo, umidade e porosidade livre de água calculada e determinada. Luz de Queiroz 7,5-15,0 cm.

Tensão atm	Umidade		Porosidade livre de água		
	% em peso	% em Vol.	Calculada		Determinada
			parcial %	total %	%
		47,58*			
0,001	26,34	39,83	7,75	7,75	
0,02	24,84	37,56	2,27	10,04	2,27
0,06	23,89	36,12	1,44	11,46	2,71
0,08	23,51	35,55	0,57	12,03	4,28
0,10	23,08	34,90	0,65	12,68	4,93
0,20	22,32	33,75	1,15	13,83	6,08
0,33	21,56	32,60	1,15	14,98	7,23
0,70	21,11	31,92	0,68	15,66	7,91
1,00	20,60	31,15	0,77	16,43	8,68
3,00	19,31	29,20	1,95	18,38	10,67
6,00	17,83	26,96	2,24	20,62	12,87
15,00	14,62	22,10	4,86	25,48	17,73

\* Porosidade total calculada -  $P = 100 (1 - \gamma_{s.d}^{-1})$

QUADRO 14 - Valores da tensão da água do solo, unidade e porosidade livre de água calculada e determinada. Luiz de Queiroz 15,0-22,5

Tensão	Umidade		Porosidade livre de água		
	% em peso	% em Vol.	Calculada		Determinada
atm			parcial	total	
			%	%	%
		48,22*			
0,001	27,17	40,29	7,93	7,93	
0,02	25,11	37,24	3,05	10,98	3,05
0,06	23,99	35,58	1,66	12,64	4,71
0,08	23,71	35,16	0,42	13,06	5,13
0,10	23,26	34,49	0,67	13,73	5,80
0,20	22,54	33,43	1,06	13,79	6,86
0,33	22,15	32,85	0,58	15,37	7,44
0,70	21,55	31,96	0,89	16,26	8,33
1,00	20,98	31,11	0,85	17,11	9,18
3,00	18,36	27,23	3,88	20,99	13,06
6,00	17,90	26,54	0,69	21,68	13,75
15,00	14,80	21,95	4,59	26,27	18,34

\* Porosidade total calculada -  $P = 100 (1 - \gamma_s \cdot \delta^{-1})$

QUADRO 15 - Valores da tensão da água do solo, umidade e porosidade livre de água calculada e determinada. Lu-  
iz de Queiroz 22,5-30,0 cm.

Tensão	Umidade		Porosidade livre de água		
	% em peso	% em Vol.	Calculada		Determinada
atm			parcial	total	
			%	%	%
		48,22*			
0,001	29,68	40,27	12,35	12,35	
0,02	28,05	38,06	2,21	14,56	
0,06	26,76	36,31	1,75	16,31	10,76
0,08	26,46	35,90	0,41	16,72	10,84
0,10	25,99	35,27	0,63	17,35	13,67
0,20	25,21	34,20	1,07	18,35	19,41
0,33	24,54	33,30	0,90	19,25	19,54
0,70	23,96	32,51	0,79	20,11	25,34
1,00	22,69	30,79	1,72	21,83	26,39
3,00	20,27	27,51	3,28	25,11	26,69
6,00	19,69	26,72	0,79	25,90	28,12
15,00	18,59	25,23	1,49	27,93	29,42

\* Porosidade total calculada -  $P = 100 (1 - \gamma_s \cdot \delta^{-1})$

QUADRO 16 - Valores da tensão da água do solo, umidade e porosidade livre de água calculada e determinada. Luiz de Queiroz 30,0-37,5 cm.

Tensão atm	Umidade		Porosidade livre de água		
	% em peso	% em Vol.	Calculada		Determinada
			parcial %	total %	%
0,001	35,78	48,12	5,10	5,10	
0,02	33,33	44,83	3,29	8,39	
0,06	30,78	41,40	2,43	11,82	8,65
0,08	30,05	40,42	0,98	12,80	11,65
0,10	29,59	39,80	0,62	13,42	12,79
0,20	28,75	38,67	1,13	14,55	17,74
0,33	28,13	37,83	0,84	15,39	18,00
0,70	26,40	35,51	2,32	17,71	22,82
1,00	29,09	35,09	0,42	18,03	24,01
3,00	21,96	29,54	5,55	23,68	24,45
6,00	21,64	29,10	0,44	24,12	25,73
15,00	20,15	27,10	2,00	26,12	27,68

\*

$$\text{Porosidade total calculada} - P = 100 \left( 1 - \frac{V_s}{V_t} \right)$$

QUADRO 17 - Valores da tensão da água do solo, umidade e porosidade livre de água calculada e determinada.  
Luiz de Queiroz 37,5-45,0 cm.

Tensão atm	Umidade		Porosidade livre de água		
	% em peso	% em Vol.	Calculada		Determinada
			parcial %	total %	%
		53,45*			
0,001	35,30	46,70	6,35	6,75	
0,02	32,53	43,04	3,66	10,41	
0,06	30,87	40,84	2,20	12,61	6,75
0,08	30,47	40,31	0,53	13,14	9,83
0,10	30,17	39,91	0,40	13,54	10,68
0,20	29,45	38,96	0,95	14,49	15,72
0,33	29,09	38,49	0,47	14,96	17,04
0,70	27,43	36,29	2,20	17,16	22,49
1,00	26,75	35,39	0,90	18,06	23,59
3,00	23,88	31,59	3,80	21,86	23,94
6,00	23,46	31,04	0,55	22,41	25,51
15,00	21,46	28,39	2,65	25,06	26,48

\* Porosidade total calculada -  $P = 100 (1 - \gamma_s \cdot \delta^{-1})$

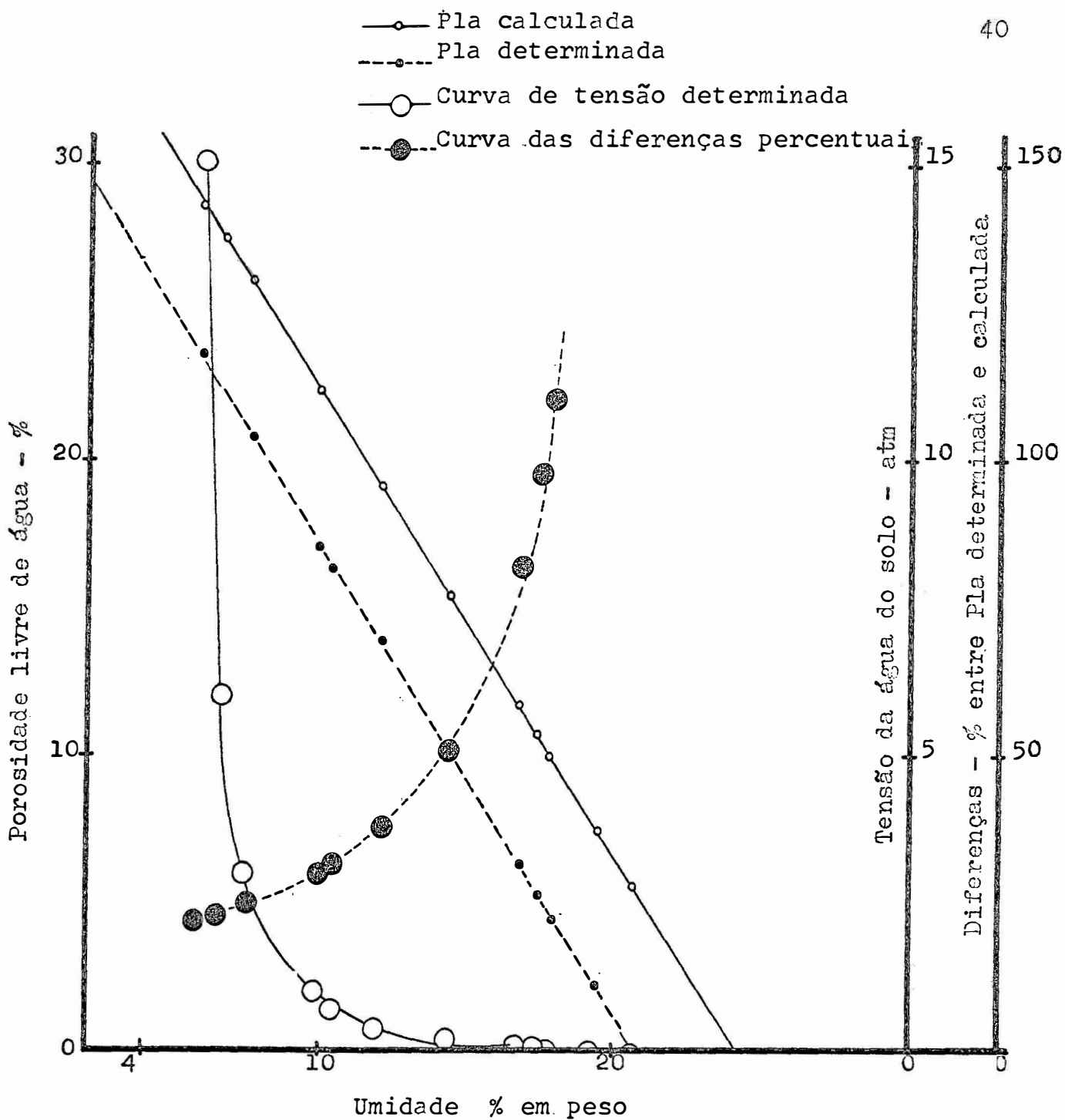


Fig. 3 - Porosidade livre de água em função da curva de retenção de umidade. Valores calculados e determinados e respectivas diferenças percentuais. Sertão - zinco 0,0 - 7,5

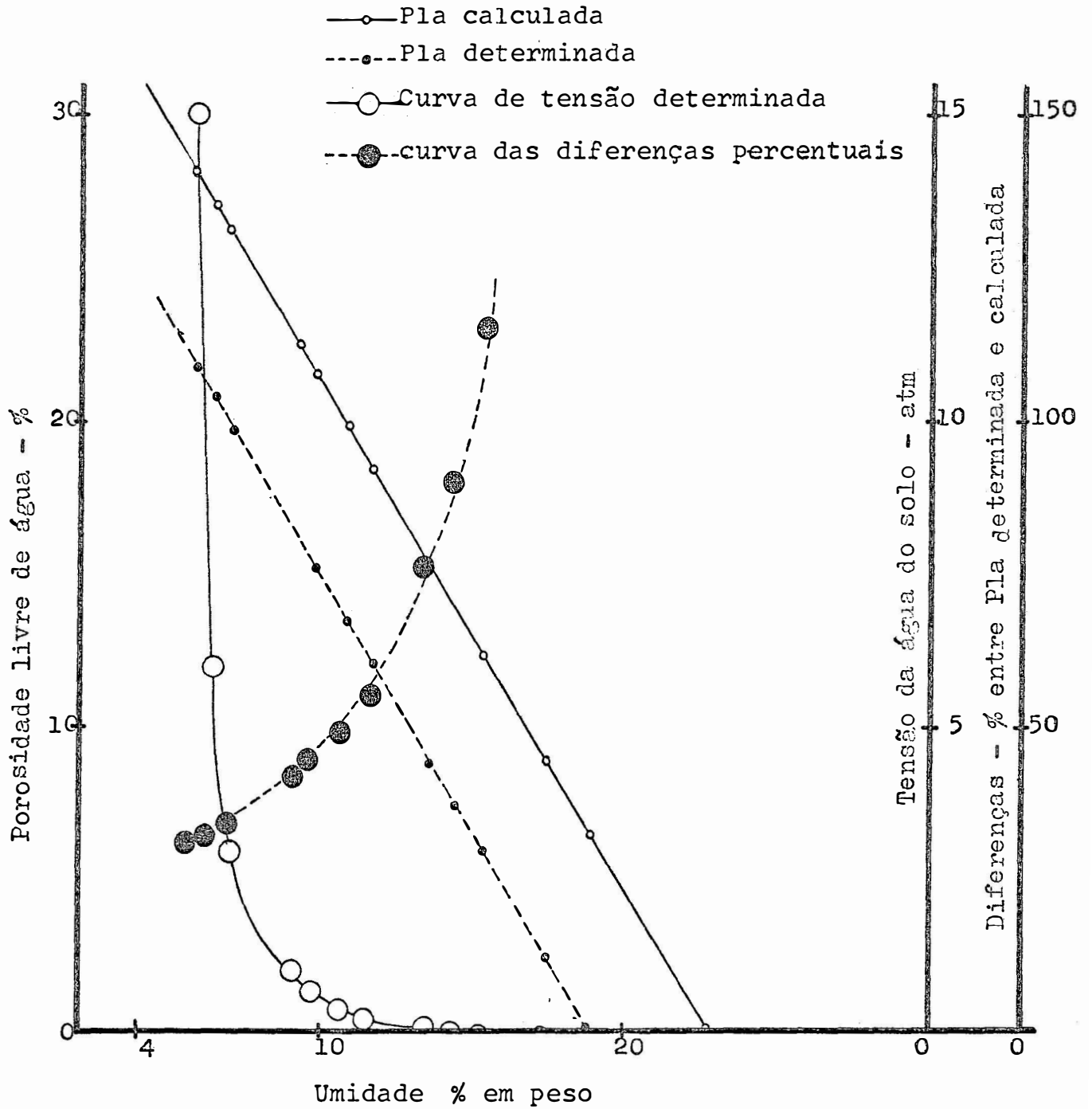


Fig. 4 - Porosidade livre de água em função da curva de retenção de umidade. Valores calculados e determinados e respectivas diferenças percentuais. Sertãozinho 7,5 - 15,0.



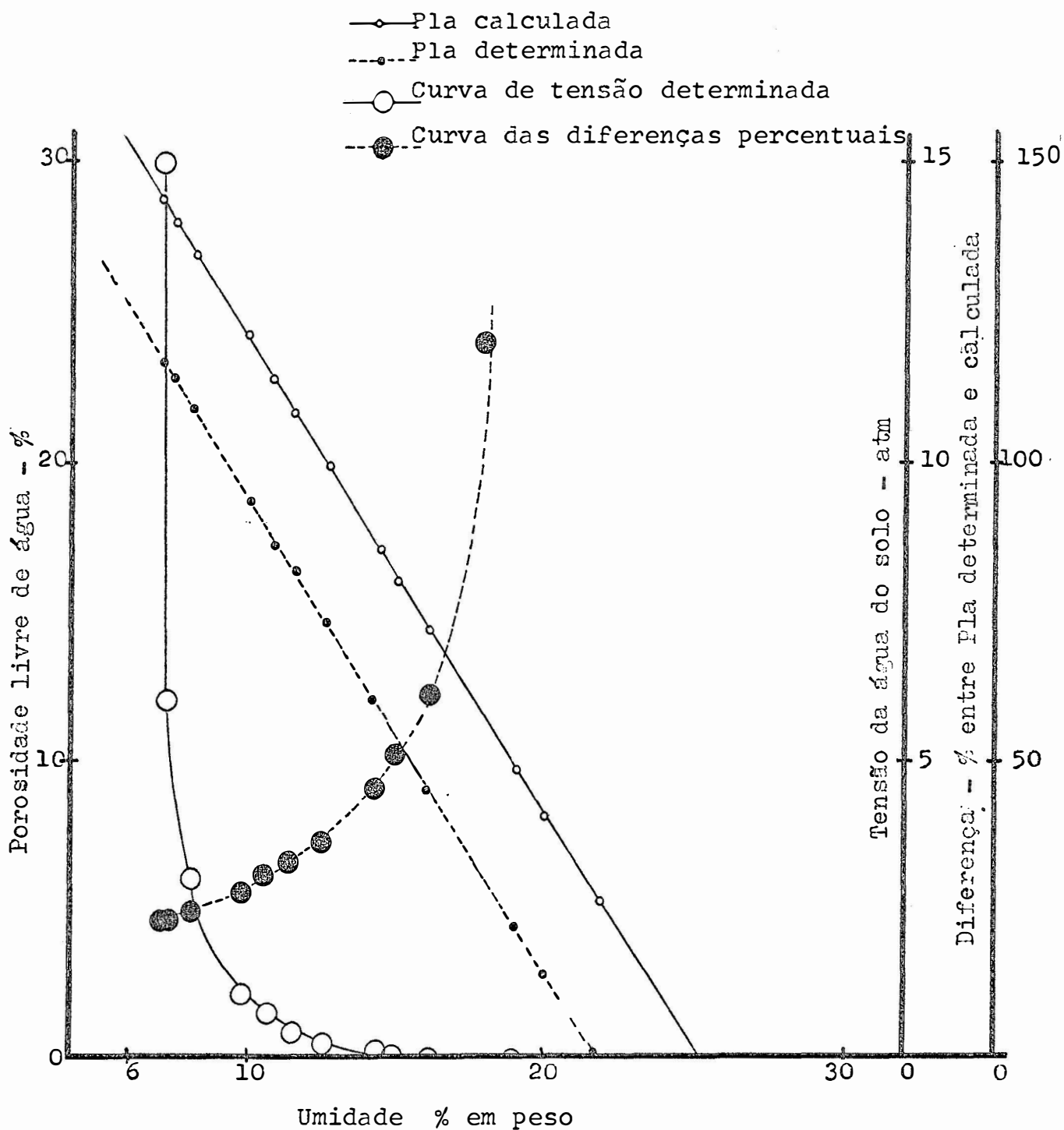


Fig.5 - Porosidade livre da água em função da curva de retenção de umidade. Valores calculados e determinados e respectivas diferenças percentuais. Sertãozinho 15-22,5.

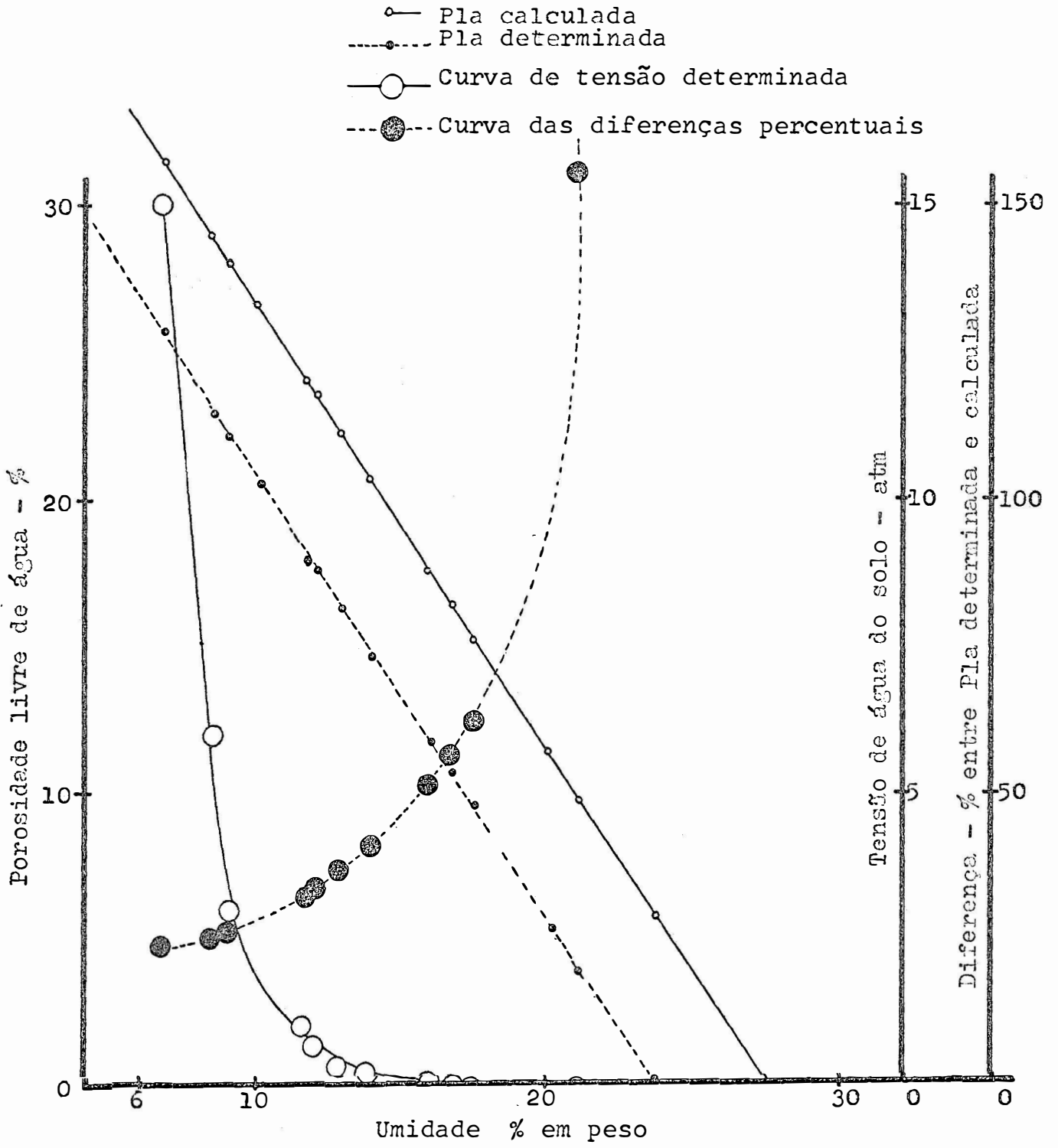


Fig.6 - Porosidade livre de água em função da curva de retenção de umidade. Valores calculados e determinados e respectivas diferenças percentuais. Sertãozinho 22,5 -30,0.

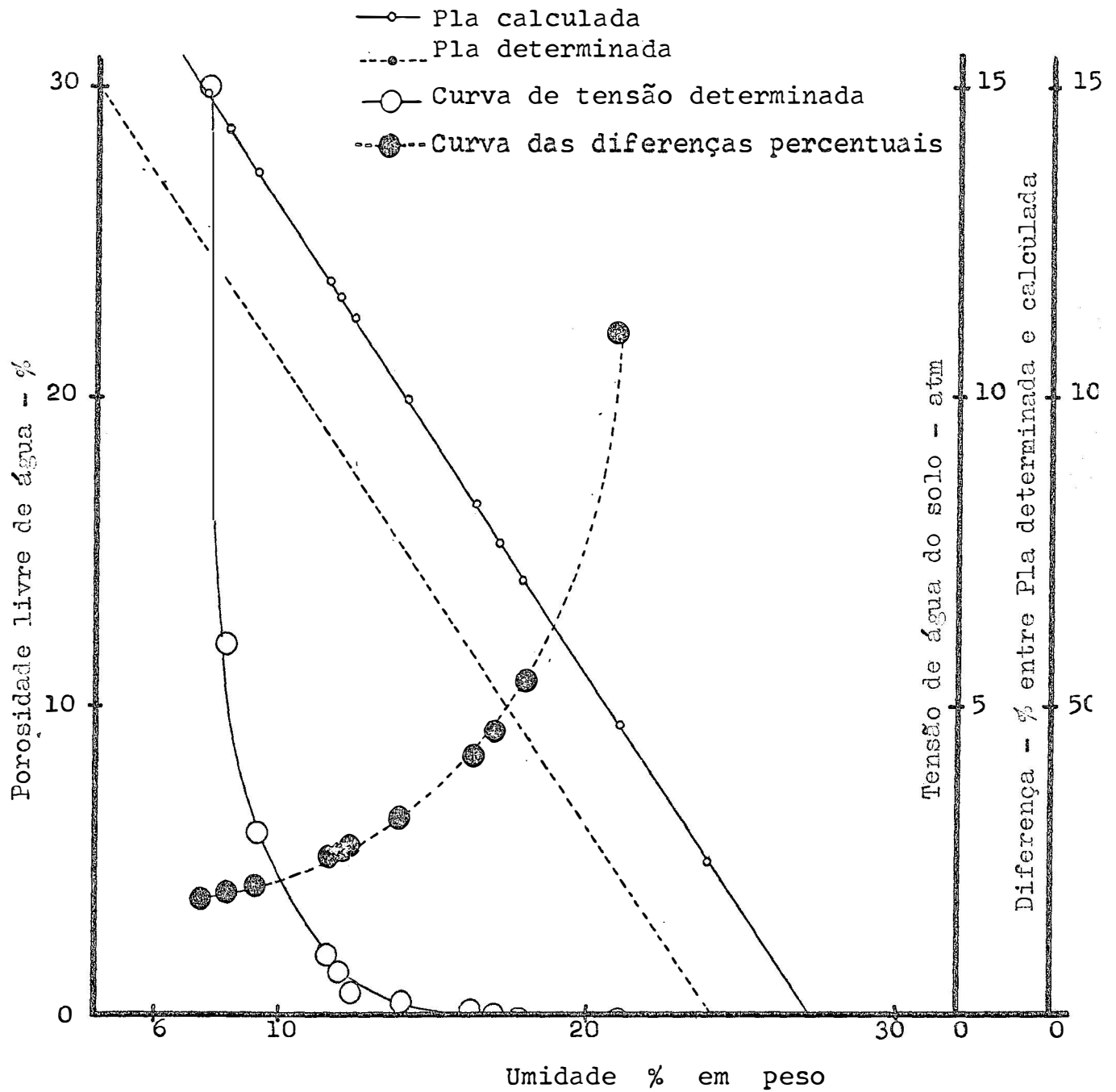


Fig. 7 Porosidade livre de água em função da curva de retenção de umidade. Valores calculados e determinados e respectivas diferenças percentuais. Sertãozinho 30,0 37,5.

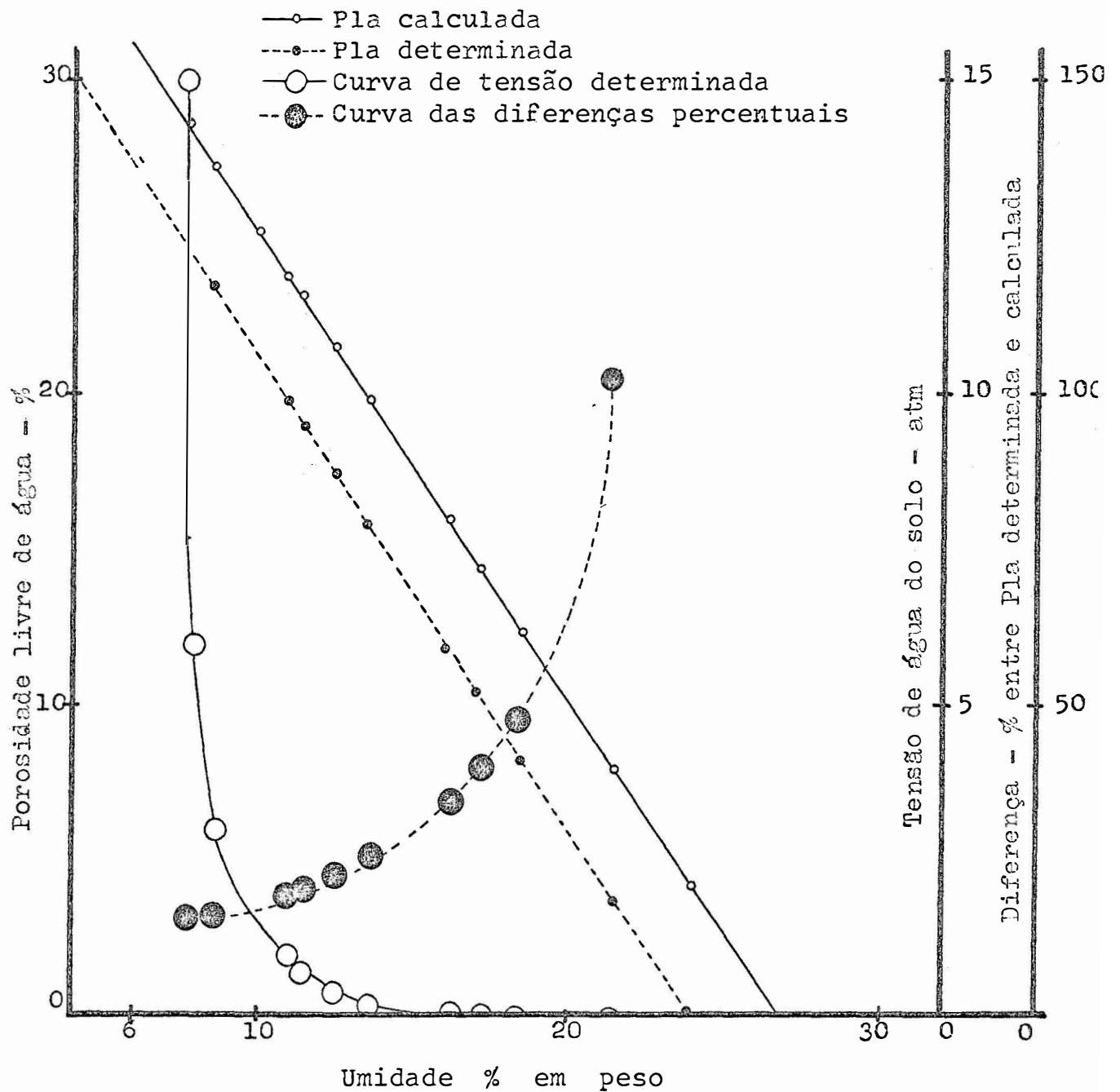


Fig. 8 - Porosidade livre de água em função da curva de retenção de umidade. Valores calculados e determinados e respectivas diferenças percentuais. Sertãozinho 37,5 45,0.

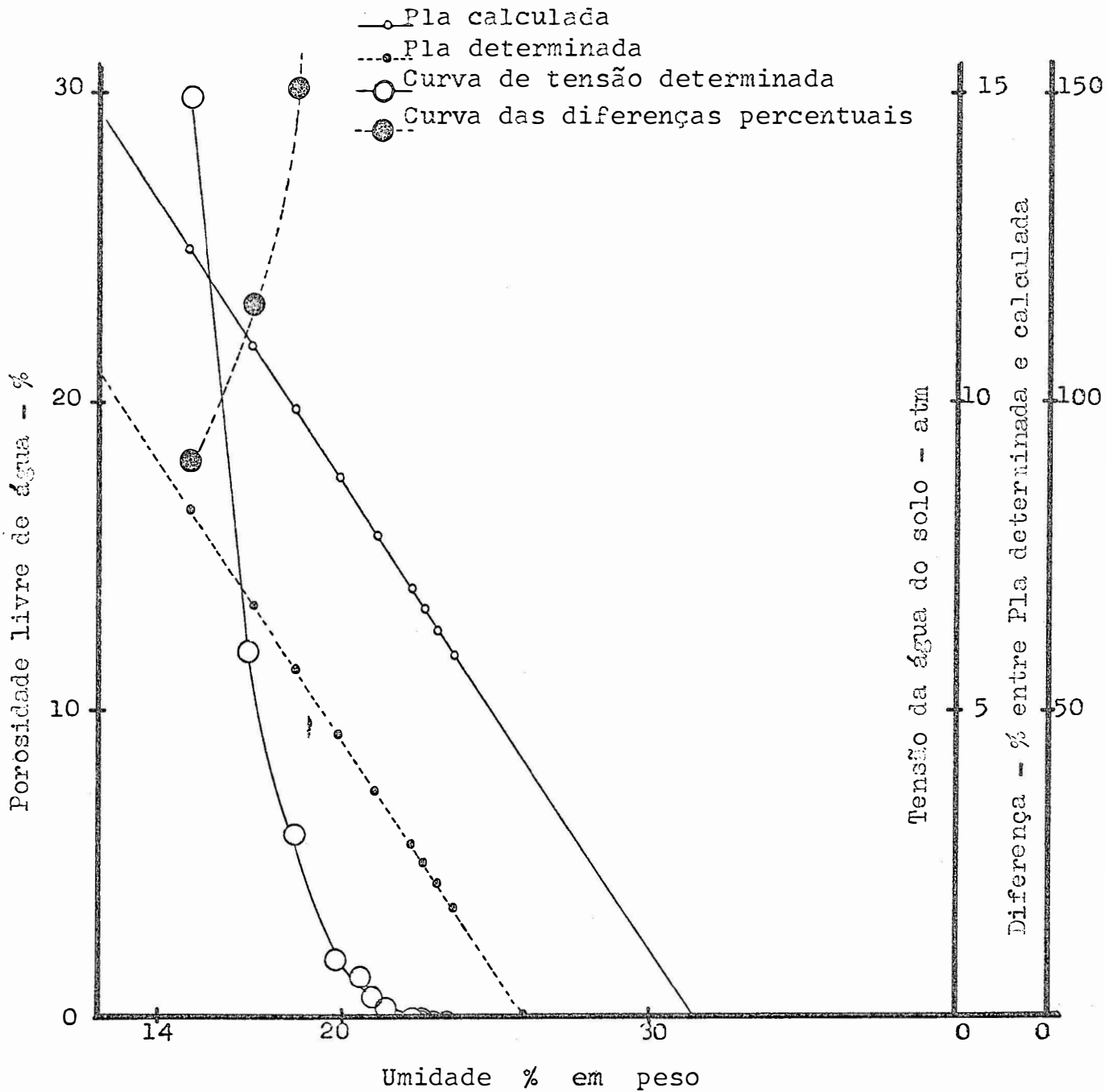


Fig 9 - Porosidade livre de água em função da curva de retenção de umidade. Valores calculados e determinados e respectivas diferenças percentuais. Luiz de Queiroz 0,0 - 7,5.

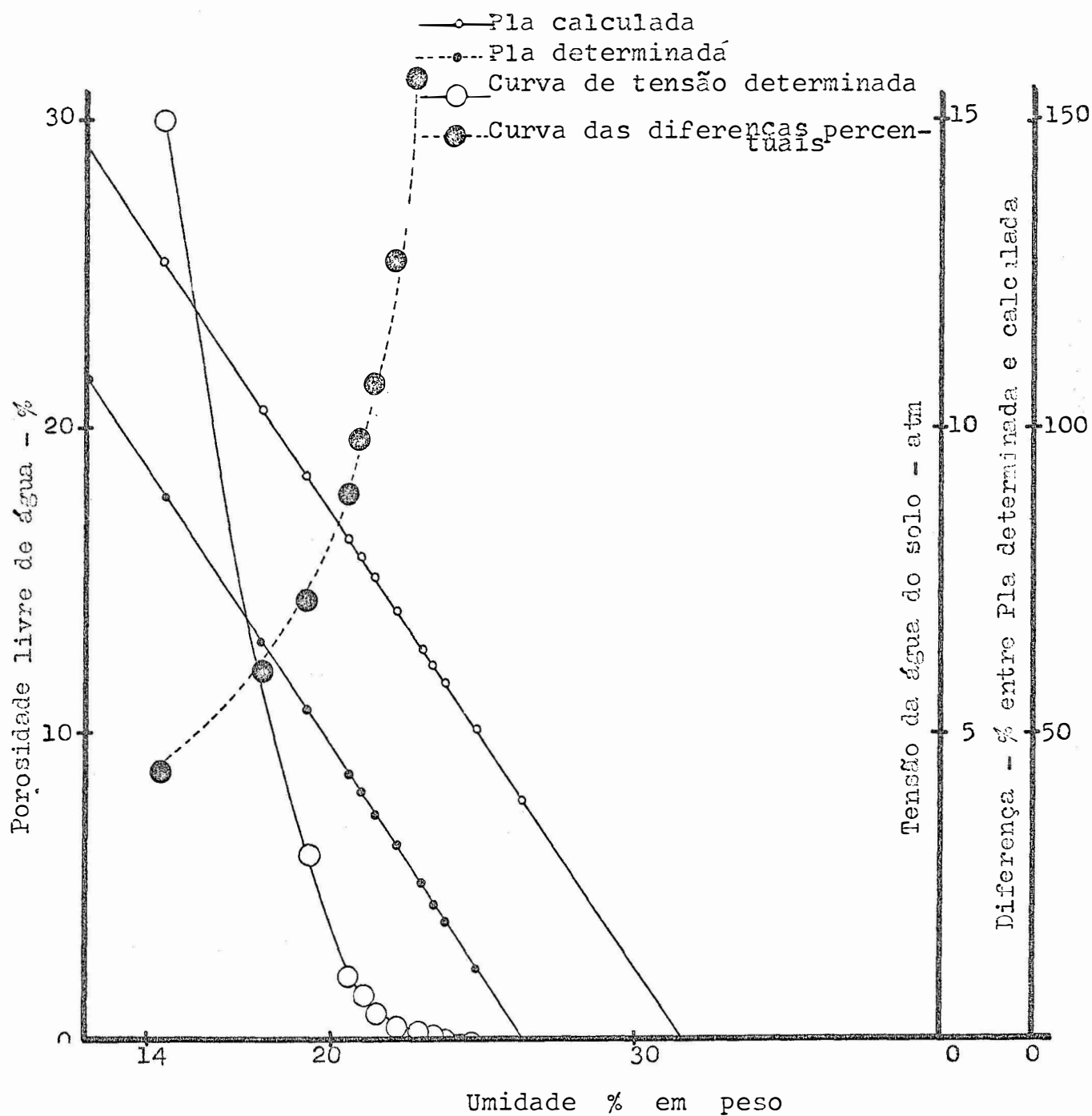


Fig. 10 - Porosidade livre de água em função da curva de retenção de umidade. Valores calculados e determinados e respectivas diferenças percentuais. Luiz de Queiroz 7,5 - 15,0.

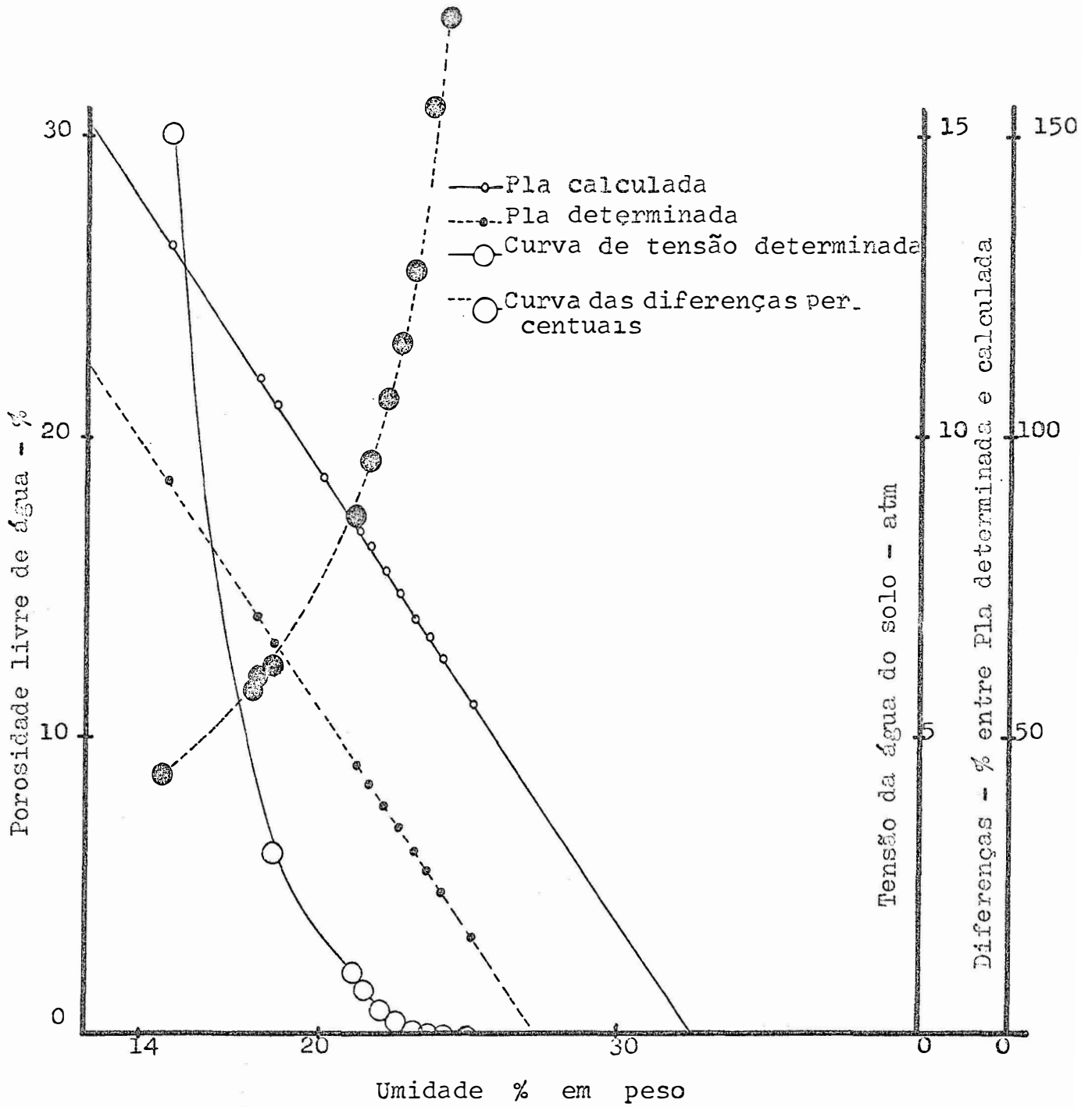


Fig. 11 - Porosidade livre de água em função da curva de retenção de umidade. Valores calculados e determinados e respectivas diferenças percentuais. Luiz de Queiroz 15,0 -22,5.

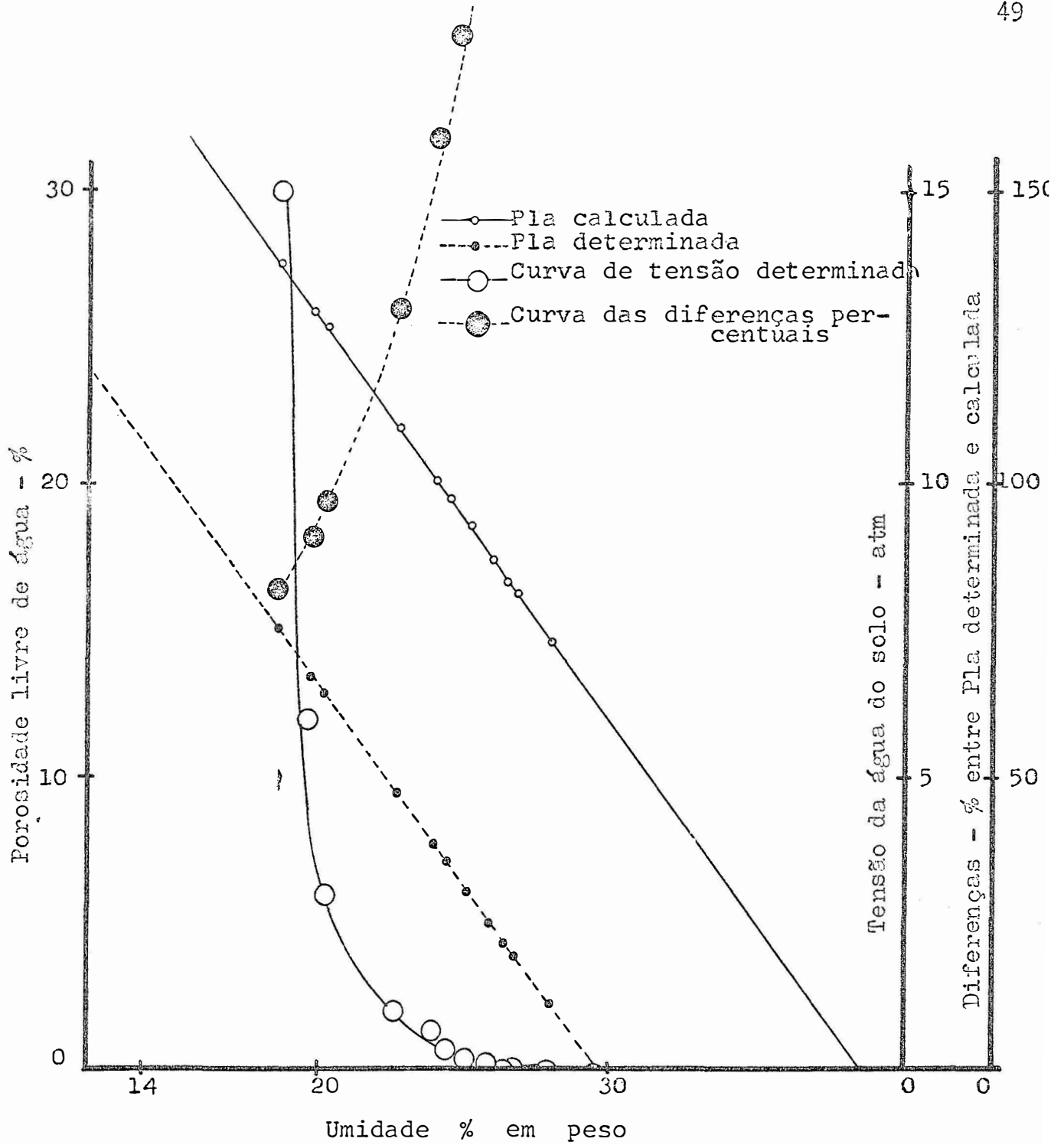


Fig. 12 - Porosidade livre de água em função da curva de retenção de umidade. Valores calculados e determinados e respectivas diferenças percentuais. Luiz de Queiroz 22,5-30,0.



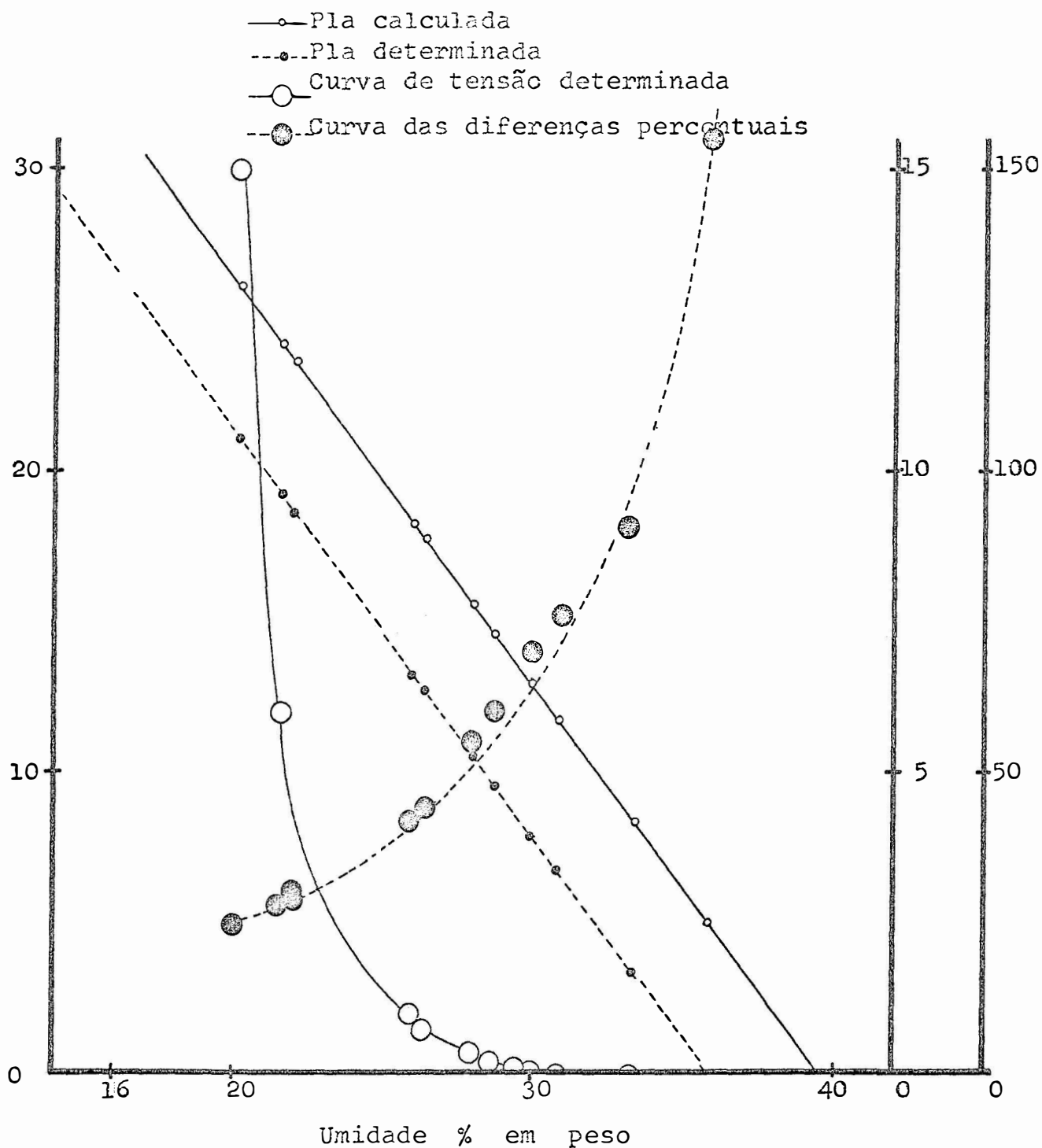


Fig. 13 - Porosidade livre de água em função da curva de retenção de umidade. Valores calculados e determinados e respectivas diferenças percentuais. Luiz de Queiroz 30,0 - 37,5.

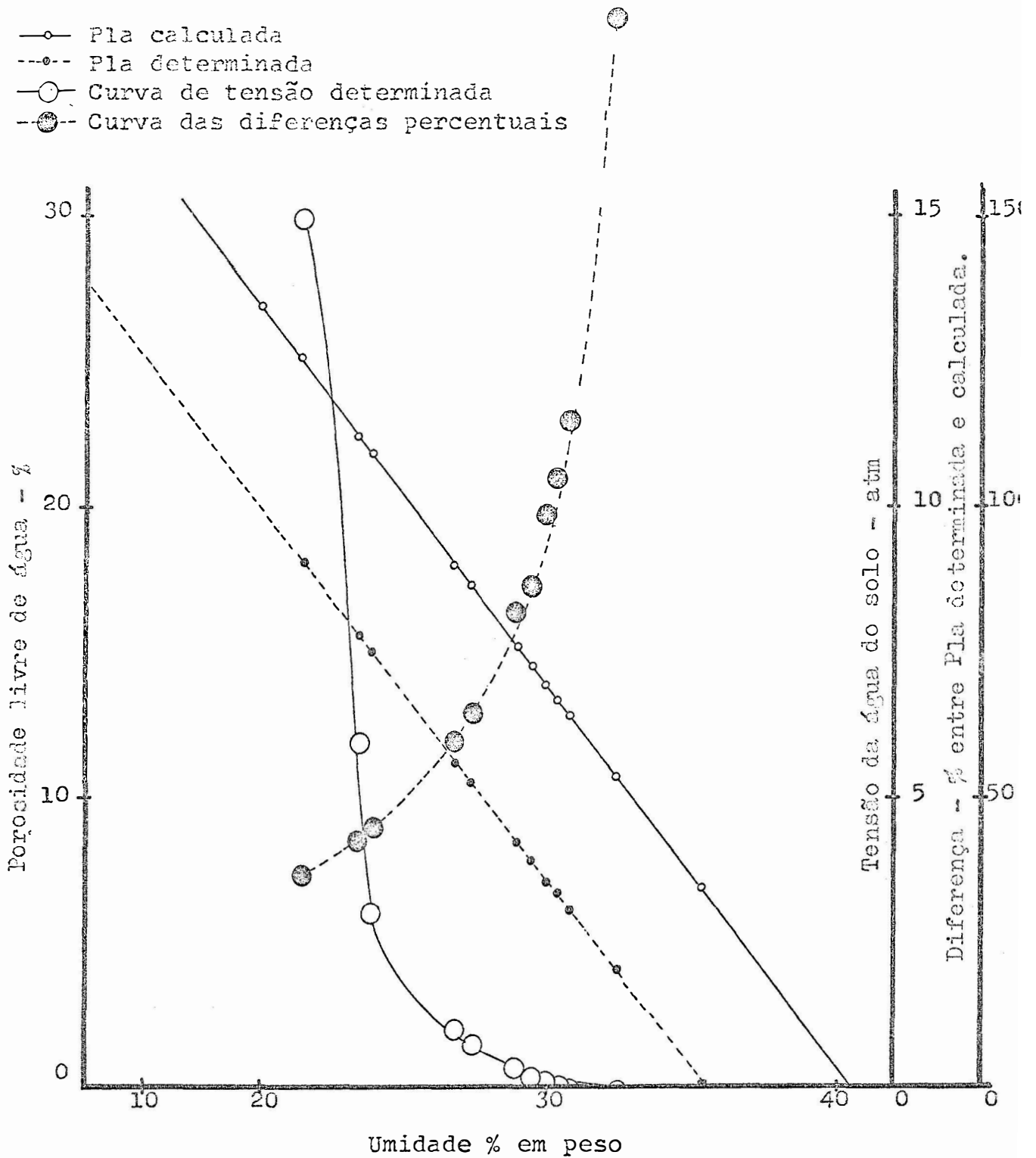


Fig. 14- Porosidade livre de água em função da curva de retenção de umidade. Valores calculados e determinados e respectivas diferenças percentuais. Luiz de Queiroz 37,5 - 45,0.

da, porém com um coeficiente linear menor.

As Figs. 3 a 8 e 9 a 14 ilustram as diferenças entre as porosidades livre de água calculada e determinada. A curva indicativa das diferenças percentuais entre as porosidades mostra que, em todas as amostras do solo, a altas tensões de umidade, esta diferença chega a valores de 20 a 30%, ao passo que a baixas tensões esta diferença atinge a valores acima de 100% para os dois solos. Considera-se que estas diferenças são devidas às bolhas de ar presas.

Para relacionar curva de tensão de umidade com porosidade livre de água do solo, deve-se utilizar a porosidade calculada. Isto porque a diferença entre as porosidades calculadas e determinadas corresponde, evidentemente, a poros que não foram preenchidos pela água. Estes poros podem ser considerados como não capilares e portanto, para efeito de arejamento do solo, estarão sempre incluídos na porosidade livre de água.

Os resultados indicam que, se a porosidade for a "determinada", poderá oferecer uma interpretação mais segura com respeito ao manejo do solo. A título de exemplo, o Sertãozinho a 0 - 7,5 apresenta um  $P_{1a}$  a tensão de 0,1 atm de 6,30% determinada e 11,18% calculada, e 26,32% de poros com água. É preciso verificar nestas condições se há necessidade de aumentar o arejamento ou a capacidade de retenção de água.

Esta informação assume uma importância maior quando determinada com amostras indeformadas. Estas fornecem resultados reais e portanto, mais seguros com relação ao de estado energia de respectiva umidade.

Com base nos resultados e na sua discussão com relação à porosidade livre de água, pode-se concluir que existe uma diferença entre a  $P_{1a}$  calculada e determinada, e percentualmente esta diferença diminui à medida que a tensão do solo aumenta, embora o seu valor seja constante. Pode-se deduzir daí, que, quando a incorporação de água ao solo é feita através da irrigação ou chuva, as culturas não ficam totalmente privadas de ar.

Pode-se observar que ambos os solos, às tensões de 0,06 atm, apresentam porosidade livre de água superiores a 10% e na Ccampo, que seria a quantidade máxima de água retida, apresentam uma porosidade livre de água mínima de 17%, para o Sertãozinho e 15% aproximadamente para o Luiz de Queiroz.

Não são necessários cálculos estatísticos para estabelecer as linhas de regressão linear da porosidade livre de água, porquanto o coeficiente angular destas linhas é o próprio peso específico aparente e o coeficiente linear é a porosidade total. A equação que define estas linhas é:

$$P_{la} = a + bx$$

onde:  $P_{la}$  - é a porosidade livre de água;

$a$  - é a porosidade total;

$b$  - é o peso específico aparente;

$x$  - é a umidade do solo a determinada tensão.

LEENHEER (1967) indica uma relação que mostra as tensões e classes de porosidade que regulam a economia de ar e água do solo que pode ser observada no QUADRO 18.

Com base nestas classes de porosidade podemos observar que o volume de poros de drenagem lenta, talvez ocorram a tensões um pouco mais baixas do que 0,33 atm e podemos observar, pelo QUADRO 19, que a Ccampo para o Sertãozinho ocorre a tensões de 0,2 atm aproximadamente. Para o Luiz de Queiroz a Ccampo ocorre de 0,1 a 0,2 atm até a profundidade de 30 cm. Nas duas últimas camadas a Ccampo está em torno de 0,33 atm. Este fato pode mostrar que para solos com teor de argila maior a Ccampo se aproxima da tensão de 0,33 atm. Resultado este que está de acôrdo com as classes de porosidade. A Fig. 15 ilustra esquematicamente estes valores de umidade.

Nas Figs. 3 a 8 e 9 a 14 aparece mais uma curva que representa a diferença percentual entre as duas porosidades livres de água, cujos valores se encontram nos QUADROS 20 e 21.

QUADRO 18 - Economia do ar e da água no solo e respectivas tensões de umidade e classes de porosidade.

Classes	Tensões atm	Tamanho do poro ( $\mu$ )
1 - Volume dos poros de drenagem instantânea	0 - 0,01	300
2 - Volume de poros de drenagem rápida	0,01 - 0,1	300 - 30
3 - Volume de poros de drenagem lenta	0,1 - 0,33	30 - 9
4 - Volume de poros com água capilar facilmente utilizável	0,33 - 3,10	9 - 1
5 - Volume de poros com água capilar dificilmente utilizável	3,10 - 15,00	1 - 0,2
6 - Volume de poros com água não utilizável	15,00	0,2

QUADRO 19 - Valores das unidades expressas em % com base em volume, da Ccampo a 3 atm e 15 atm das solos estudados.

Profundidade cm	Ccampo %	a 3 atm %	a 15 atm %
S E R T A O Z I N H O			
0 - 7,5	20,12	11,81	9,20
7,5 - 15,0	19,33	11,60	9,61
15,0 - 22,5	20,60	12,95	11,32
22,5 - 30,0	19,16	13,72	10,29
30,0 - 37,5	21,96	14,18	11,48
37,5 - 45,0	21,97	13,14	11,57
L U I Z D E Q U E I R O Z			
0 - 7,5	33,14	27,74	22,50
7,5 - 15,0	33,41	29,20	22,10
15,0 - 22,5	33,65	27,23	21,95
22,5 - 30,0	34,47	27,51	25,23
30,0 - 37,5	38,04	29,54	27,10
37,5 - 45,0	39,54	31,59	28,39

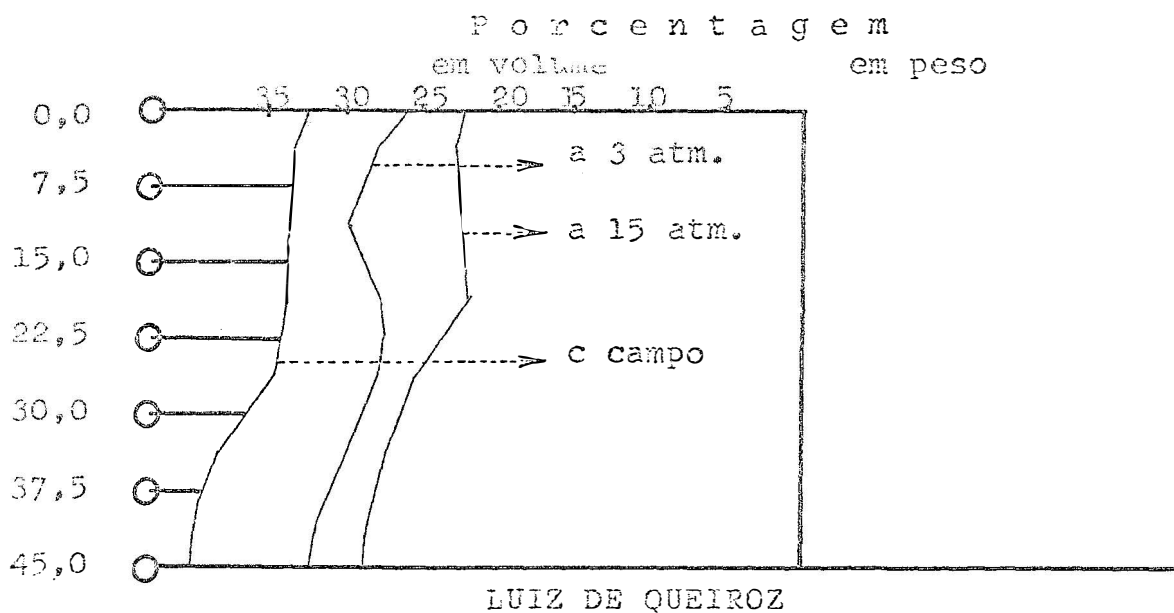
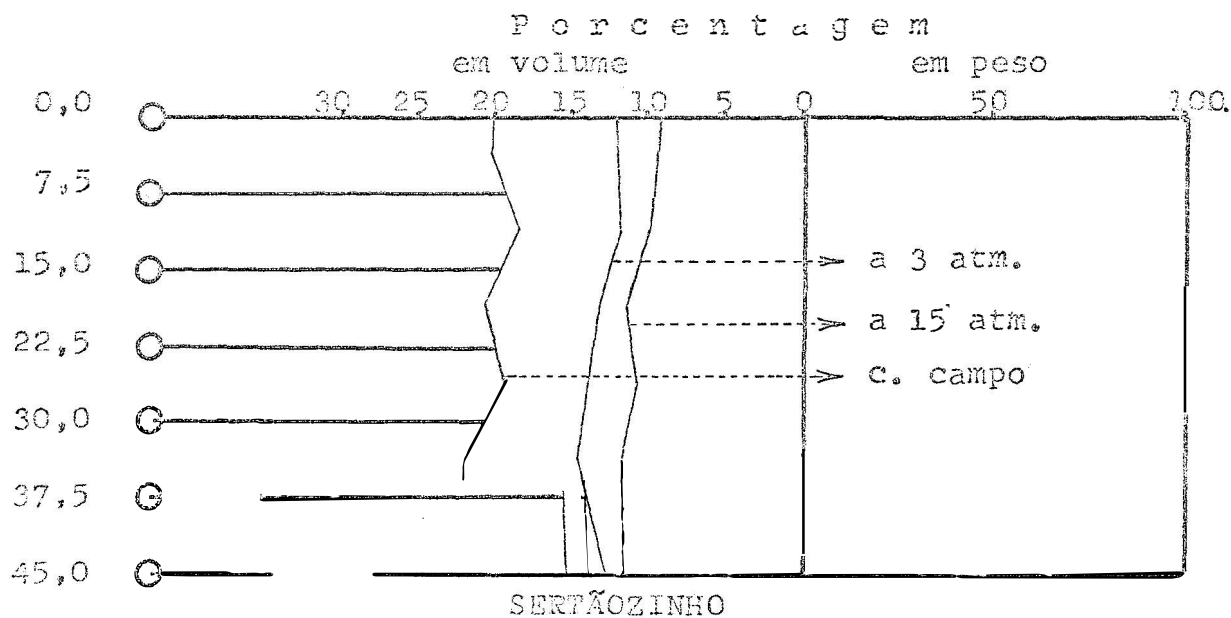


Fig. 15 - Ilustração esquemática das unidades do solo na c campo, a 3 e a 15 atm. dos solos estudados.

QUADRO 21 - Diferenças percentuais entre a porosidade livre de água calculada e determinada. Série Luiz de Queiroz.

Tensão atm	Profundidade de solo - cm					
	0-7,5	7,5-15,0	15,0-22,5	22,5-30,0	30,0-37,5	37,5-45,0
0,02		341	260	558	155	184
0,06	1176	209	168	312	89	115
0,08	756	181	154	282	76	105
0,10	588	157	137	247	70	99
0,20	354	127	115	203	60	87
0,33	309	107	106	177	55	82
0,70	286	98	95	159	44	65
1,00	205	89	86	130	42	60
3,00	151	72	61	97	29	45
6,00	116	60	58	91	28	43
15,00	91	44	43	82	25	37



QUADRO 20 - Diferenças percentuais entre a porosidade livre de água calculada e determinada. Série Sertãozinho.

Tensão atm	Profundidade de solo - cm					
	0-7,5	7,5-15,0	15,0-22,5	22,5-30,0	30,0-37,5	37,5-45,0
0,02	224	275	120	156	110	103
0,06	110	115	61	63	54	48
0,08	97	90	51	57	46	40
0,10	82	76	46	52	42	35
0,20	51	55	37	41	32	26
0,33	38	49	33	37	28	23
0,70	32	44	31	34	27	21
1,00	30	42	28	33	26	20
3,00	25	34	25	27	21	17
6,00	23	32	23	26	20	17
15,00	22	31	23	24	19	16

Quando se trabalha com amostras indeformadas, seria de se esperar que, ao submete-las à saturação em água, fossem preenchidos todos os poros do solo. Mas, em virtude da geometria dos poros dificilmente se consegue saturar o solo completamente. Poder-se-ia, por meio de artifícios, eliminar todo o ar contido no solo, mas o propósito do trabalho em laboratório é condicionar os solos às condições de campo.

MARCOS (1968) cita CHAHAL (1965 e 1966) que atribui este efeito à presença de bolhas de ar retidas na amostra e à geometria dos poros.

MARCOS (1971) atribui a razão das bolhas de ar presas no solo, quando saturado, à desordem dos poros do solo, isto é, não há uma continuidade ou harmonia na distribuição dos poros por tamanho. A trama ou a rede de poros que compõe o solo, é que vai determinar qual o grau de saturação que o mesmo pode atingir em condições naturais de campo.

Verificando as diferenças entre as porosidades livre de água, calculada e determinada, apresentadas nos QUADROS 6 a 17, para os dois solos, notamos os seguintes valores:

Profundidade cm	Sertãozinho	Luiz de Queiroz
0 - 7,5	5,18	8,25
7,5 - 15,0	6,59	7,75
15,0 - 22,5	5,38	7,93
22,5 - 30,0	6,08	12,35
30,0 - 37,5	4,93	5,10
37,5 - 45,0	4,06	6,75

Estas diferenças diminuem com a profundidade o que pode ser atribuída ao aumento maior no teor de argila com a profundidade, conforme mostra o QUADRO 3. A maior quantidade

de argila parece condicionar o solo a uma melhor distribuição de é, poros grandes, médios e pequenos interligados de uma maneira regular e uniforme. Outra possível explicação é que a atuação de fatores estranhos ao solo como raízes e microorganismos decrescem com a profundidade,

Comparando os dois solos, o Sertãozinho apresenta diferenças menores, indicando que a geometria de seus poros propicia melhores condições para o fluxo de água através da massa do solo (MARCOS, 1971).

### Propriedades físicas

Curva característica de umidade - Os QUADROS 6 a 11 e 12 a 17 indicam os valores médios do potencial de água do solo, para os solos estudados, determinados com amostras indeformadas. As Figs. 3 a 8 e 9 a 14 ilustram estes valores que pouca variação apresentam com relação às profundidades dos solos. Comparando as curvas para os dois solos, observa-se que eles são diferentes. As variações de umidade a baixas tensões são maiores no Sertãozinho, evidenciando que este solo apresenta maior quantidade de grandes poros em relação ao Luiz de Queiroz. Pelos dados do QUADRO 5 verifica-se que o volume de macroporos é semelhante para os solos. Mas se este volume de poros for determinado em função da porosidade determinada, verifica-se que o volume destes poros é maior no solo Sertãozinho, como pode ser verificado no QUADRO 5.

Este fato pode mostrar que a macroporosidade estabelecida pela porosidade calculada não representa um valor real.

Os valores do potencial da água do solo obtidos com as amostras deformadas se encontram nos QUADROS 22 e 23. Pelas curvas das Figs. 16 a 21 e 22 a 27, pode-se observar que os valores da umidade em função do potencial de água do solo, quando se confrontam amostras deformadas e indeformadas, apresentam varia-

ções mais acentuadas a baixas tensões. MARCOs (1968) atribui este efeito a variações da estrutura da amostra. À tensões mais elevadas esta diferença diminui, havendo casos em que a

Verifica-se pelas curvas das Figs. 16 a 21, referentes a Sertãozinho, que a partir das tensões acima de 0,1 atm as variações são pequenas.

A conclusão que se pode tirar é que no Sertãozinho a retenção de umidade é sensível às variações estruturais até 0,1 atm de tensão.

Pelas curvas das Figs. 22 a 27 referentes ao Luiz de Queiroz, as variações maiores ocorrem à tensões até 0,2 atm.

Pode se concluir que para este solo a retenção de umidade é sensível à variações estruturais até 0,2 atm de tensão.

QUADRO 22 - Tensão da água do solo e respectivas unidades em % com base em peso, determinadas com amostras deformadas. Série Sertãozinho.

Tensão atm	Profundidade de solo - cm					
	0-7,5	7,5-15,0	15,0-22,5	22,5-30,0	30,0-37,5	37,5-45,0
0,004	34,83	34,76	38,43	39,31	40,31	38,55
0,02	29,91	31,05	33,44	34,26	35,19	33,48
0,06	15,65	17,54	19,96	21,08	22,18	23,37
0,08	13,80	13,46	16,33	18,33	19,07	19,65
0,10	11,79	13,18	14,89	16,38	17,05	17,83
0,20	8,70	9,37	10,76	12,70	13,06	12,75
0,33	7,54	8,15	9,26	11,24	11,89	11,44
0,70	5,80	6,90	7,60	9,90	9,15	9,40
1,00	5,40	6,08	7,05	8,20	8,80	8,64
3,00	5,17	5,71	6,95	7,90	8,62	8,23
6,00	4,77	5,23	6,58	7,50	8,05	7,80
15,00	4,46	4,98	6,18	7,16	7,89	7,44

QUADRO 23 - Tensão da água do solo e respectivas unidades em % com base em peso, determinadas com amostras deformadas. Série Luiz de Queiroz.

Tensão atm	Profundidade de solo - cm					
	0-7,5	7,5-15,0	15,0-22,5	22,5-30,0	30,0-37,5	37,5-45,0
0,02	38,23	39,20	38,80	42,25	46,68	47,13
0,06	31,63	32,00	30,60	30,85	33,14	35,30
0,08	28,49	29,78	28,00	30,79	30,91	32,97
0,10	27,76	27,79	27,63	28,70	30,06	32,33
0,20	22,74	23,44	23,66	24,47	26,38	28,52
0,33	21,34	21,40	20,81	24,38	26,19	27,52
0,70	19,20	17,40	18,80	20,10	22,60	25,90
1,00	16,65	17,07	16,94	19,33	21,72	22,57
3,00	15,47	16,77	15,97	19,18	21,39	22,31
6,00	14,60	14,85	14,24	18,79	20,44	21,12
15,00	13,11	14,20	13,61	17,83	18,99	20,08

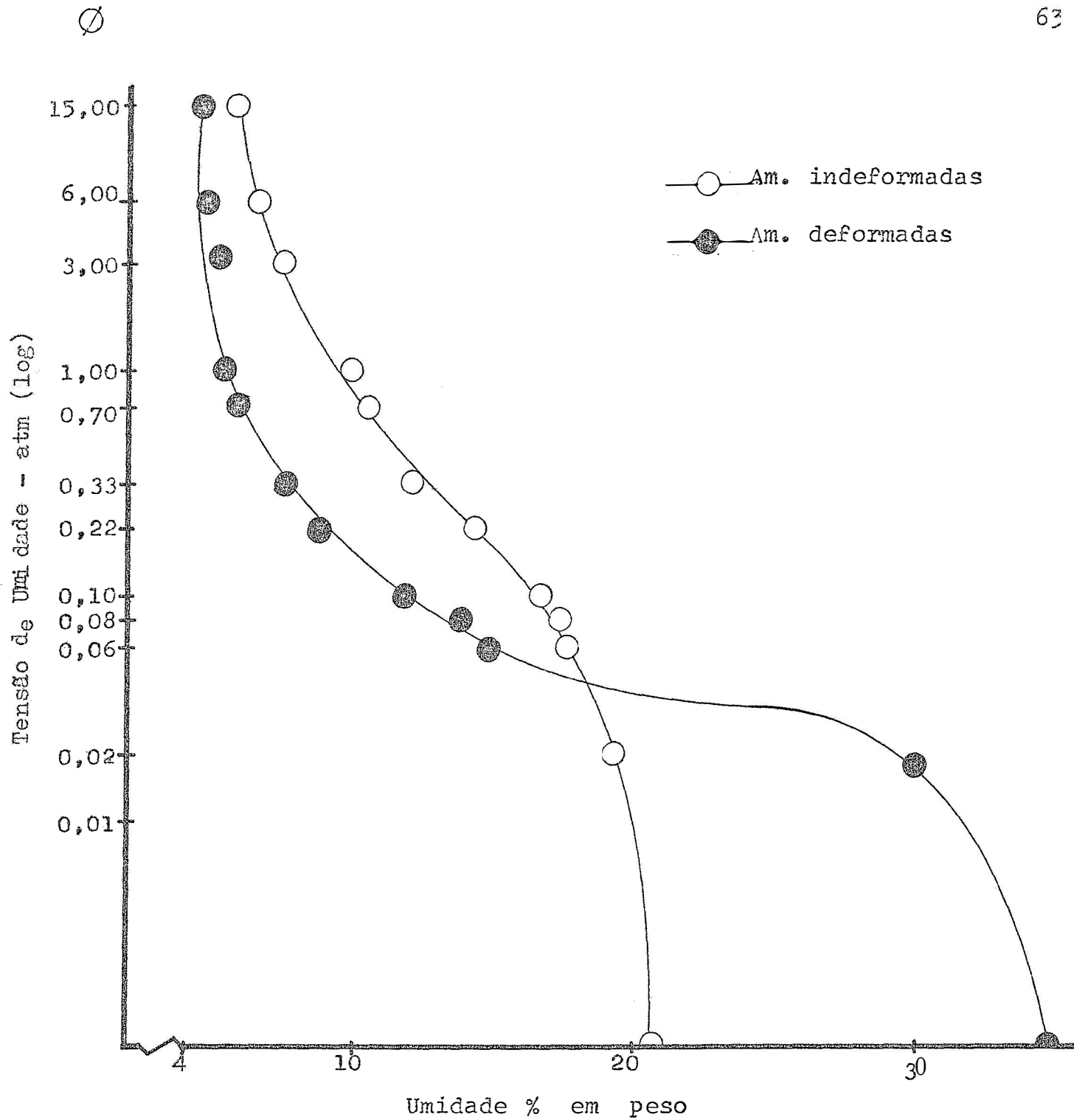


Fig. 16 - Curvas de retenção de umidade para as amostras deformadas e indeformadas. Sertãozinho 0,0 - 7,5 cm.

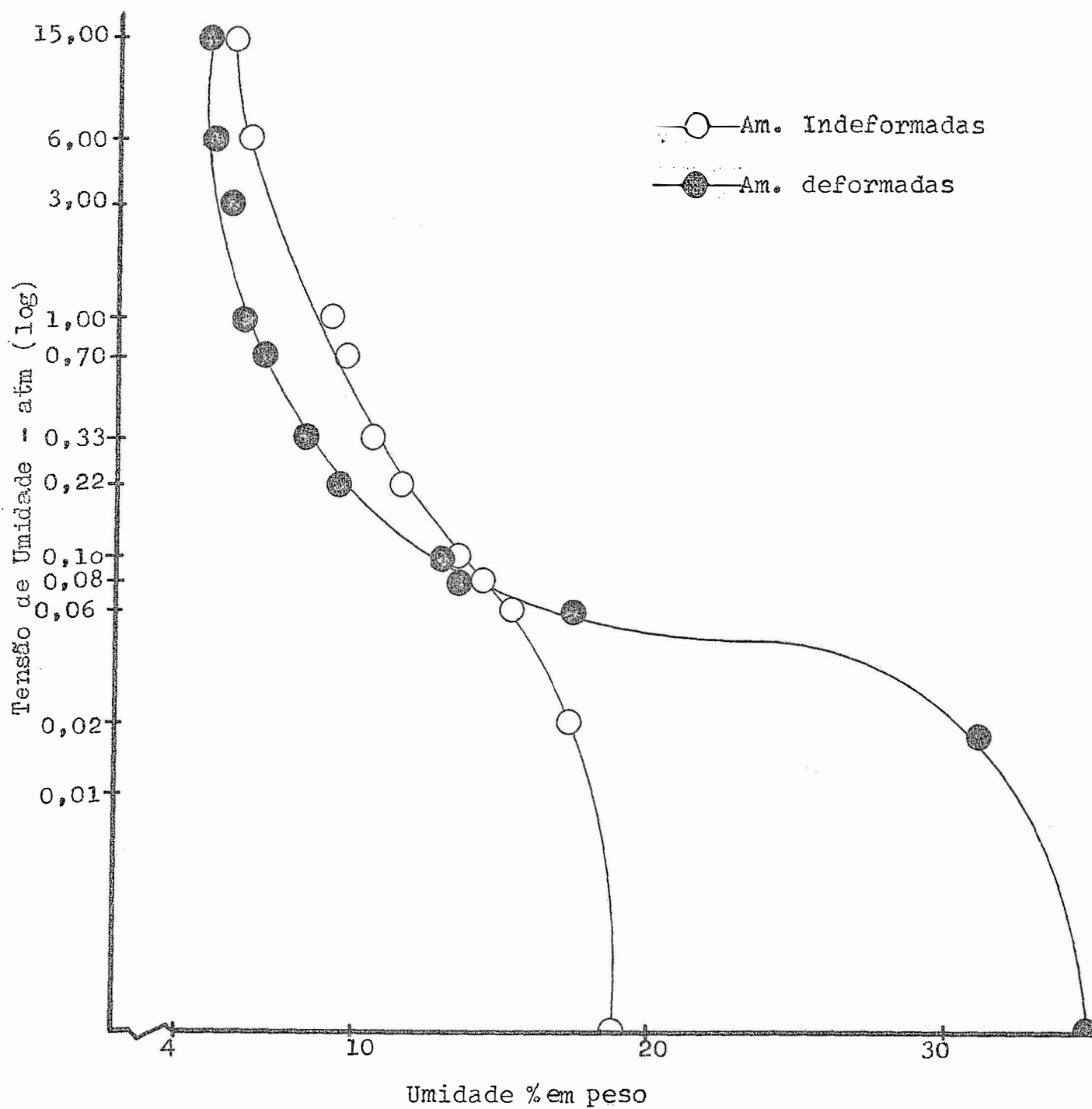


Fig.17- Curvas de retenção de umidade para as amostras deformadas e indeformadas. Sertãozinho 7,5 - 15,00 cm



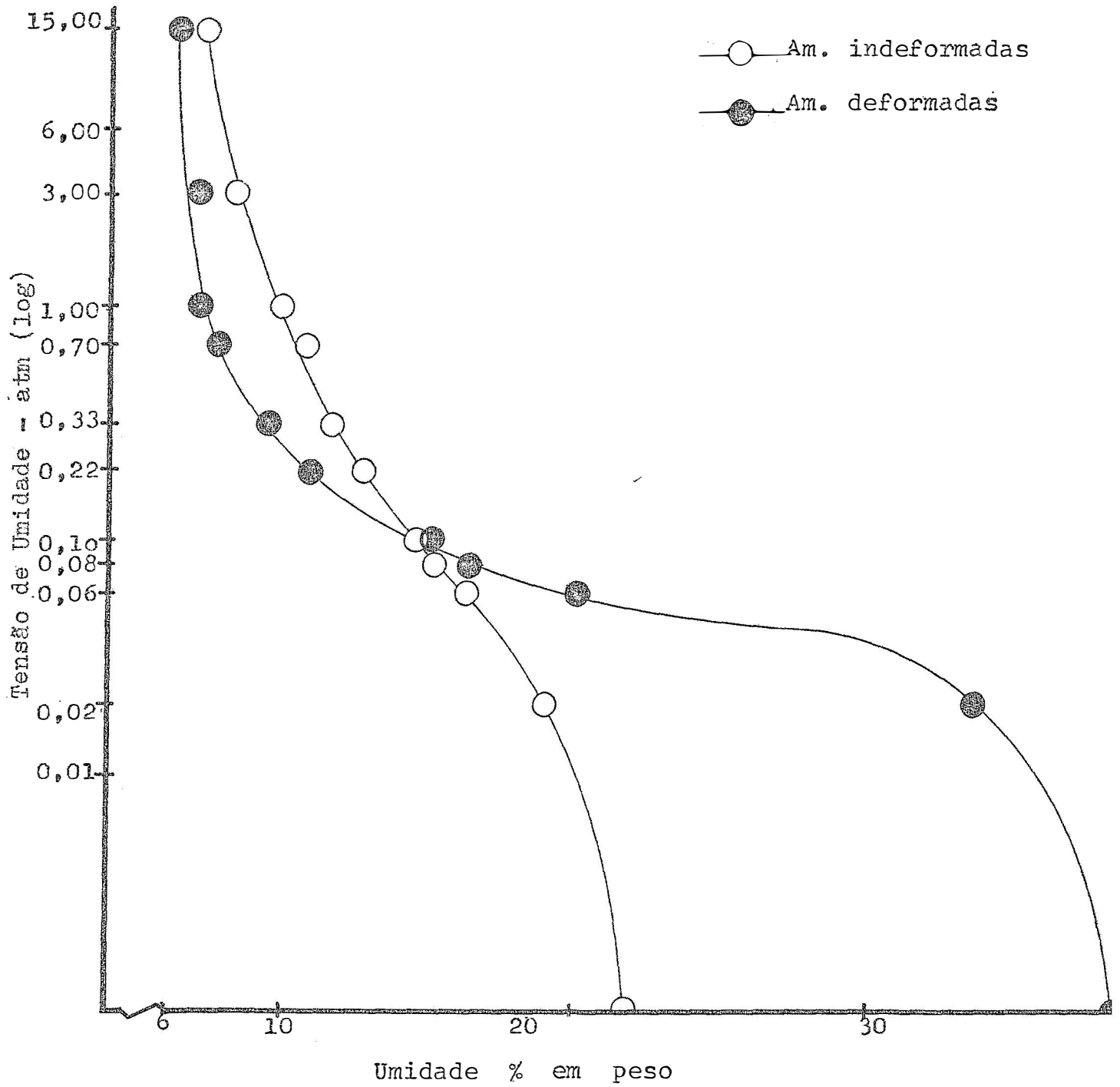


Fig.18 - Curvas de retenção de umidade para as amostras deformadas e indeformadas. Sertãozinho 15,0 - 22,5 cm

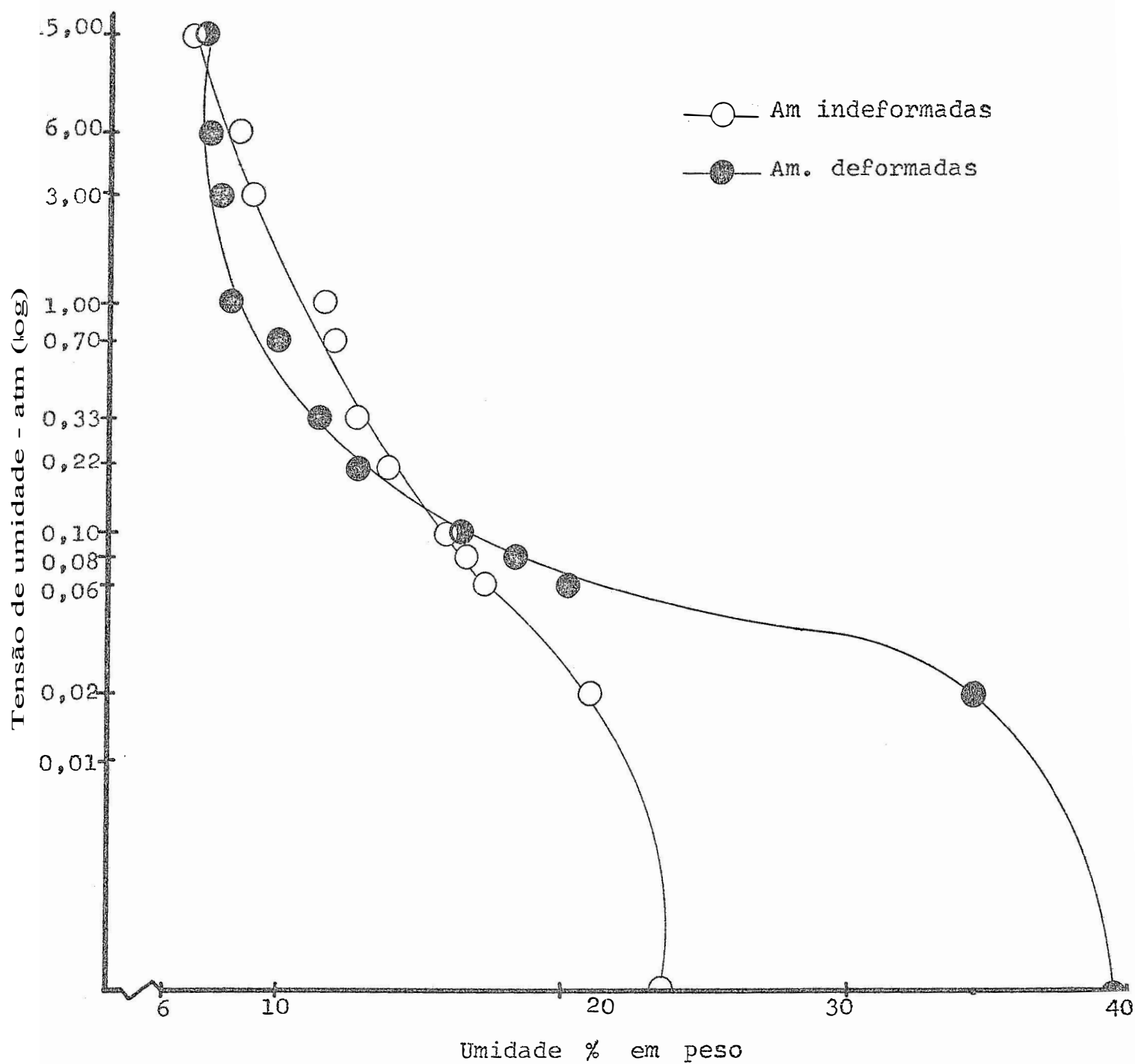


Fig. 19 - Curvas de retenção de umidade para as amostras deformadas e indeformadas. Sertãozinho 22,5 - 30,0 cm

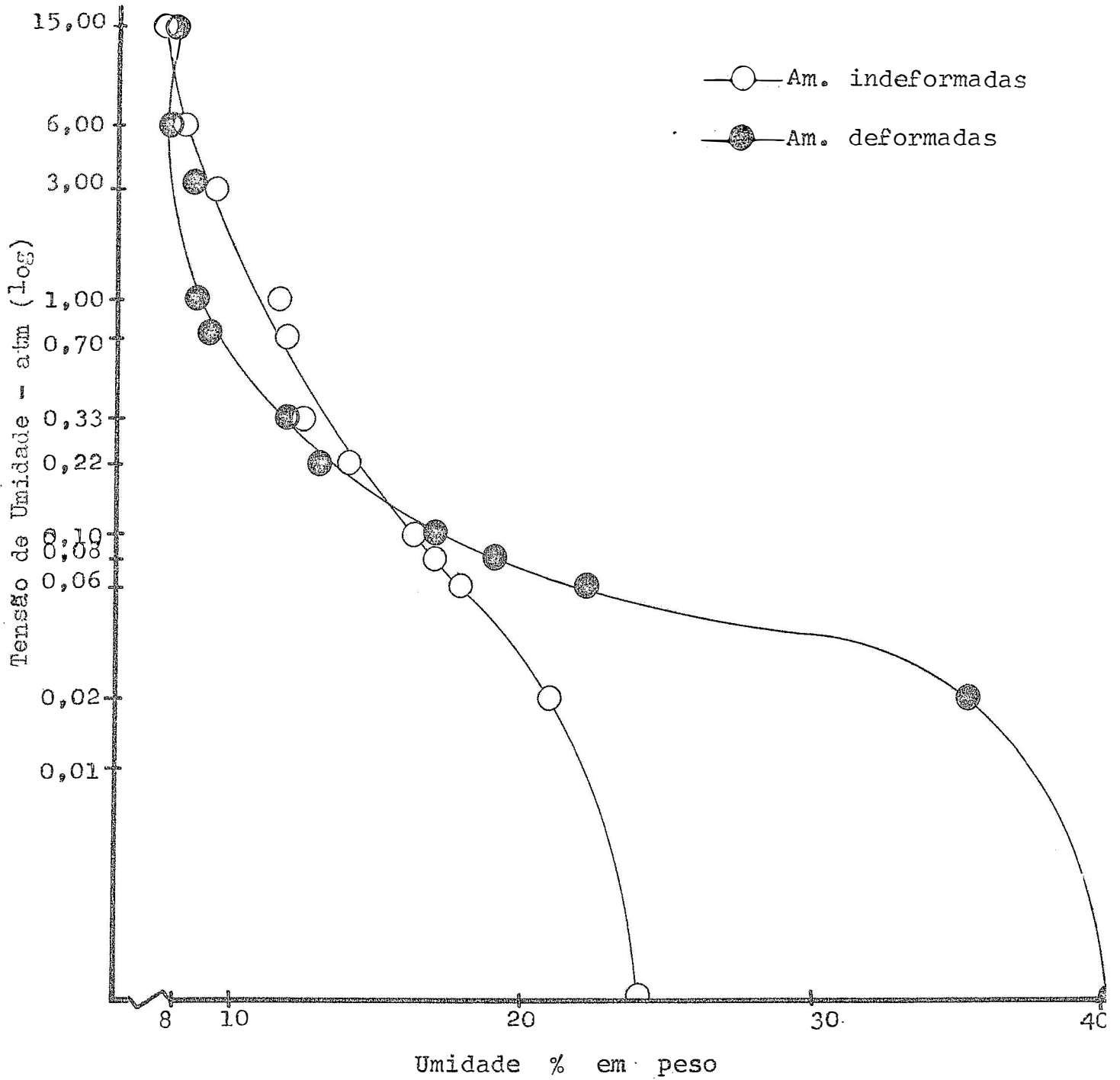


Fig.20 Curvas de retenção de umidade para as amostras deformadas e indeformadas. Sertãozinho 30,0 x 37,5 cm

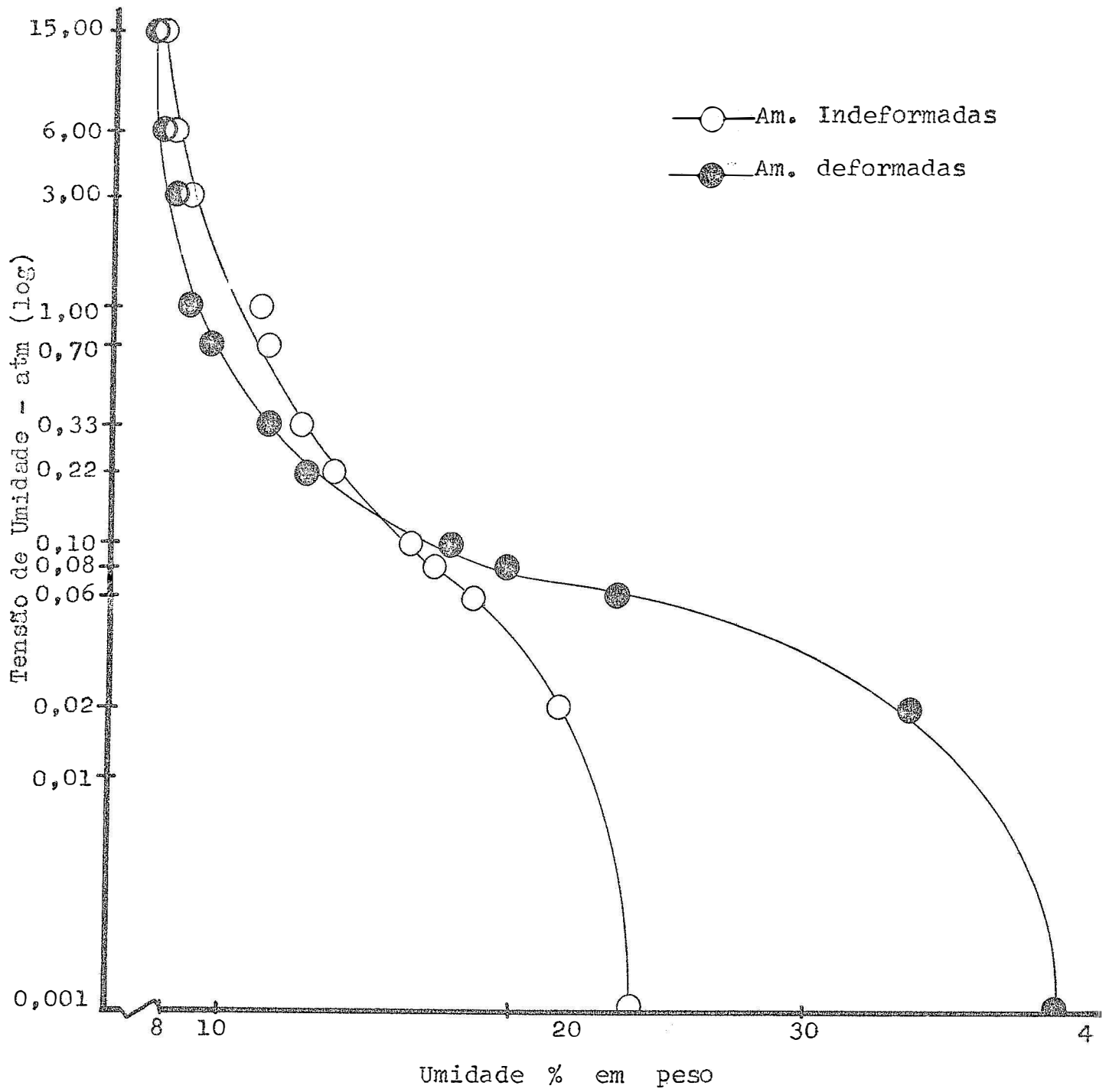


Fig. 21 - Curvas de retenção de umidade para as amostras deformadas e indeformadas. Sertãozinho 37,5 - 45,0 cm

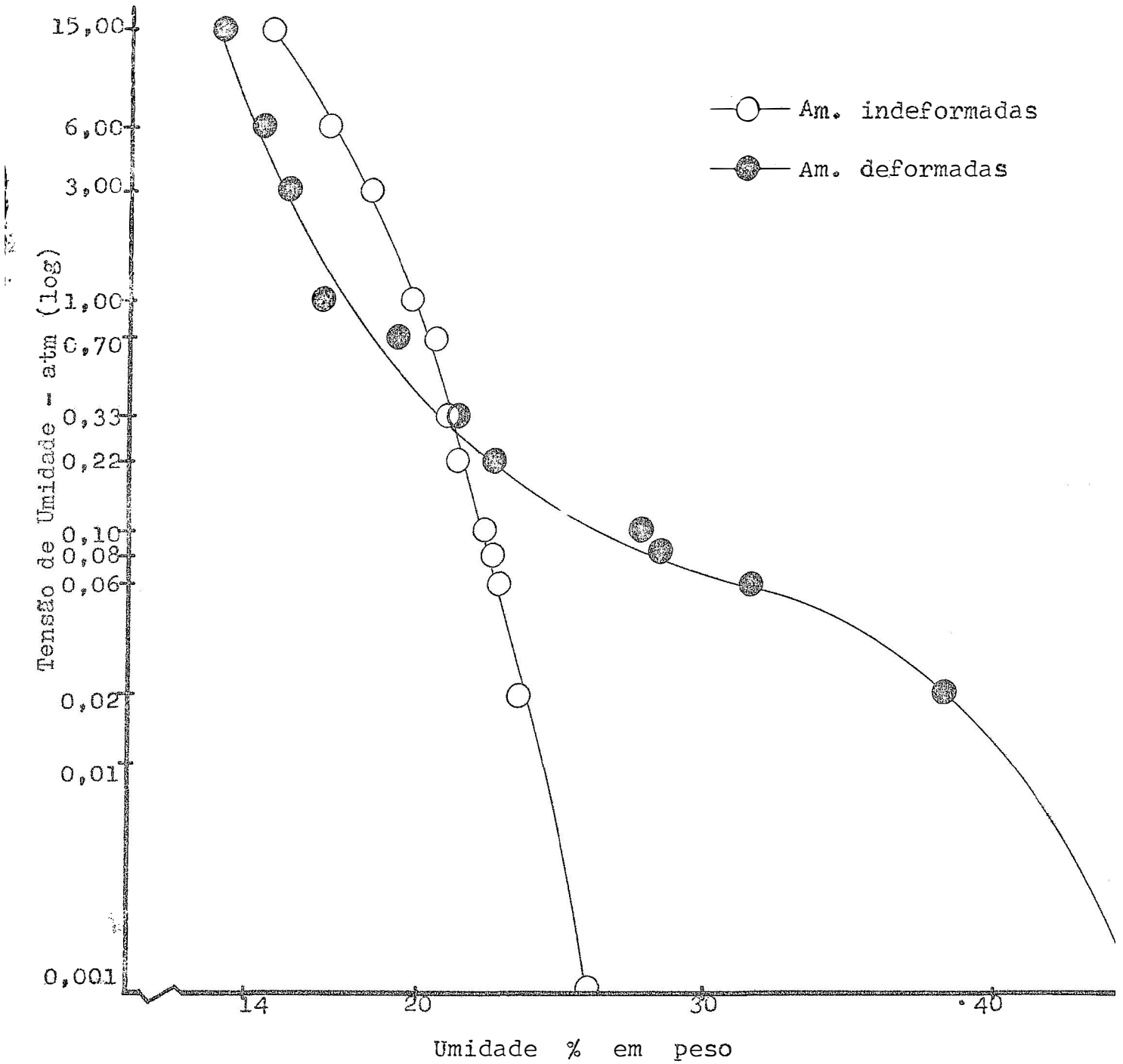


Fig. 22 - Curvas de retenção de umidade para as amostras deformadas indeformadas. Luiz de Queiroz 0,0 - 7,5 cm

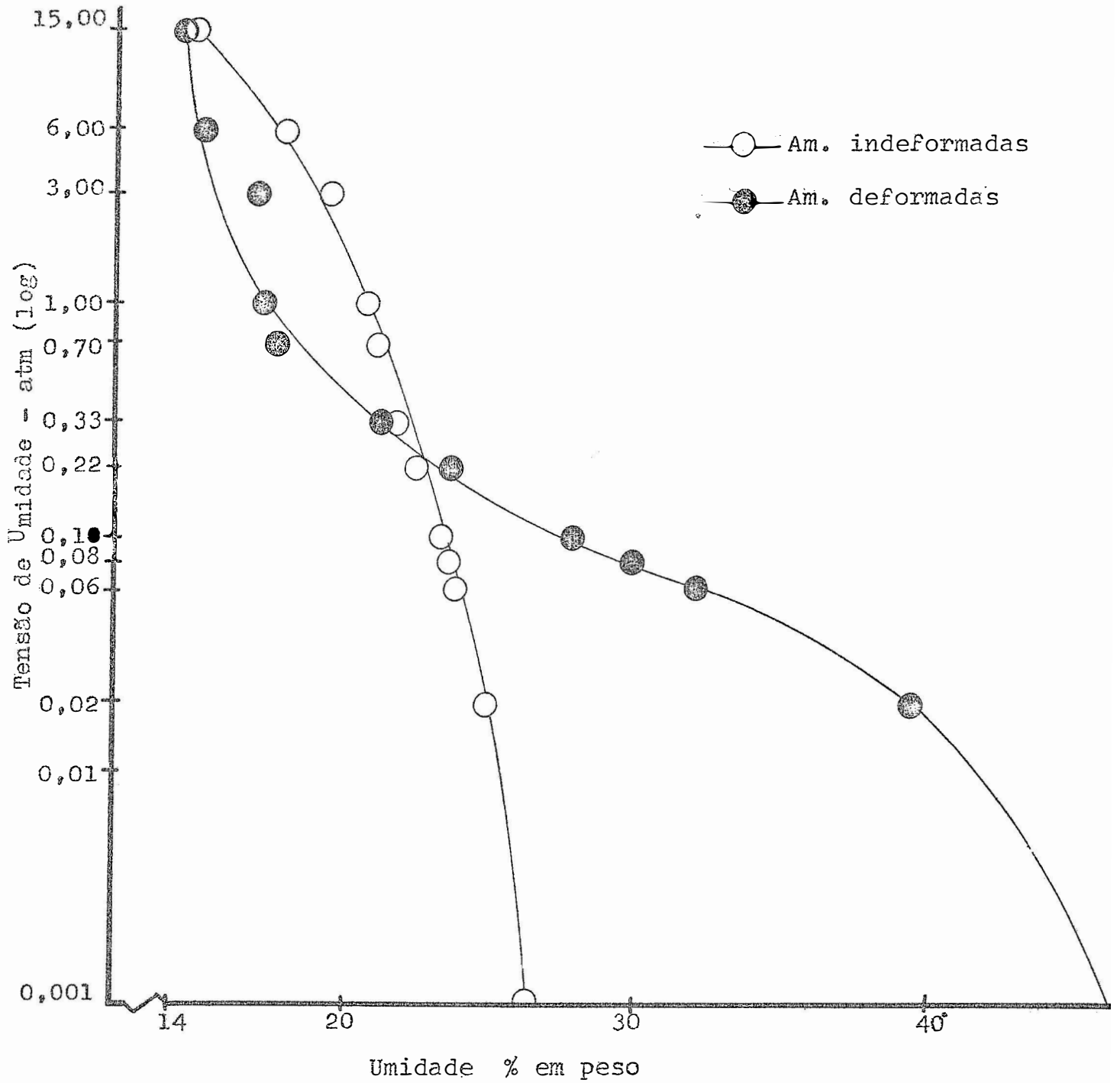


Fig. 23 - Curvas de retenção de umidade para as amostras deformadas e indeformadas. Luiz de Queiroz 7,5 - 15,0 cm.

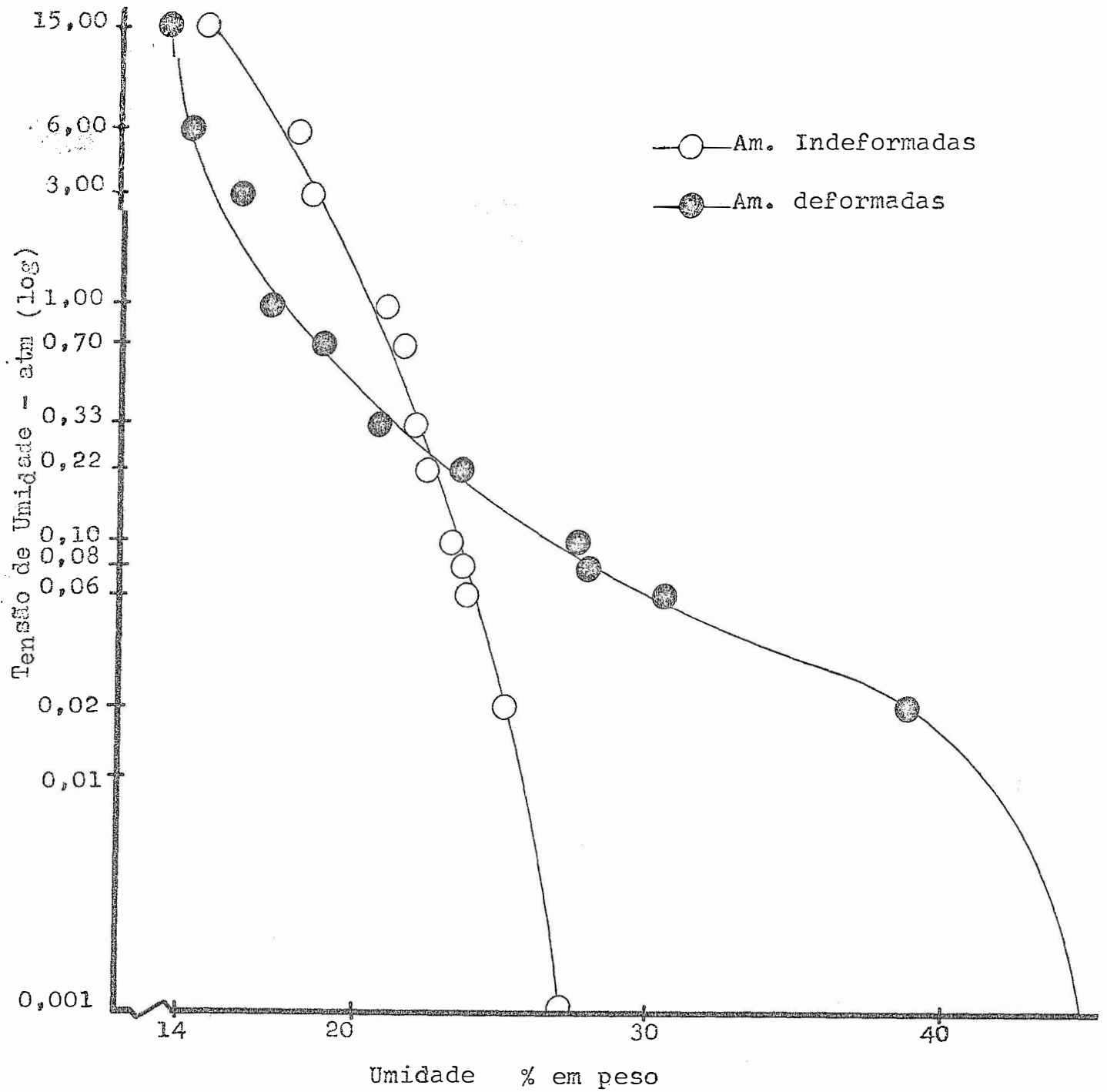


Fig. 24 -Curvas de retenção de umidade para as amostras deformada e indeformadas. Luiz de Queiroz 15,0 -22,5 cm.

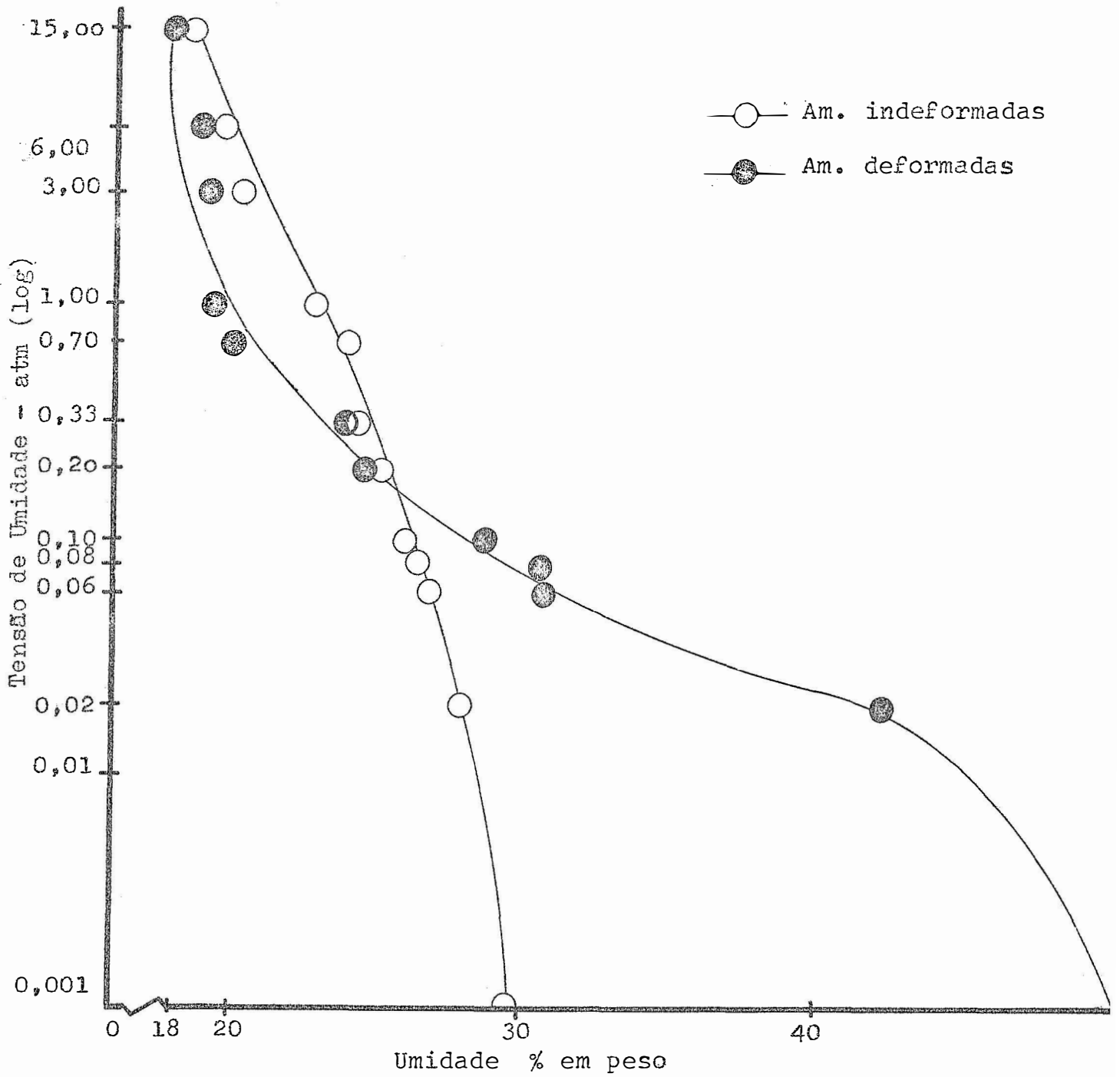


Fig.25 - Curvas de retenção de umidade para as amostras deformadas e indeformadas. Luiz de Queiroz 22,5 - 30,0 cm.



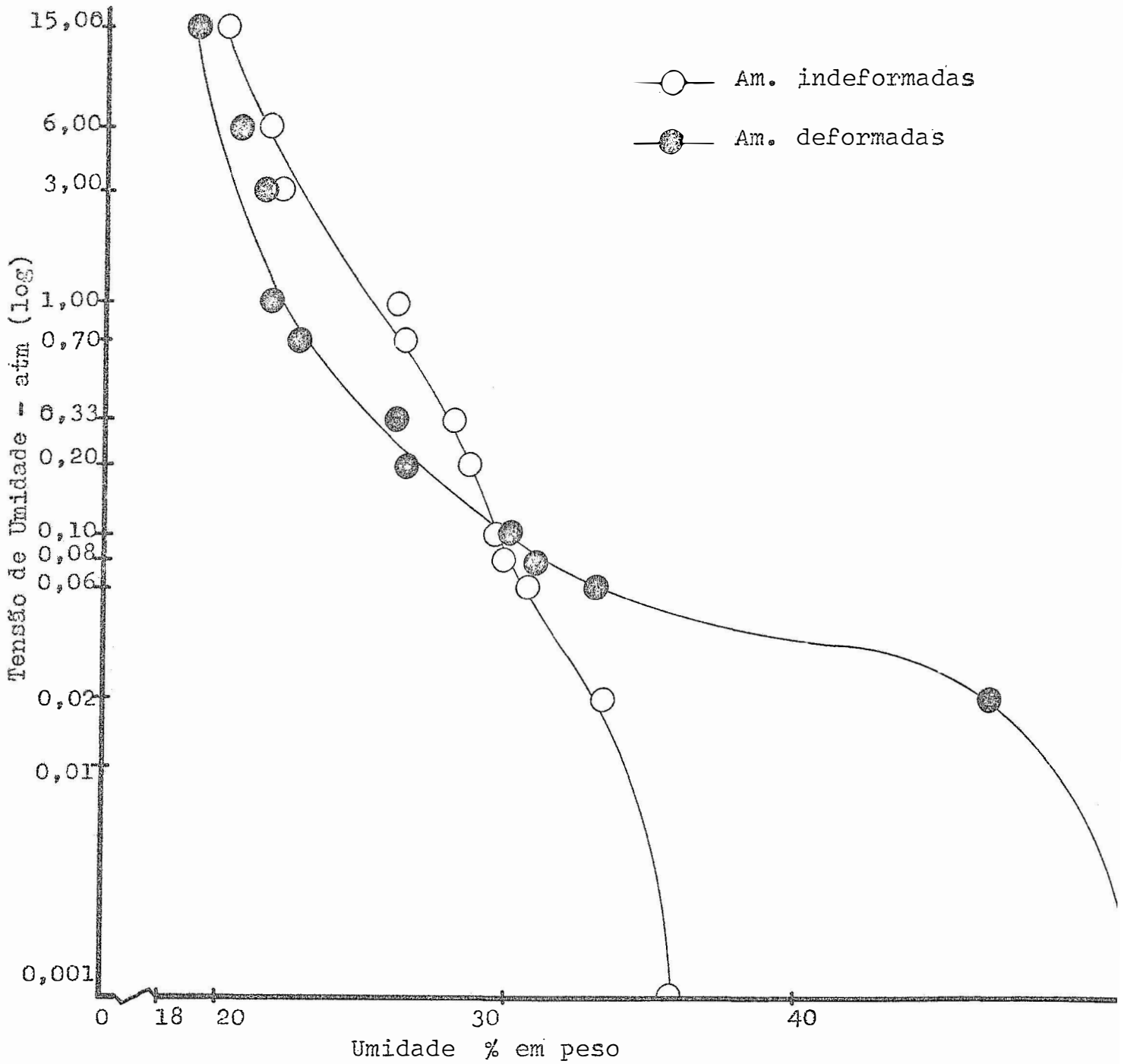


Fig. 26 Curvas de retenção de umidade para as amostras deformadas e indeformadas. Luiz de Queiroz 30,0 - 37,5 cm.

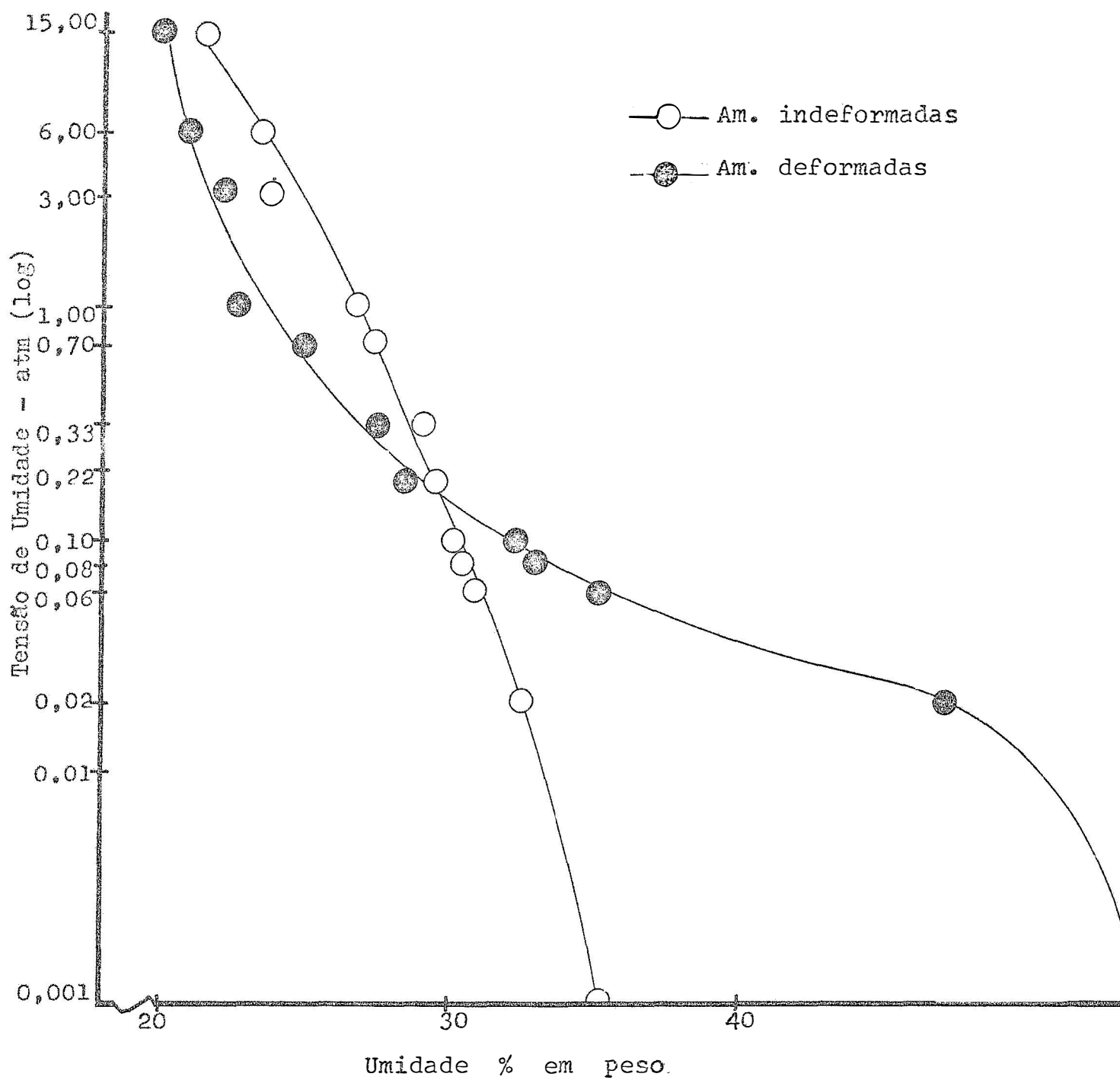


Fig. 27 - Curvas de retenção de umidade para as amostras deformadas e indeformadas. Luiz de Queiroz 37,50 - 45,00 cm

## RESUMO e CONCLUSÕES

Dois solos do Município de Piracicaba, uma Terra Roxa Estruturada e um Regosol, com características contrastantes foram amostradas até a profundidade de 45 cm em camadas de 7,5 cm de espessura constituindo 6 tratamentos para cada solo. Foram tomadas amostras de terra solta e amostras indeformadas por meio de um amostrador de Uhland. Os dois tipos de amostras foram utilizadas para determinar as curvas de retenção de umidade dos dois solos até a profundidade considerada. Foi também feita a caracterização granulométrica, a determinação das densidades e a capacidade de campo desses solos.

Os dados obtidos foram utilizados para calcular a porosidade total teórica e determinada, além das porosidades livres de água a diversas tensões para as profundidades dos respectivos solos.

A análise e discussão dos resultados permitiram as seguintes conclusões principais:

1. A diferença entre as porosidades totais calculada e determinada diminui com a profundidade do solo, indicando

que para a camada arável é mais crítica a escolha do parâmetro a ser usado;

2. A diferença entre as porosidades totais calculadas e determinada corresponde a poros livre de água;
3. As alterações provocadas pela deformação das amostras de solo causam variações sensíveis na retenção de umidade a baixas tensões. A observação dos dados indica que as amostras deformadas devem ser evitadas para avaliar tensões de umidade abaixo de 0,2 atm.
4. A porosidade livre de água correspondente às diferenças entre a porosidade teórica e a determinada pode ser uma informação de valia para o manejo do solo visando aumentar a retenção de umidade ou manter a porosidade de aeração do solo.

## SUMMARY

Two soils occurring in the Piracicaba Municipality, representing a Terra Roxa Estruturada and a Regosol, were chosen for a study of soil porosity in view of their contrasting physical characteristics. They were sampled to a depth of 45 cm in individual layers 7,5 cm thick, comprising therefore 6 treatments for each soil. Loose soil samples and undisturbed samples were taken. These two kinds of samples were used to determine the moisture retention curves of these two soils from the surface to the depth mentioned above, particle size distribution, soil density and field capacity.

The data obtained were used to calculate the theoretical and determined soil total porosity and air-free porosity at various selected tensions for the various depths sampled in the two soils. The analysis and discussion of the results led to the following main conclusions:

1. The difference between determined and calculated total soil porosity decreases with soil depth, indicating that for the soil plow layer the choice of which parameter

to use is more critical.

2. The difference between calculated and determined total soil porosity corresponds to water-free porosity.
3. Changes brought about by disturbing a soil sample causes measurable variations in water retention at low tensions. The data indicates that disturbed samples should be avoided for the determination of moisture retention below 0,2 atm.
4. Water-free porosity, corresponding to the difference between theoretical and determined total soil porosity can be a useful information for soil management practices aiming to increase water retention or maintain soil aeration porosity.

LITERATURA CITADA\*

- BAVER, L.D. and FARNSWORTH, R.B. Soil Structure Effects on the Growth of Sugar Beets. Soil Sci. Am. Proc., 5:45-48. 1940.
- BLAKE, G.G. Particle Density. In Methods of Soil Analysis, Amer. Soc. of Agronomy Mono., 19:371-373. 1965.
- BRADFIELD, R. and JAMISON, V.E. Soil Structure: Attempts at Its Quantitative Characterization. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 3:70-76. 1939.
- BRAMAO, D.L. and DUDAL, R. Climate, Vegetation and Rational Land Utilization in the Humid Tropics. In 9th Pacific Science, Congress, Bangkok. 1958.
- CHAHAL, R.S. Validity of the Soil Water Characteristics Determined with the Pressurized Apparatus. Soil Sci., 99:98-103. 1965.
- CHAHAL, R.S. Effect of Entrapped Air and Pressure on Matric Suction. Soil Sci., 102:131-134. 1966.

- COLMAN, E.A. A Laboratory Procedure for Determining the Field Capacity of Soils. *Soil Sci.* 63:277-283. 1947.
- FORSYTHE, W.M. et al. Uso de Medidas Físicas de Suelos Arenosos para Evaluar en ellos el Manejo del Complejo Agua - Aire - Planta. *Fitotecnia Latinoamericana*, 4:82-94. 1967.
- GROHMANN, F. Distribuição e Tamanho de Poros em Três Tipos de Solos do Estado de São Paulo. *Bragantia* 19:319-328. 1960.
- HAISE, H.R., HASS, H.J. and JENSEN, L.R. Soil Moisture Studies on Some Great Plains Soils: II. Field Capacity as Related to 1/3-Atmosphere Percentages. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 19:20-25. 1965.
- HANKS, R.J., HOLMES, W.E. and TANNER, C.B. Field Capacity Approximation Based on the Moisture-Transmitting Properties of the Soil. *Ibid.* 18:252-254. 1954.
- JAMISON, V.C. and 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.* 22:189-192. 1958.
- KELLEY, O.J. Requirement and Availability of Soil Water. In *Advances of Agronomy*, 6:67-94. 1954.
- KOPECKY, J. Investigations of the Relations of Water Soil. *Proc. Intern. Congr. Soil Sci.* 1:495-503. 1927.
- LEAMER, R.W. and SHAW, A.B. A simple Apparatus for Measuring Noncapillary Porosity on an Extensive Scale. *J. Amer. Soc. Agron.* 33:1003-1008. 1941.
- LOHNES, R.S. and HANDY, R.L. Shear Strength of Some Hawaiian Latosols. *Eng. Res. Inst., Iowa State University, Tech. Rep.* 7. 1968.
- MARCOS, Z.Z. Estrutura, Agregação e Água do Solo. Tese de Doutorado, E.S.A. "Luiz de Queiroz", mimeografado, 55p. 1968.



- MARCOS, Z.Z. Morphologic and Physical Properties of fine Textured Oxisols, State of São Paulo. Tese de PhD, Graduate School of the Ohio State University, 272p. 1971.
- OLIVEIRA, L.B. Estudo Físico-Hídrico do Solo. Caracterização Completa sob o Ponto de Vista Físico, de uma Área Experimental da Série Recife, Localizada na Estação Experimental do Curado. Bol. Tec. n.º 9 do Inst. Pesq. Exp. Agropec. Nordeste, Recife. 1963.
- OLIVEIRA, L.B. O Estudo Físico do Solo e a Aplicação Racional de Técnicas Conservacionistas. Bol. Tec. n.º 9 do Inst. Pesq. Exp. Agropec. Nordeste, Recife. 1967.
- PEELE, T.C. Relation of Percolation Rates Through Saturated to Volume of Pores Drained in 15 and 30 Minutes under 60 Centimeters Tension. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 14:359-361. 1949.
- RANZANI, G., FREIRE, O e KINJO, T. Carta dos Solos do Município de Piracicaba. C.E.S., E.S.A. "Luiz de Queiroz", S.P. 1966.
- RICHARDS, L.A. and FIREMAN, M. Pressure-Plate Apparatus for Measuring Sorption and Transmission by Soils. Soil Sci. 56:395-404. 1943.
- RICHARDS, L.A. Pressure Membrane Apparatus, Construction and Use, Agr. Eng. 28:451-454. 1947.
- RICHARDS, L.A. Methods of Measuring Soil Moisture Tension. Soil Sci. 68:95-112. 1949.
- RICHARDS, L.A. and WALDLEIGH, C.H. Soil Water and Plant Growth. In Soil Physical Conditions and Plant Growth. Academic Press Inc. New York. 1952.
- RICHARDS, S.J., WEEKS, S.V., and ERICKSON, L.C. Water Use by Young Lemon Trees in Relation to Soil Compaction and Tree Growth. Soil Sci. 92:347-350. 1963.

- ROBINSON, F.E. Soil Moisture Tension, Sugar cane Stalk Elongation and Irrigation Control. *Agronomy Journal*, 55:481-483. 1963.
- ROBINSON, F.E. Required Percent Air Space for Normal Growth of Sugar cane. *Soil Sci.* 98:206-207. 1964.
- RUSSEL, E.W. and BALCERBK, W. The Determination of the Volume and the Air Space of Soil Clods. *J. Agric. Sci.* 34:123-132. 1944.
- SALTER, P.J. and HAWORTH, F. The Available Water Capacity of a Sandy Loam Soil. I. A Critical Comparison of Methods of Determining the Moisture Content of Soil at Field Capacity and the Permanent Wilting Point. *J. Soil Sci.* 12:326:334. 1961.
- SALTER, P. J. and WILLIAMS, J.B. The Influence of Texture on the Moisture Characteristics of Soils. *J. of Soil Science*, 16:1-15. 1965.
- SCARSBROOK, C. E. et al. Depth of Plow Pan as a Factor in Sugar cane Production. *Soil Sci. Sol. Amer. Proc.*, 16:148-150. 1952.
- SOMBROECK, W.G. Amazon Soils - A Reconnaissance of the Soils of the Brazilian Amazon Region. Centre for Agr. Pub. and Documentation, Wageningen. 1966.
- STAUFFER, L.H. Measurement of Physical Characteristics of Soils. *Soil Sci.*, 24:373-379
- STEEL, J.G. and BRADFIELD, R. The Significance of Size Distribution in the Clay Fraction. *Amer. Soil Survey Assn. Report. Bulletin XV*, pp 88-93. 1934.
- UHLAND, R.E. Physical properties of soils modified by crops and management. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 14:361-366. 1949.