

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS

CENTRO DE HIDROLOGIA APLICADA

ESTUDO DOS MÉTODOS TENSIOMÉTRICO E DA RESISTÊNCIA
ELÉTRICA DE DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO

Trabalho apresentado como parte dos requisitos para
obtenção do título de Mestre em Hidrologia Aplicada

Por

GUILHERME EMÍLIO SIMÃO

Março - 1979



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL

ESTUDO DOS MÉTODOS TENSIOMÉTRICO E DA RESISTÊNCIA
ELÉTRICA DE DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO

TRABALHO APRESENTADO COMO PARTE DOS REQUISITOS
PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE

M E S T R E E M H I D R O L O G I A A P L I C A D A

OPÇÃO: *Hidrologia Agrícola*

AUTOR: *Guilherme Emílio Simão*

ORIENTADOR: *Prof. Paulo Dias de Castro Ramos*
Prof. Salassier Bernardo (Co-Orientador)

EXAMINADORES: ~

Prof. Paulo Dias de Castro Ramos

Prof. Salassier Bernardo

Prof. John Taylor

Prof. Flávio Antonio Cauduro

Prof. Egon Klant

Data do exame: 28/03/1979

Aprovação: _____

Presidente da Banca

À minha esposa

À minha filha

Aos meus pais

AGRADECIMENTOS

À Ex-Superintendência do Vale do São Francisco- SUVALE, pela oportunidade concedida para realização do Curso de Mestrado em Hidrologia Aplicada.

Ao Centro de Hidrologia Aplicada do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e à Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura - UNESCO, pela formação de técnicos ao nível de Mestre em Ciência.

Ao Professor Paulo Dias de Castro Ramos pela orientação do presente trabalho.

Ao Professor Salassier Bernardo, pelas sugestões e esclarecimentos, na qualidade de co-orientador.

Ao Professor Sten Stahlberg pela orientação dos trabalhos experimentais.

À Faculdade de Agronomia e à Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pela cessão de instalações e áreas para realização dos experimentos.

À Fundação Rural Mineira - Colonização e Desenvolvimento Agrário - RURALMINAS, pela ajuda concedida.

À minha esposa, pela grande compreensão, estímulo e colaboração.

A todos aqueles que de uma forma ou de outra colaboraram com a realização deste trabalho.

SINOPSE

Através de ensaios em casa de vegetação e de campo, realizados na Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, estudou-se o método tensiométrico e da resistência elétrica de determinação da umidade do solo, em comparação com o método padrão da estufa. Foram utilizados no estudo os tensiômetros e os aparelhos de resistência elétrica comerciais, disponíveis no Centro de Hidrologia Aplicada do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS, fabricados pela "Soilmoisture Equipment Corp.", Santa Barbara, Calif., U.S.A. e três tipos de solos da Estação Experimental Agronômica, também da UFRGS, localizada no município de Guaíba, RS. Como resultado do trabalho analisou-se o comportamento dos métodos tensiométrico e da resistência elétrica comparando-os com o método padrão da estufa; comparou-se o método da resistência elétrica com o tensiométrico; determinou-se os erros máximos médios esperados dos métodos tensiométricos e da resistência elétrica, em relação ao método padrão da estufa, com 95% de probabilidade e os erros máximos médios esperados do método da resistência elétrica em relação ao método tensiométrico, com 95% de probabilidade.

SUMMARY

Tensiometer and electric resistance methods for the determination of soil moisture, in comparison with the oven-dry weight standard method, were studied at Rio Grande do Sul Federal University (Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS), through vegetation house and field investigations. It was made use of commercial equipments of tensiometer and electric resistance sets available at the Applied Hydrology Center (Centro de Hidrologia Aplicada) of the Hydraulics Research Institute of RGSFU - (Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS), manufactured by Soilmoisture Equipment Corp., Santa Barbara, Calif., U.S.A., and three different soils of the Agronomic Experiment Station - RGSFU (Estação Experimental Agronômica - UFRGS), at Guaíba County, State of Rio Grande do Sul. As a result of the work it was analyzed the performance of the tensiometer and electric resistance methods and its comparison with the standard method; it was compared the electric resistance method with the tensiometer; it was determined the average maximum errors expected from the tensiometer and electric resistance methods in relation to the oven-dry weight standard method, with 95% of probability and average maximum errors expected from the electric resistance method in relation to the tensiometer method, with 95% of probability.

SUMÁRIO

	Página
RELAÇÃO DE QUADROS.....	ix
RELAÇÃO DE FIGURAS.....	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	11
3.1. Aparelhagem de Ensaio.....	11
3.2. Solos.....	12
3.3. Experimento de Campo.....	13
3.4. Experimento na Casa de Vegetação.....	14
3.5. Trabalho de Laboratório.....	18
3.5.1. Curvas de Tensão - Umidade.....	18
3.5.2. Curvas de Calibração dos Blocos de Resistência Elétrica pelos Pratos de Pressão.....	18
3.6. Análises Estatísticas.....	19
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
4.1. Curvas de Tensão - Umidade e Calibração dos Blocos de Resistência Elétrica.....	20
4.2. Análise Comparativa dos Métodos no Experimento da Casa de Vegetação.....	27
4.2.1. Comparação Através do Teste de t....	27
4.2.2. Análise Através da Regressão Linear	37
4.2.3. Intervalo de Confiança para as Médias das Diferenças entre os Métodos	43

	Página
4.3. Análise Comparativa dos Métodos no Experimento de Campo.....	47
5. CONCLUSÕES.....	53
6. BIBLIOGRAFIA CITADA.....	55
APÊNDICE.....	59

RELAÇÃO DE QUADROS

QUADRO		Página
1	Tabela de conversão das leituras do medidor de resistência elétrica	12
2	Análises granulométricas dos solos Arroio dos Ratos, Arroio Ibacaru e São Jerônimo ..	13
3	Massas específicas aparentes dos solos Arroio dos Ratos, Arroio Ibacaru e São Jerônimo	13
4	Resultados da regressão linear relacionando a umidade do solo e a leitura no medidor de resistência elétrica	26
5	Comparação entre o método tensiométrico e o gravimétrico, tendo sido as leituras dos tensiômetros convertidas em umidades do solo. (%).....	30
6	Comparação entre o método tensiométrico e o gravimétrico, tendo sido as umidades (%) convertidas em tensões de umidade do solo ...	30
7	Comparação entre o método da resistência elétrica e o gravimétrico, tendo sido as leituras do medidor convertidas em umidades do solo (%)	31
8	Comparação entre o método da resistência elétrica e o gravimétrico, tendo sido as leituras do medidor e as umidades (%) convertidas em tensões de umidade do solo	31

QUADRO

Página

9	Comparação entre o método da resistência elétrica e o tensiométrico, tendo sido as leituras do medidor de resistência elétrica convertidas em tensões de umidade do solo..	31
10	Regressão linear entre as umidades (%) obtidas pela estufa e o logaritmos da tensões de umidade fornecidas pelos tensiômetros ..	32
11	Regressão linear entre as umidades (%) obtidas pela estufa e as leituras no medidor...	36
12	Regressão polinomial até o grau 2 entre as leituras do medidor e os logaritmos das tensões obtidas pela conversão das umidades (%) da estufa	36
13	Regressão linear entre as leituras do medidor e os logaritmos das tensões de umidade fornecidas pelos tensiômetros.....	37
14	Regressão entre o método da estufa e o tensiométrico com os dados expressos em teor de umidade (% em peso)	37
15	Regressão entre o método da estufa e o tensiométrico, com os dados expressos em tensão de umidade (atmosfera).	42
16	Regressão entre o método da estufa e o da resistência elétrica, com os dados expressos em teor de umidade (% em peso).....	42
17	Regressão entre o método da estufa e o da resistência elétrica, com os dados expressos em tensão de umidade (atmosfera).....	42
18	Regressão entre o método tensiométrico e o da resistência elétrica com os dados expressos em tensão de umidade (atmosfera).....	42
19	Intervalo de confiança para a diferença entre o método tensiométrico (T) e o da estufa (E), em termos de teor de umidade (% em peso).....	44
20	Intervalo de confiança para a diferença entre o método tensiométrico (T) e o da estufa (E), em termos de tensão de umidade do solo (atmosfera).....	44

QUADRO

Página

21	Intervalo de confiança para a diferença <u>en</u> tre o método da resistência elétrica (R) e o da estufa (E), em termos de teor de umidade (% em peso).....	44
22	Intervalo de confiança para a diferença <u>en</u> tre o método da resistência elétrica (R) e o da estufa (E), em termos de tensão de 'umidade, na faixa de 0,1 a 1,0 atmosfera..	45
23	Intervalo de confiança para a diferença <u>en</u> tre o método da resistência elétrica (R) e o da estufa (E), em termos de tensão de 'umidade, na faixa de 1,0 a 15,0 atmosfera.	45
24	Intervalo de confiança para a diferença <u>en</u> tre o método da resistência elétrica (R) e o tensiométrico (T), em termos de tensão 'de umidade (atmosfera).....	45
25	Comparação entre o método tensiométrico e o gravimétrico, tendo sido as leituras dos tensiômetros convertidas em umidade do solo (%)	47
26	Comparação entre o método tensiométrico e o gravimétrico, tendo sido as umidades (%) obtidas na estufa convertidas em tensões 'de umidade do solo	48
27	Comparação entre o método da resistência 'elétrica e o gravimétrico, tendo sido as leituras do medidor de resistência conver- tidas em umidades do solo (%).....	48
28	Comparação entre o método da resistência 'elétrica e o gravimétrico, tendo sido as leituras do medidor de resistência e as 'umidades (%) obtidas na estufa convertidas em tensões de umidade do solo	48
29	Comparação entre o método da resistência 'elétrica e o tensiométrico, tendo sido as leituras do medidor de resistência conver- tidas em tensões de umidade do solo	49

QUADRO

Página

30	Regressão entre o método da estufa e o tensiométrico com os dados expressos em teor de umidade (% em peso).....	49
31	Regressão entre o método da estufa e o tensiométrico com os dados expressos em tensão de umidade (atmosfera).....	49
32	Regressão entre o método da estufa e o da resistência elétrica, com os dados em teor de umidade (% em peso).....	49
33	Regressão entre o método da estufa e o da resistência elétrica, com os dados expressos em tensão de umidade (atmosfera).....	50
34	Regressão entre o método tensiométrico e o da resistência elétrica, com os dados em tensão de umidade (atmosfera).....	50
35	Intervalo de confiança para a diferença entre o método tensiométrico (T) e o da estufa (E), em termos de teor de umidade (% em peso).....	50
36	Intervalo de confiança para a diferença entre o método tensiométrico (T) e o da estufa (E) em termos de tensão de umidade (atmosfera).....	50
37	Intervalo de confiança para a diferença entre o método da resistência elétrica (R) e o da estufa (E), em termos de teor de umidade (% em peso).....	51
38	Intervalo de confiança para a diferença entre o método da resistência elétrica (R) e o da estufa (E), em termos de tensão de umidade, na faixa de 0,1 a 1,0 atmosfera.	51
39	Intervalo de confiança para a diferença entre o método da resistência elétrica (R) e o da estufa (E), em termos de tensão de umidade, na faixa de 1,0 a 15,0 atmosferas	51
40	Intervalo de confiança para a diferença entre o método da resistência elétrica (R) e o tensiométrico (T), em termos de tensão de umidade (atmosfera).....	51

QUADRO

Página

A1	Resultados da determinação da curva de tensão-umidade dos solos Arroio dos Ratos - prof. 15 cm, Arroio dos Ratos - prof. 60 cm, Arroio Ibacaru-prof. 15 cm, e São Jerônimo - prof. 15 cm	60
A2	Calibração dos blocos de resistência elétrica pelos pratos de pressão	60
A3	Resultados do trabalho na casa de vegetação no solo Arroio dos Ratos	61
A4	Resultados do trabalho na casa de vegetação no solo Arroio Ibacaru	63
A5	Resultados do trabalho na casa de vegetação no solo São Jerônimo.....	65
A6	Resultados do trabalho de campo no solo' Arroio dos Ratos.....	67

RELAÇÃO DE FIGURAS

FIGURA		Página
1	Esquema de instalação dos aparelhos no solo Arroio dos Ratos no experimento de campo	15
2	Esquema de instalação dos aparelhos no solo Arroio Ibacaru no experimento de campo.	16
3	Esquema de instalação dos aparelhos no solo São Jerônimo no experimento de campo...	16
4	Esquema de instalação dos aparelhos na casa de vegetação.....	17
5	Curva de tensão-umidade do solo Arroio dos Ratos-prof. 15 cm.....	21
6	Curva de tensão-umidade do solo Arroio dos Ratos - prof. 60 cm.....	22
7	Curva de tensão-umidade do solo Arroio Ibacaru - prof. 15 cm.....	23
8	Curva de tensão-umidade do solo São Jerônimo - prof. 15 cm.....	24
9	Curva de calibração dos blocos de resistência elétrica.....	25
10	Curva de calibração dos blocos de resistência elétrica para o solo Arroio dos Ratos' -profundidade 15 cm.....	28
11	Curva de calibração dos blocos de resistência elétrica para o solo Arroio dos Ratos' profundidade 60 cm.....	28

FIGURA

Página

12	Curva de calibração dos blocos de resistên <u>cia</u> elétrica para o solo Arroio Ibacaru - profundidade 15 cm.....	29
13	Curva de calibração dos blocos de resistên <u>cia</u> elétrica para o Solo São Jerônimo-profundidade 15 cm.....	29
14	Comparação entre a curva de tensão-umidade determinada em laborat <u>ório</u> e a determinada na casa de vegetação pelos tensi <u>ô</u> metros pa <u>ra</u> o solo Arroio dos Ratos - prof. 15 cm..	33
15	Comparação entre a curva de tensão-ú <u>mi</u> dade determinada em laborat <u>ório</u> e a determinada na casa de vegetação pelos tensi <u>ô</u> metros pa <u>ra</u> o solo Arroio Ibacaru-prof.15 cm.....	34
16	Comparação entre a curva de tensão-umidade determinada em laborat <u>ório</u> e a determinada na casa de vegetação pelos tensi <u>ô</u> metros pa <u>ra</u> o solo São Jerônimo-prof.15 cm.....	35
17	Comparação entre a curva de calibração dos blocos de resistên <u>cia</u> elétrica determinada em laborat <u>ório</u> e a determinada na casa de vegetação com dados da estufa para o solo Arroio dos Ratos-prof.15 cm.....	38
18	Comparação entre a curva de calibração dos blocos de resistên <u>cia</u> elétrica determinada em laborat <u>ório</u> e a determinada na casa de vegetação com dados da estufa para o o <u>so</u> lo Arroio Ibacaru-prof. 15 cm.....	39
19	Comparação entre a curva de calibração dos blocos de resistên <u>cia</u> elétrica determinada em laborat <u>ório</u> e a determinada na casa de vegetação com dados da estufa para o solo' São Jerônimo - prof. 15 cm.....	39
20	Comparação entre a curva de calibração dos blocos de resistên <u>cia</u> elétrica determinada em laborat <u>ório</u> e as determinadas na casa ' de vegetação com dados da estufa.....	40

FIGURA

Página

- 21 Comparação entre a curva de calibração dos blocos de resistência elétrica determinada em laboratório e as determinadas na casa de vegetação com dados dos tensiômetros...

41

1. INTRODUÇÃO

A avaliação da umidade do solo é uma tarefa constante dos técnicos que se dedicam à agricultura, hidrologia e áreas correlatas, especialmente daqueles que estão envolvidos nos trabalhos de irrigação e estudo da relação água-solo-planta.

A umidade do solo pode ser avaliada sob o aspecto da quantidade de água existente na unidade de massa ou volume do solo - teor da umidade - expressa em percentagem; ou sob o aspecto da energia com que a água está retida - sucção matricial ou tensão - expressa em trabalho por unidade de volume ou pressão.

Nos trabalhos de irrigação, a avaliação da umidade do solo na região de desenvolvimento radicular das culturas se reveste de capital importância para se determinar o momento exato de irrigar e a quantidade de água deve ser recolocada no solo.

O método da estufa ou gravimétrico é considerado o método mais preciso de determinação da umidade do solo. Entretanto, é muito trabalhoso e demorado, pois geralmente são necessárias 24 horas ou mais para se ter o resultado. É, portanto, pouco prático para os trabalhos normais de irrigação e seu uso tem se limitado aos casos que requerem maior precisão ou nas aferições de aparelhos e métodos mais simples, servindo como padrão.

Muitos esforços têm sido desenvolvidos na procura de métodos que ao mesmo tempo sejam simples, práticos e precisos.

Muitos métodos foram desenvolvidos, baseando-se em princípios diferentes, porém, até hoje nenhum deles preenche satisfatoriamente todos os requisitos.

Dentre os métodos desenvolvidos, os tensiômetros e o da resistência elétrica têm sido os mais comumente utilizados, principalmente nos países onde a irrigação vem sendo praticada há muitos anos e os aparelhos são disponíveis comercialmente. No Brasil, o uso destes métodos tem se restringido a trabalhos experimentais, porém, com o desenvolvimento da irrigação, sua utilização deverá estender-se aos agricultores, devido as vantagens da avaliação da umidade do solo para o controle das regas.

O método tensiométrico, embora seja um método direto de medição da tensão da umidade do solo, é um método indireto de determinação do teor de umidade e o da resistência elétrica é um método indireto de determinação tanto do teor como da tensão de umidade do solo. Devido às suas características específicas, ambos os métodos não são exatamente precisos.

O presente trabalho, através do estudo desses dois métodos de determinação de umidade do solo em comparação com o método padrão da estufa, teve os seguintes objetivos:

- 1) analisar o comportamento dos métodos tensiométricos e da resistência elétrica, comparando-os com o método padrão da estufa;
- 2) comparar o método da resistência elétrica com o método tensiométrico;
- 3) determinar os erros que os métodos tensiométrico e da resistência elétrica podem apresentar em relação ao método padrão da estufa e
- 4) determinar os erros que o método da resistência elétrica pode apresentar em relação ao tensiométrico.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

RICHARDS (1942) descreveu a construção, instalação e uso dos tensiômetros.

São aparelhos utilizados para medir a tensão da umidade do solo ou sucção matricial. Consistem de uma cápsula porosa conectada a um manômetro de mercúrio ou vacuômetro metálico através de um tubo. O instrumento é cheio de água isenta de ar, fechado hermêticamente e instalado no solo. A água no interior do aparelho entra em equilíbrio com a sucção matricial do solo através da cápsula porosa. Quando este começa a secar, a sucção matricial aumenta e há um deslocamento da água do interior do aparelho para o solo, provocando um vácuo parcial que é registrado pelo manômetro de mercurio ou vacuômetro metálico. Se a umidade do solo aumenta, devido a chuvas ou irrigações, a sucção matricial diminui e a água flue, então, do solo para o interior do aparelho. Teoricamente, os tensiômetros poderiam medir tensões até 1 atmosfera. Na prática, porém, são possíveis medições até 0,80 - 0,85 atmosfera. Acima desta tensão o ar penetra no aparelho através dos poros da cápsula, a água começa a passar do estado líquido para o estado gasoso, e as medições perdem a precisão (DAKER, 1970; HOLMES et alii, 1967; ISRAELSEN e HANSEN, 1965; SOILMOISTURE EQUIP. CORR, 1971).

Embora o tensiômetro meça diretamente a tensão da umidade do solo, pode também ser usado para fornecer teor da umidade, se for devidamente calibrado para aquele solo (PERRIER e EVANS, 1961).

HUNTER e KELLEY (1946) usaram amplamente tensiômetros em experimentos de campo e afirmaram que os com vacuômetros metálicos são de resposta mais lenta e de difícil manutenção, enquanto que os de manômetros de mercúrio são adequados.

Quatro tipos de tensiômetros foram testados por PERRIER e EVANS (1961), em ensaio de campo, em quatro solos diferentes: franco argiloso, franco, franco arenoso e areia franca. Através de análises estatísticas nenhuma diferença significativa foi encontrada entre eles. Determinaram as curvas de calibração para os diversos tipos de solos através de regressão linear entre os teores de umidade obtidos por amostragem e os logaritmos das tensões. Os coeficientes de correlação variaram de 0,84 a 0,91. Observaram que, durante as operações de campo, todos os tensiômetros foram de instalação e operação relativamente simples. Somente os tensiômetros de manômetro de mercúrio apresentaram algumas dificuldades de transporte, manuseio e operação, porém, foram os que exibiram maior amplitude de leitura (0 a 85 centibars). As leituras dos tensiômetros e as umidades do solo determinadas por amostragens foram comparadas com as curvas de tensão-umidade obtidas pelo processo do prato de pressão, com amostras deformadas e indeformadas. Em todos os casos, as umidades das amostras deformadas foram maiores do que as fornecidas pelo tensiômetro e amostras indeformadas, cujos valores se apresentaram mais próximos. Na opinião dos autores a calibração dos tensiômetros no campo para obter a curva de tensão-umidade do solo conduz à melhor estimativa para aquelas condições.

RICHARDS e MARSH (1961) propõem o uso de tensiômetros, instalados a duas ou mais profundidades na zona de desenvolvimento radicular das culturas, para controlar tanto os intervalos de rega como também a sua duração. Para as culturas que suportam tensões superiores ao limite máximo de funcionamento dos tensiômetros, recomendam o uso de unidades de resistência elétrica ou unidades termo-elétricas devidamente calibradas pela técnica do prato e membrana de pressão.

A medição da resistência elétrica entre dois eletrodos enterrados no solo e a correlação com o seu teor de umidade foi proposta por Whitney, Gardner e Briggs, em 1897 (ROCHA, 1971).

Como os eletrodos eram enterrados sem qualquer revestimento, o processo não apresentou resultados satisfatórios, devido ao efeito da concentração de sais e o mau contato entre os eletrodos e o solo. A solução prática foi apresentada por Bouyoucos e Mick, em 1940, que construíram pequenos blocos de gesso-paris, contendo no seu interior dois eletrodos ligados a fio isolados para serem conectados ao medidor de resistência elétrica. Quando enterrado no solo, a umidade do bloco entra em equilíbrio com a do solo e a sua flutuação afeta a quantidade de gesso em solução refletindo no valor da resistência elétrica (DAKER, 1970; HOLMES et alii, 1967; ROCHA, 1971).

A partir dos blocos de Bouyoucos e Mick, outros tipos de unidades de resistência elétrica foram desenvolvidas, variando o tipo de material absorvente, formato do bloco, material e arranjo dos eletrodos, tais como: unidade de nylon com eletrodos de malha de liga de níquel-cobre (BOUYOUCOS, 1949); unidade de fibra de vidro com eletrodos de tela de níquel-cobre (COLMAN e HENDRIX, 1949); unidade nylon-gesso desenvolvida por Bouyoucos (BOUGERT et alii, 1958; ROCHA, 1971); unidade de fibra de vidro-gesso construída por Youker e Dreibelbis (BOUGERT et alii, 1958; ROCHA, 1971); bloco de gesso retangular revestido com resina de nylon e com eletrodos de tela de aço colocado paralelamente às suas maiores superfícies (BOUYOUCOS, 1961; TAYLOR et alii, 1961); bloco de gesso cilíndrico com eletrodo externo de tela circular e eletrodo central de fio comercial (PEREIRA, 1951; PERRIER e MARSH, 1958; SLATER, 1942)); e bloco de gesso cilíndrico com eletrodos de tela concêntricos (CANNELL e ASBELL, 1964; PEREIRA, 1951; PERRIER e MARSH, 1958).

As unidades de resistência elétrica podem ser calibradas em relação ao teor da umidade ou em relação à tensão da umidade do solo (BOUYOUCOS; 1960; HOLMES et alii, 1967; TAYLOR et alii, 1961). Uma variação da calibração em função ao teor de umidade é a em função da água disponível às plantas considerada mais prática para fins de irrigação (BOUYOUCOS, 1950; BOUYOUCOS, 1960).

A calibração relacionando a resistência elétrica e o teor de umidade pode ser realizado diretamente no campo ou em laboratório (KELLEY, 1944; TAYLOR et alii, 1961). Como diferen

tes solos possuem diferentes características de retenção de umidade, para cada tipo de solo será necessário uma curva de calibração específica.

ANDERSON e EDLEFSEN (1942) apresentaram dados que os levaram a concluir que esta calibração só é satisfatória quando realizada na presença de raízes de planta ativamente transpirando, principalmente nas faixas mais baixas de teores de umidades.

A calibração em termos de tensão de umidade é realizada em laboratório, nos pratos e membrana de pressão (BOURGET et alii, 1958; EWART, 1951; HAISE e KELLEY, 1946; PERRIER e MARSH, 1958) ou através da medição do ponto de congelamento da água nos poros do bloco (CLOSS, 1954). Para este tipo de calibração uma única curva poderá ser aplicada para todos os tipos de solos uma vez que se mede a força com que a água é retirada (ANDERSON e EDLEFSEN, 1942); ou seja, a quantidade de água em cada unidade depende do potencial matricial relativo da unidade e do solo (TAYLOR et alii, 1961).

Alguns pesquisadores (ANDERSON e EDLEFSEN, 1942; CUMMINGS e CHANDLER, 1940) observaram que nos blocos de gesso retangulares com eletrodos de fios paralelos, parte da corrente elétrica passa fora dos blocos, através do solo que o circunda. O mesmo ocorre quando são colocados no prato e membrana de pressão para calibração em função da tensão da umidade (BOURGET et alii, 1958; HAISE e KELLEY, 1946). Isto constitui um problema quando se deseja uma única curva de calibração para os vários tipos de solos. Entretanto, esta dificuldade é eliminada pelo uso de blocos cilíndricos com eletrodos concêntricos (PEREIRA, 1951; SLATER, 1942; TAYLOR et alii, 1961) ou blocos retangulares com eletrodos de tela colocados paralelamente aos lados maiores (BOUYOUCOS, 1961; TAYLOR et alii, 1961).

Segundo ROCHA (1971) a influência da temperatura do solo nos valores da resistência dos diversos tipos de unidades é um fato aceito por todos os investigadores, tendo sido seus efeitos evidenciados por Bouyoucos e Mick ainda em 1940. Desde então, a correção da leitura da resistência em função da temperatura foi prevista através de gráficos próprios tanto

para os blocos de gesso como para as unidades de nylon. Outros pesquisadores tem usado régua e fórmulas para corrigir a uma base comum as resistências elétricas dos blocos de gesso medidas a várias temperaturas (ROWLAND et alii, 1954; SLATER e BRYANT, 1946) e as unidades de fibra de vidro já possuem um termostato de resistência elétrica para medição da temperatura do solo (COLMAN e HENDRIX, 1949). Entretanto, a magnitude da influência da temperatura nos blocos de gesso é considerada relativamente pequena e para fins práticos pode ser ignorada, principalmente se as leituras são tomadas sempre a mesma hora do dia (BOUYOUCOS, 1960; SLATER e BRYANT, 1946).

Todas as unidades de resistência elétrica são sensíveis aos sais, sendo as de gesso menos sensíveis do que as demais. Devido a solubilidade do gesso existe sempre uma solução saturada de sulfato de cálcio dentro do bloco. Quando a solução do solo é menos concentrada do que a solução saturada de sulfato de cálcio, ela tem somente leve efeito, negligenciável, na resistência da unidade (DAKER, 1970; TAYLOR et alii, 1961).

EWART e BAYER (1950) constataram que concentrações de sais até 2.000 ppm de NaCl não influenciam no desempenho dos blocos de gesso e que o aumento da concentração de sais de 0 para 0,2% praticamente não resulta em nenhuma mudança na resistência elétrica a qualquer teor de umidade. E quando a concentração passa de 0,2% para 0,5% começam a aparecer efeitos adversos que tendem a diminuir relativamente a medida que a concentração passa de 0,5 para 1,0 e 2,0%. Porém, a unidade de fibra de vidro é afetada pela concentração de 1.000 ppm de NaCl e a elevação da concentração de sais de 0 para 0,1% resulta numa significativa queda de resistência. Concluíram ainda que os efeitos causados na unidade de fibra de vidro por uma concentração de 1.000 ppm de NaCl é maior do que os de uma concentração de 20.000 ppm no bloco de Bouyoucos.

WEAVER e JAMISON (1951) estudaram o efeito da variação da concentração de eletrólitos na resistência das unidades de nylon e fibra de vidro comerciais e observaram que a resistência elétrica de ambas unidades decrescem consideravelmente quando colocadas em solução de NaCl de concentração variando

de 0 a 585 ppm (0,01 N). O mesmo efeito se verificou quando as unidades foram calibradas no prato e membrana de pressão, envolvidas por solo de textura franca e umedecido com água potável e soluções de NaCl 0,01 e 0,1N, com as tensões variando de 0 a 15 atm. As concentrações das soluções usadas eram equivalentes às devido a aplicação de 40, 850 e 1900 libras' de fertilizante comercial 4-10-7 por acre numa camada de 6 po' legadas de solo.

BOURGET et alii (1958) realizaram trabalho para avaliar os efeitos de histeresis, uniformidade e sensibilidade de diversos tipos de unidades de resistência elétrica. Para realizar o estudo introduziram modificações nos aparelhos de prato e membrana de pressão de Richards, de tal forma que se pudesse medir os valores da resistência dos diversos tipos de unidades para tensões de 0 a 15 atmosferas, tanto quanto se perdia como quando se ganhava umidade. Foram testadas as seguintes unidades: a) blocos de gesso de forma retangular pa - drão; b) blocos de gesso tratado com resina de nylon, vendidos comercialmente; c) unidades de nylon desenvolvidas por Bouyoucos, vendidas comercialmente; d) unidades de nylon revestidas de gesso vendidas comercialmente; e) unidades de fibra de vidro-gesso e f) unidades de fibra de vidro-gesso com grandes eletrodos, construídas pelos autores. Dentre outras' conclusões que chegaram, constataram que acima de 0,3 atmosfera de tensão as unidades a e b são as mais uniformes apresentando a maior sensibilidade e a menor histeresis; todavia são inadequadas para medições em tensões inferiores a 0,3 atmosfera' devido a pouca sensibilidade nesta faixa de tensão. As unidades de nylon são sensíveis a mudança de umidade em toda faixa de umidade do solo. Abaixo de 0,3 atmosfera as unidades de nylon-gesso são provavelmente as melhores entre as unidades' testadas, embora devam ser calibradas individualmente e os erros de histeresis devam ser considerados. As unidades de fibra de vidro-gesso com grandes eletrodos, mostraram ser mais' efetivas para operação na faixa de 0 a 15 atmosfera.

Os blocos de gesso cilíndricos com eletrodos concêntricos, propostos basicamente com o objetivo de manter a corrente elétrica dentro do bloco, evitando o fluxo através do meio

com o qual está em contato (SLATER, 1942), tiveram seu uso bastante difundido. PEREIRA (1951) construiu e usou com sucesso blocos de gesso cilíndricos, com eletrodos concêntricos, considerando-os mais fáceis de serem instalados no campo com equipamentos de amostragens de solos existentes na maioria dos laboratórios e que não servem para instalação de outros tipos de unidades. PERRIER e MARSH (1958) e CANNELL (1958) testaram vários tipos de unidades de resistência elétrica e os blocos cilíndricos com eletrodos de tela concêntricos mostraram ser mais satisfatórios do que os outros. TAYLOR et alii (1961) também estudando vários tipos de unidades de resistência elétrica em casa de vegetação observaram que as de gesso com eletrodos de tela concêntricos eram mais uniformes para todos os solos. As curvas de calibração em função de tensão de umidade eram bastante similares para todos os tipos de solos. As mesmas unidades na calibração através da membrana de pressão apresentaram uma boa relação acima de 0,3 bars. CANNELL e ASBELL (1964) descreveram um método de construção de unidade de resistência elétrica cilíndricas, com eletrodos de tela concêntricos, através de moldes pré-fabricados, de modo a reduzir ao mínimo as diferenças entre as unidades construídas. Realizaram calibração em vasos com plantas (pés de tomates) em desenvolvimento. Os dados foram obtidos em termos de teor de umidade que depois foram convertidos em tensão fazendo-se uso da curva de tensão-umidade do solo. Afirmaram, entretanto, que a calibração em função da tensão de umidade pode ser obtida diretamente através dos pratos de pressão.

SLATER e BRYANT (1946) compararam tensiômetros, blocos de resistência elétrica e blocos de absorção com dados de umidade determinados pela estufa. Concluíram que todos os métodos estudados se mostraram diferentes quanto a precisão, amplitude, sensibilidade e eficiência na determinação da umidade de solo. Nenhum método pode ser considerado melhor naquele estágio de desenvolvimento. Na opinião dos autores os tensiômetros são de utilidade limitada, devido a sua amplitude de leitura e os blocos de resistência elétrica são mais adequados para medições semi-quantitativas da umidade do solo em grandes áreas.

Trabalho semelhante foi realizado por KELLEY et alii (1946) que no estudo incluíram o processo das unidades térmicas. Na areia franca, os tensiômetros tiveram o pior desempenho dentre os aparelhos usados e por outro lado os teores de umidade e dados dos tensiômetros não correlacionaram bem com a curva de tensão-umidade do solo determinada em laboratório. Acreditaram que tais diferenças eram devidas a heterogeneidade do solo e a variação da concentração de raízes de plantas ativamente transpirando no local de instalação dos instrumentos. Consideraram, entretanto, os tensiômetros os aparelhos mais práticos e precisos para medir a tensão da umidade do solo dentro dos limites que eles funcionam. E ainda, na opinião dos autores os blocos de gesso foram os instrumentos mais práticos disponíveis na época para medir as mudanças da umidade a tensões acima de 1,0 atmosfera, em solos não contendo grandes quantidades de sais, lembrado, contudo, que havia certa limitação na sua precisão e que mais esforços deveriam ser desenvolvidos para se conseguir um bloco de resistência elétrica similar ao estudado, porém, que mantivesse as suas características iniciais quando colocados no solo, não fosse consideravelmente afetado por sais e não permitisse nenhum fluxo exterior de corrente elétrica.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Aparelhagem de Ensaio

No estudo foram utilizados os aparelhos comerciais disponíveis no Centro de Hidrologia Aplicada do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul:

a) Tensiômetros: Com manômetro de mercúrio, graduados em milibars; fabricados por "Soilmoisture Equipment Corp", Santa Barbara, Calif., USA, com o nome de "Soilmoisture Gages".

b) Resistência Elétrica: Blocos de gesso de forma cilíndrica com $1 \frac{7}{16}$ polegada de diâmetro e $1 \frac{1}{4}$ polegada de altura, com eletrodos concêntricos de tela de aço inoxidável e medidor de resistência elétrica com escala graduada de 0 (seco) a 100 (úmido) e a aproximação de 2; fabricado por "Soilmoisture Equipment Corp.", Santa Barbara, Calif., USA, com o nome de "Soilmoisture Meter". Acompanha o medidor uma tabela que converte a leitura do aparelho em resistência elétrica - ohms (quadro 1). Todos os blocos utilizados no trabalho foram previamente testados quanto à sua uniformidade de resistência elétrica, através da submersão dos mesmos em água destilada. Nesta condição, todos os blocos forneceram uma leitura de 96 no medidor, correspondendo a uma resistência elétrica de 80 ohms.

c) Estufa: De convecção, temperatura de 105-110º C.

QUADRO 1 - Tabela de conversão das leituras do medidor de resistência elétrica.

Leitura do medidor	ohms	Leitura do medidor	ohms
0	infinito	52	1 410
2	64 200	54	1 300
4	35 000	56	1 200
6	23 800	58	1 099
8	18 200	60	1 020
10	14 600	62	948
12	11 900	64	870
14	9 800	66	794
16	8 300	68	722
18	7 130	70	665
20	6 300	72	598
22	5 600	74	543
24	4 940	76	482
26	4 420	78	433
28	3 960	80	385
30	3 600	82	340
32	3 300	84	293
34	3 000	86	256
36	2 740	88	224
38	2 510	90	184
40	2 280	92	146
42	2 120	94	110
44	1 950	96	80
46	1 800	98	45
48	1 650	100	18
50	1 534		

3.2. Solos

Utilizou-se no estudo, solos de três séries diferentes da Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, localizada no município de Guaíba-RS, levantados por MELLO et alii (1966). Foram utilizados solos das séries Arroio dos Ratos ("Ground Water Laterit Soils"), Arroio Ibacaru ("Aluvial

Soils") e São Jerônimo ("Red Yellow Latosol") cujas análises granulométricas e massas específicas aparentes, às profundidades de instalação dos aparelhos, estão contidas nos Quadros 2 e 3, respectivamente.

QUADRO 2 - Análises granulométricas dos solos Arroio dos Ratos, Arroio Ibacaru e São Jerônimo.

Solo	Areia grossa (%)	Areia fina (%)	Silte (%)	Argila (%)	M.O. (%)	Textura (*)
Arroio dos Ratos-prof.15cm	30,7	23,8	24,7	19,3	1,5	franco-arenoso
Arroio dos Ratos-prof.60cm	31,8	16,9	19,8	31,0	0,5	franco-argilo-arenoso
Arroio Ibacaru-prof.15cm	13,4	16,2	38,4	30,3	1,7	franco-argiloso
São Jerônimo-prof. 15cm	39,1	22,3	18,3	18,5	1,8	franco-arenoso

(*) De acordo com o esquema textural adotado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (norte-americano).

QUADRO 3 - Massas específicas aparentes dos solos Arroio dos Ratos, Arroio Ibacaru e São Jerônimo.

Solo	Massa específica aparente (g/cm ³)
Arroio dos Ratos-prof. 15 cm	1,66
Arroio dos Ratos-prof. 60 cm	1,70
Arroio Ibacaru -prof. 15 cm	1,52
São Jerônimo-prof. 15 cm	1,60

3.3. Experimento de Campo.

Foram selecionadas três áreas com cobertura vegetal, uma em cada tipo de solo. A do solo Arroio dos Ratos estava coberta com uma cultura de milho (*Zea mays*, L) e as dos solos Arroio Ibacaru e São Jerônimo estavam cobertas com pastagem natural de gramíneas. Nestas áreas foram instalados, em duas repetições, um tensiômetro e um bloco de resistência elétrica distante 35 cm um do outro, à profundidade de 15 cm. A distancia en

tre as repetições foi de 65 cm. No solo Arroio dos Ratos foi feita outra instalação semelhante, a profundidade de 60 cm, em posição paralela a primeira e a uma distância de 70 cm. Os esquemas de instalação dos aparelhos podem ser vistos nas Figuras 1, 2 e 3.

As leituras dos tensiômetros e blocos de resistência elétrica eram simultâneas e foram feitas sempre a mesma hora do dia, no caso, por volta das 8 horas da manhã, para minimizar os efeitos da variação da temperatura.

Periodicamente, ao mesmo tempo que eram feitas as leituras dos aparelhos, foram retiradas amostras do solo a mesma profundidade que estavam instalados, para determinação da umidade pelo método padrão da estufa. As amostras foram retiradas a uma distância mínima de 15 cm e máxima de 30 cm da linha imaginária que ligava o tensiômetro ao bloco de gesso. Os buracos deixados pela amostragem eram reenchidos e marcados com uma pequena estaca de madeira para evitar que nova amostra fosse retirada neste local.

3.4. Experimento na Casa de Vegetação.

Consistiu na instalação dos aparelhos em amostras dos solos, dentro da casa de vegetação, de modo que se pudesse observar os instrumentos durante os ciclos contínuos de secagem. Próximo aos locais do experimento de campo, foram retiradas amostras dos três tipos de solos, sendo duas de cada tipo, conservando sua estrutura natural, no tamanho de 60 cm de comprimento x 50 cm de largura x 30 cm de altura. Para extrai-las utilizou-se formas de chapa de ferro, sem fundo, com as mesmas dimensões da amostra, apenas 5 cm mais alta. A medida que ia-se introduzindo a forma no solo, cortava-se externamente, ficando a amostra, em sua estrutura natural, contida dentro da forma. Quando atingia-se a altura desejada, cortava-se e acertava-se a base da amostra que, sempre mantida dentro da forma, era transportada para a casa de vegetação.

Dentro da casa de vegetação, foram distribuídas paralelamente sobre uma camada de areia de aproximadamente 10 cm de espessura, que servia para acomodar as amostras e como leito de drenagem durante o umedecimento das mesmas.

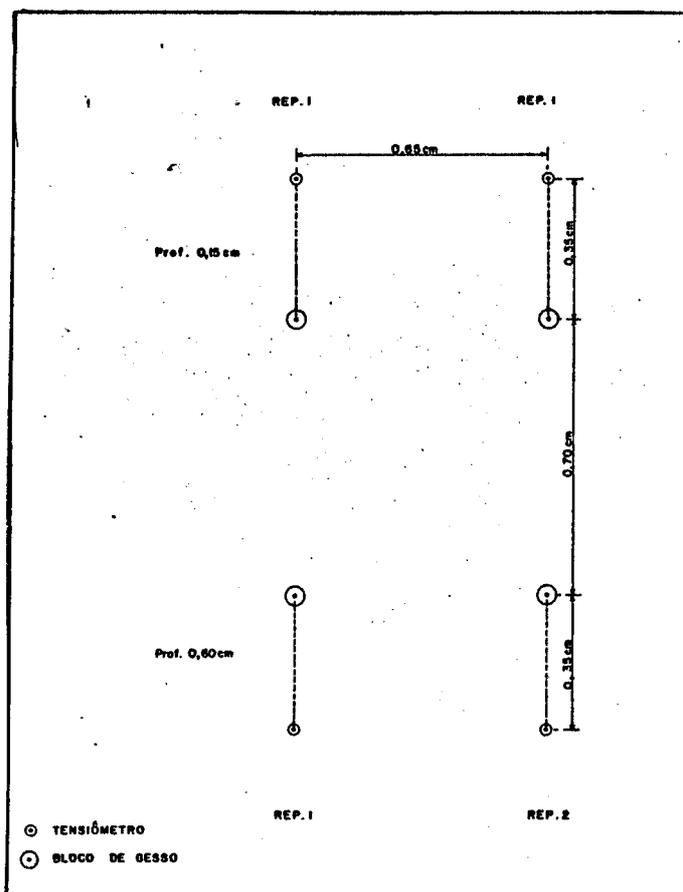


FIGURA 1 - Esquema de instalação dos aparelhos no solo Arroio dos Ratos no experimento de campo.

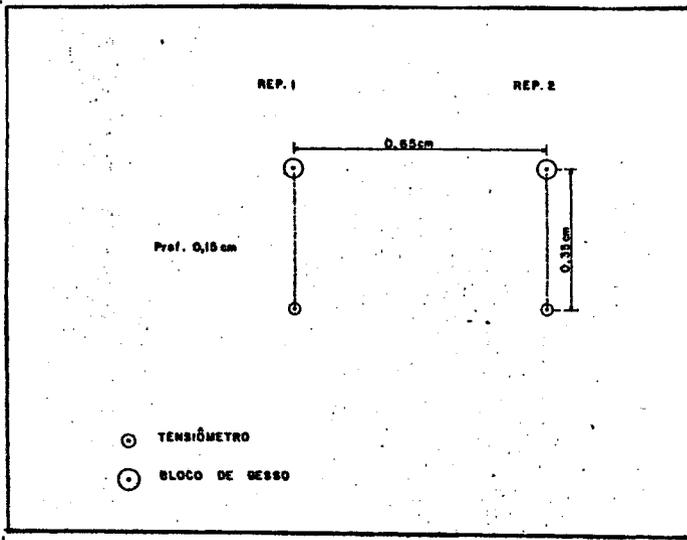


FIGURA 2 - Esquema de instalação dos aparelhos no solo Arroio Ibacaru no experimento de campo.

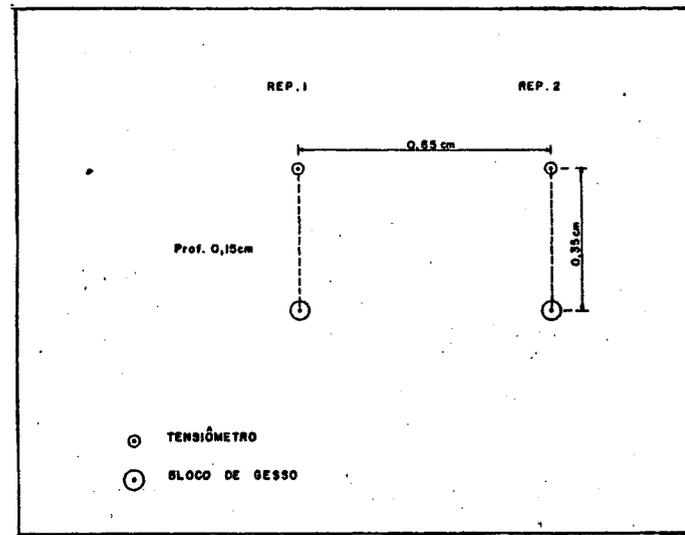


FIGURA 3 - Esquema de instalação dos aparelhos no solo São Jerônimo no experimento de campo.

Também neste ensaio, os solos foram mantidos com uma cobertura vegetal e, para tal, as amostras foram retiradas com as gramíneas naturais que recobriam o campo.

Para instalação dos instrumentos, as amostras foram umedecidas até sua completa saturação. A água foi aplicada inundando totalmente as superfícies e, por gravidade, era umedecido todo o perfil das amostras. O excesso percolado era drenado através da camada de areia que estava colocada em baixo. Esta operação foi possível porque a forma era 5 cm mais alta do que a amostra. Previamente, para evitar a drenagem direta da água junto às paredes internas das formas, comprimiu-se levemente o solo em todo perímetro da amostra, com um estilete de madeira cilíndrico de aproximadamente 10 mm de diâmetro, adicionando-se terra e umedecendo, quando necessário, de modo a eliminar qualquer fenda que permitisse a descida direta da água.

Após 24 horas do umedecimento das amostras, procedeu-se à instalação dos aparelhos, a 15 cm de profundidade, conforme esquema da Figura 4.

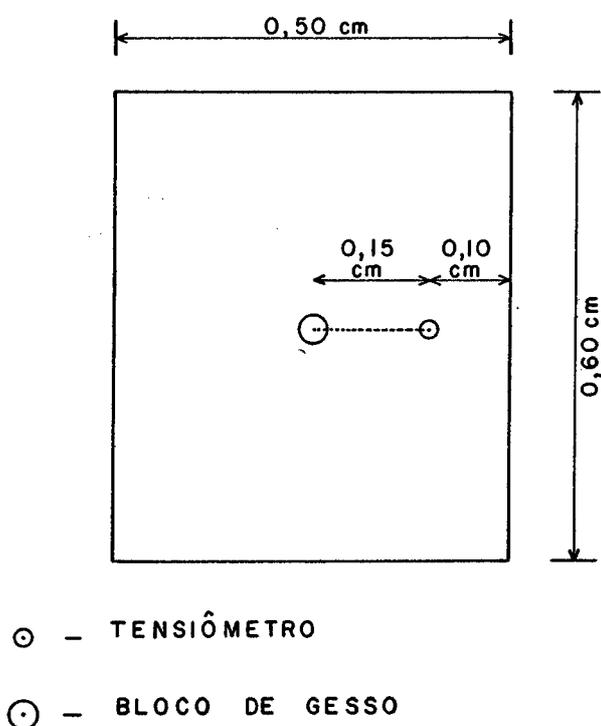


FIGURA 4 - Esquema de instalação dos aparelhos na casa de vegetação.

Da mesma forma que no experimento de campo, as leituras foram feitas sempre por volta das 8 horas da manhã. Periodicamente, ao mesmo tempo da leitura dos aparelhos, foram retiradas amostras de solo, também a 15 cm de profundidade, para determinação da umidade pelo método padrão da estufa. Os buracos deixados pelo trado eram reenchidos e marcados com uma pequena estaca de madeira. A amostragem foi executada obedecendo sempre uma distância mínima de 10 cm do bordo dos aparelhos e de outros locais de amostragem.

O período de observação compreendeu dois ciclos de secagem dos solos, sendo que, no primeiro não se determinou as umidades pela estufa, tendo sido registradas somente as leituras dos tensiômetros e das resistências elétricas.

3.5. Trabalho de Laboratório.

3.5.1. Curvas de Tensão-Umididade.

Para todos os horizontes dos solos, nos quais foram instalados os aparelhos, foi feita em laboratório a determinação das curvas de tensão-umidade. Estas curvas foram obtidas pelos pratos de pressão, aperfeiçoados por Richards, tendo sido as amostras de solo preparadas segundo CAUDURO e RAMOS (1971). Foram utilizados três tipos diferentes de pratos, de acordo com as pressões. O primeiro para as pressões mais baixas (0,1 a 0,7 atm), o segundo para as pressões médias (1 a 5 atm) e o terceiro para as pressões mais elevadas (7 a 15 atm).

3.5.2. Curvas de Calibração dos Blocos de Resistência Elétrica pelos Pratos de Pressão.

A calibração foi realizada por processo semelhante ao utilizado por HAISE e KELLEY (1946). Quatro blocos, escolhidos ao acaso foram colocados nos pratos de pressão, envolvidos por uma camada de solo dos diversos tipos estudados, contidos num anel de plástico de 2 1/2 polegadas de diâmetro. O conjunto era previamente saturado e em seguida submetido à pressão. Quando o equilíbrio era atingido, abria-se a câmara e imediatamente após, efetuava-se a leitura. Devido a altura relativa -

mente elevada do bloco de gesso envolvido pelo solo, levava-se alguns dias para se atingir o equilíbrio. Para determiná-lo, conectou-se ao tubo de drenagem da câmara de pressão uma mangueira de plástico fina, mergulhando sua extremidade livre numa proveta com um pouco d'água. Quando, após um período de 24 horas, o volume d'água na proveta não mais aumentava (não saía mais água pelo tubo de drenagem), sabia-se que o equilíbrio havia sido atingido.

3.6. Análises Estatísticas.

Os resultados obtidos, tanto no experimento da casa de vegetação, como no de campo, foram submetidos às seguintes análises estatísticas:

- a) Teste de t - comparação entre os métodos.
- b) Regressão linear - análise do grau de relação entre os métodos.
- c) Intervalo de confiança para as médias das diferenças entre os métodos - determinação dos erros máximos médios esperados de um método em relação a outro, a um determinado nível de probabilidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Curvas de Tensão-Umididade e Calibração dos Blocos de Resistência Elétrica.

Os resultados da determinação da relação tensão-umidade dos diversos solos encontram-se no Quadro A1 e as respectivas curvas estão representadas nas Figuras 5,6,7 e 8. No Quadro A2 encontram-se os resultados da calibração dos blocos de resistência elétrica pelos pratos de pressão.

Sendo os blocos uniformemente construídos, é possível obter uma única relação entre o potencial da umidade no solo (tensão) e a resistência elétrica, aplicável a um grande número de solos, porque a quantidade de água em cada bloco depende do potencial matricial (tensão) relativo do bloco e do solo (TAYLOR et alii, 1961). Foi então determinada uma única curva de calibração para ser usada para todos os solos, pelo ajustamento de todos os dados, através de um programa de computador pré-estabelecido, a uma curva do segundo grau de forma,

$$L = a + b \log T + c (\log T)^2 \quad (1)$$

onde L representa a leitura no medidor de resistência elétrica; T, a tensão da umidade no solo, em atmosferas e a, b e c são os coeficientes da equação.

Foi obtida a seguinte equação, cuja curva está representada na Figura 9:

$$L = 49,6849 - 73,8439 \log T + 25,7813 (\log T)^2 \quad (2)$$

O coeficiente de correlação, r, foi 0,99

Para a leitura de 96 no medidor, leitura fornecida pelos

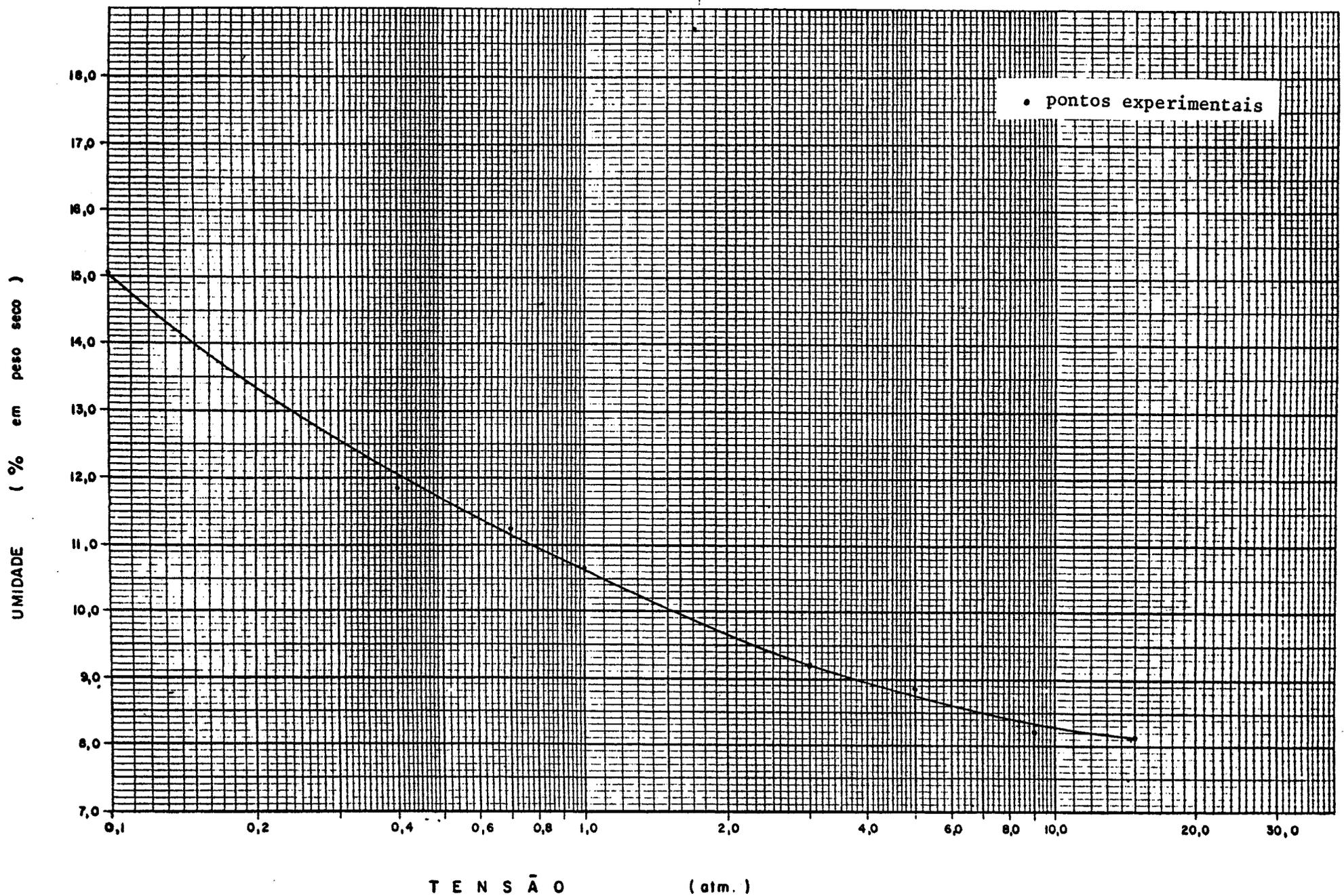


FIGURA 5 - Curva de tensão-umidade do solo Arroio dos Ratos-prof. 15 cm.

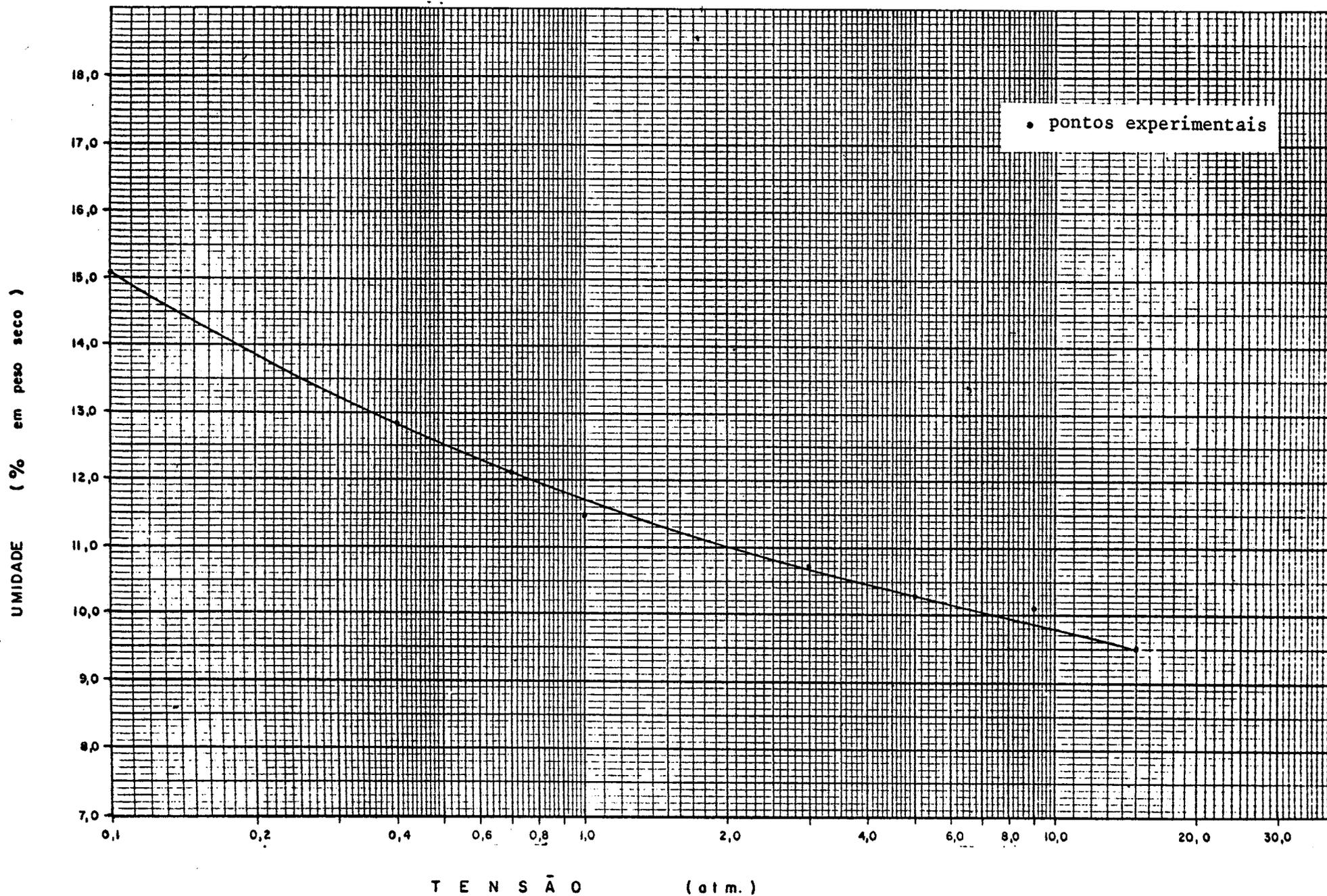


FIGURA 6 -- Curva de tensão-umidade do solo Arroio dos Ratos - prof. 60 cm.

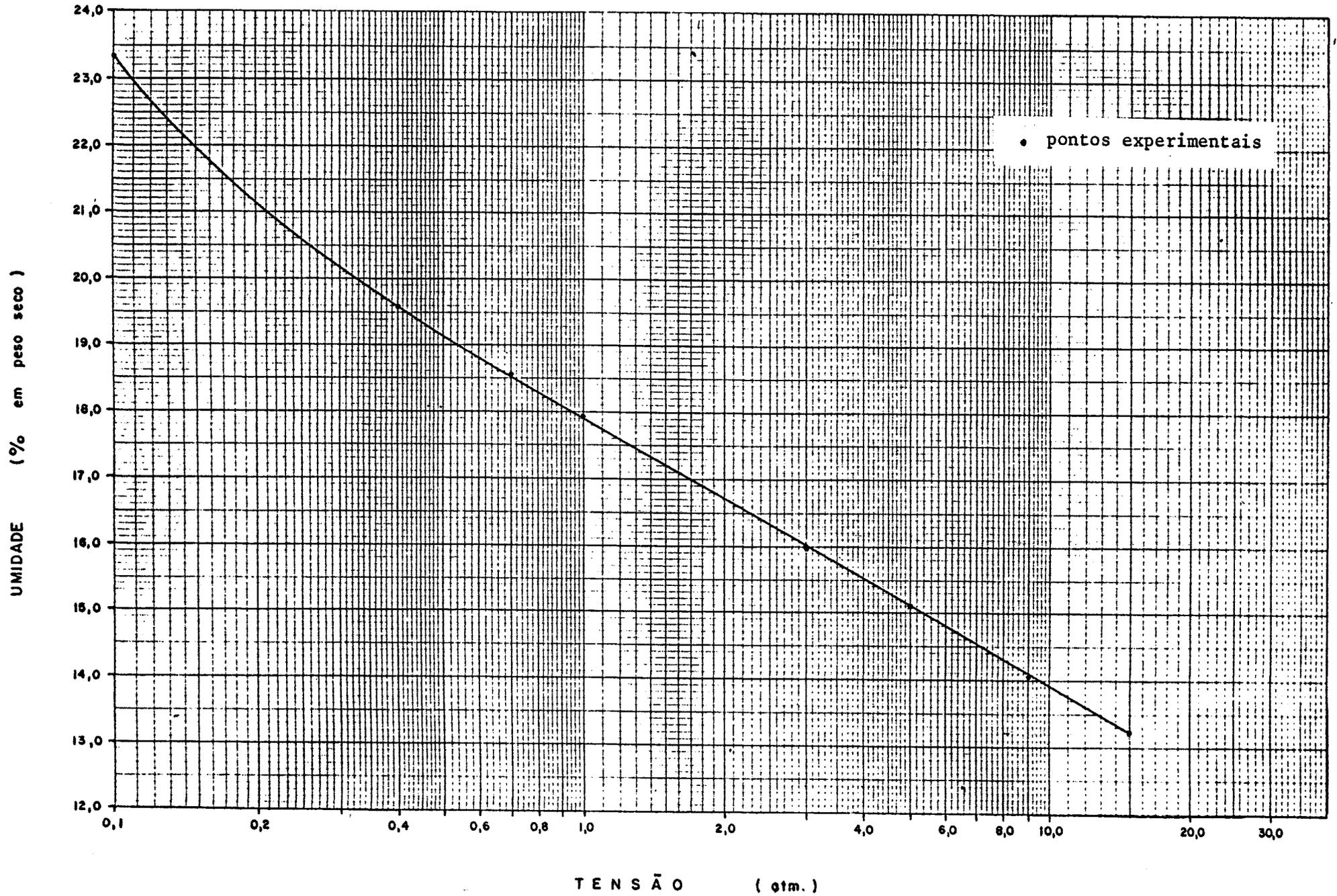


FIGURA 7 - Curva de tensão-umidade do solo Arroio Ibacáru - prof. 15 cm

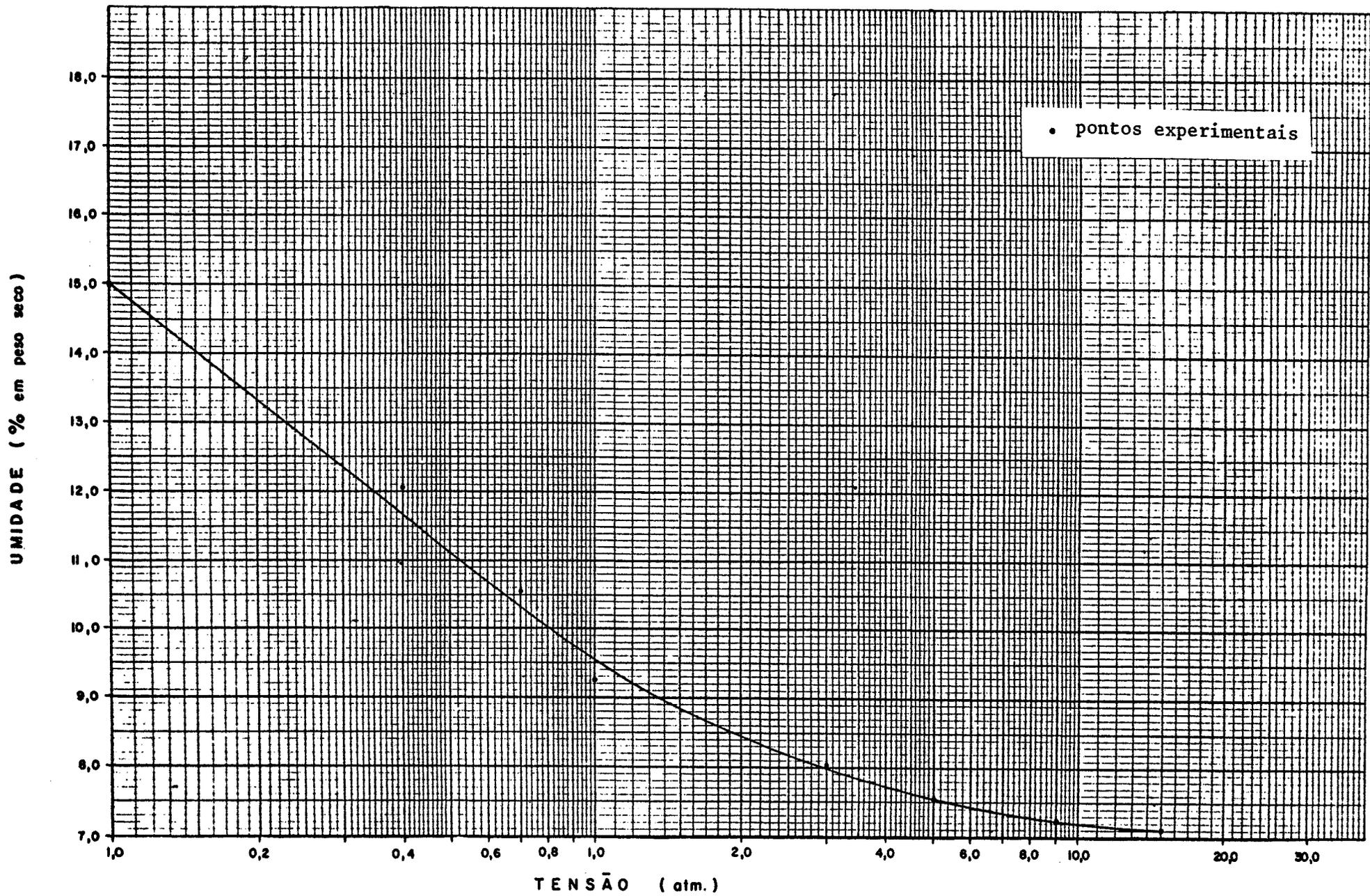


FIGURA 8 - Curva de tensão-umidade do solo São Jerônimo - prof. 15 cm.

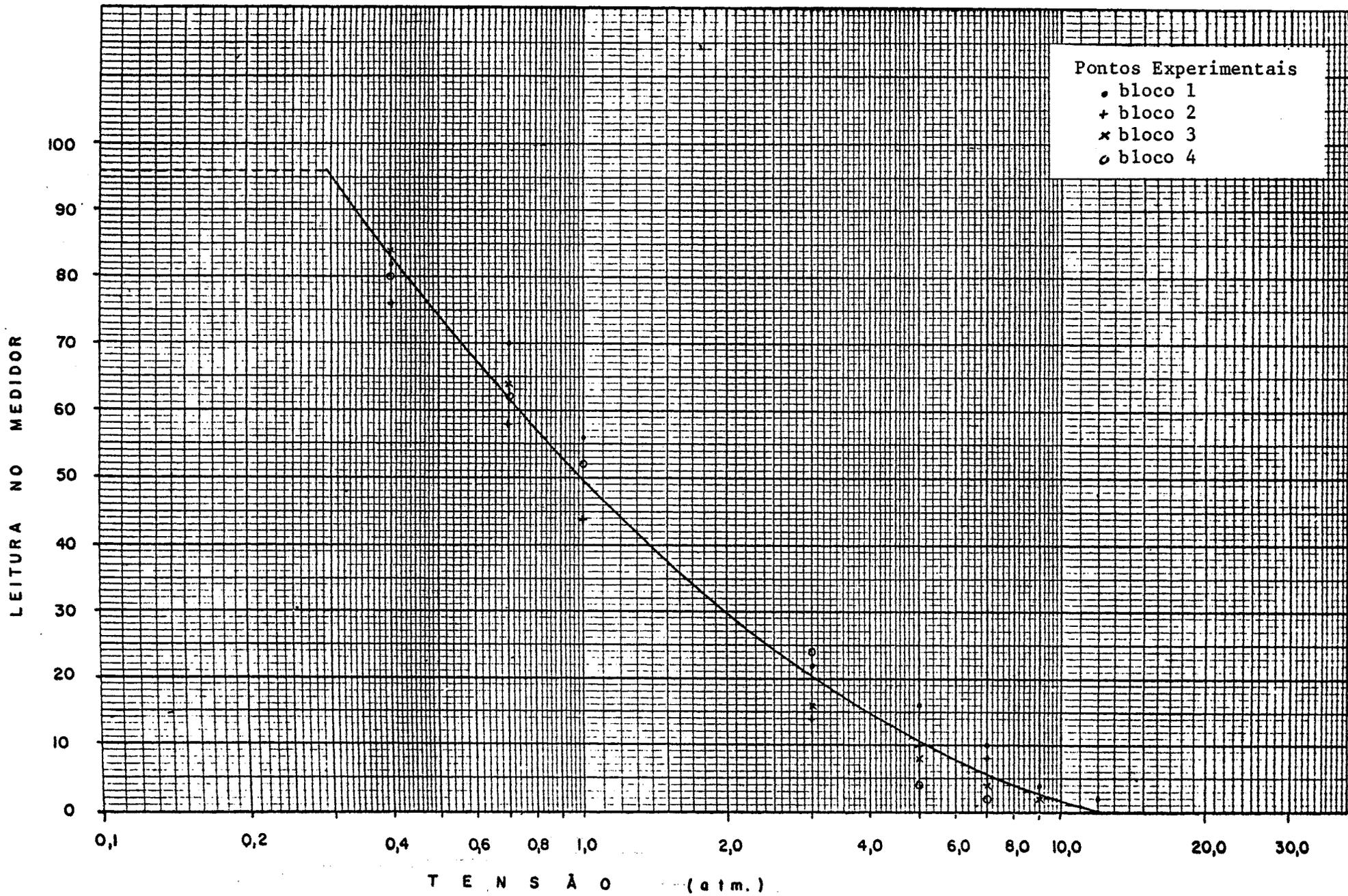


FIGURA 9 - Curva de calibração dos blocos de resistencia elétrica.

blocos quando imersos em água destilada, a tensão calculada pela equação (2) é de 0,30 atmosfera. Para a leitura zero no medidor a tensão calculada pela mesma equação é de 12,03 atmosferas. Tem-se assim que, pela curva de calibração obtida, a faixa de sensibilidade do método está compreendida entre as tensões 0,30 e 12,03 atm.

Foi também determinada, para cada solo estudado, uma curva de calibração, relacionando a umidade do solo (% em peso) e a leitura no medidor. Estas curvas foram estabelecidas através de regressão linear dos pares de dados formados pelas leituras dos blocos a uma dada tensão (Quadro A2) e a umidade do solo àquela mesma tensão, obtida também nos pratos de pressão (Quadro A1), tendo sido a umidade para as tensões 7 a 12 atmosferas obtidas por interpolação.

Os resultados dos ajustamentos estão no Quadro 4, onde a e b são os parâmetros da regressão e r o coeficiente de correlação.

QUADRO 4 - Resultados da regressão linear relacionando a umidade do solo e a leitura no medidor de resistência elétrica.

S o l o	a	b	r
Arroio dos Ratos - prof. 15(A)	8,2710	0,0459	0,99
Arroio dos Ratos - prof. 60(B)	9,9491	0,0344	0,99
Arroio Ibacaru - prof. 15(C)	14,1424	0,0703	0,98
São Jerônimo - prof. 15(D)	7,0051	0,0570	0,98

Temos pois,

$$U_A = 8,2710 + 0,0459 L \quad (3)$$

$$U_B = 9,9491 + 0,0344 L \quad (4)$$

$$U_C = 14,1424 + 0,0703 L \quad (5)$$

$$U_D = 7,0051 + 0,0570 L \quad (6)$$

onde U_A , U_B , U_C e U_D representam a umidade do solo (%) nos solos Arroio dos Ratos.- prof 15 cm, Arroio dos Ratos - prof 60 cm, Arroio Ibacaru - prof 15 cm e São Jerônimo - prof 15

cm, respectivamente e L a leitura no medidor de resistência elétrica.

As curvas resultantes destas equações estão representadas nas Figuras 10, 11, 12 e 13.

Para as leituras 96 e zero no medidor as umidades nos solos Arroio dos Ratos - prof 15 cm, Arroio dos Ratos - prof 60 cm, Arroio Ibacaru - prof 15 cm e São Jerônimo - prof 15 cm calculados pelas equações (3), (4), (5) e (6) são, respectivamente, 12,68 e 8,27, 13,25 e 9,95, 20,89 e 14,14, 12,48 e 7,01.

Comparando as umidades fornecidas por estas curvas e as tiradas através da Figura 9 e curvas de tensão-umidade dos solos, observamos que há pequenas diferenças, que podem ser consideradas desprezíveis, decorrentes do fato das curvas de tensão-umidade serem traçadas a mão.

4.2. Análise Comparativa dos Métodos no Experimento da Casa de Vegetação.

4.2.1. Comparação Através do Teste de t.

Os resultados do experimento na casa de vegetação estão contidos nos Quadros A3, A4 e A5.

A comparação foi realizada aplicando-se o teste de t aos dados obtidos nas repetições 1 e 2, observando-se os limites de sensibilidade de cada método.

Na comparação entre os métodos tensiométrico e gravimétrico foram feitas duas análises. Primeiro os dados dos tensiômetros foram convertidos em umidades do solo (% em peso), utilizando-se as curvas de tensão - umidade dos solos, e então foi aplicado o primeiro teste. Depois, as umidades obtidas pela estufa foram transformadas em tensões de umidade, também fazendo-se uso das curvas de tensão - umidade e, então foi aplicado novo teste.

Procedimento semelhante foi adotado na comparação entre o método da resistência elétrica e o gravimétrico. Neste caso os dados do medidor de resistência elétrica foram primeiramente convertidos em umidades (% em peso) utilizando-se as

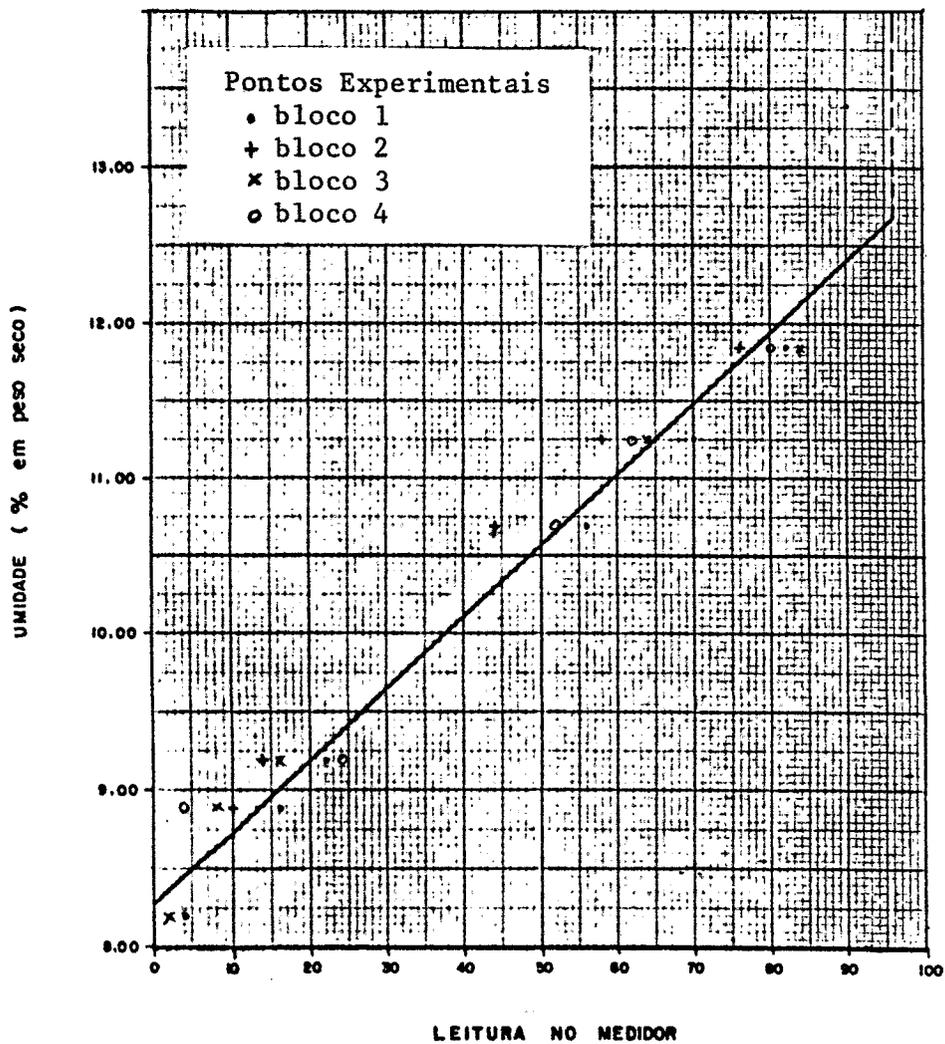


FIGURA 10 - Curva de calibração dos blocos de resistência elétrica para o solo Ar roio dos Ratos-profundidade 15 cm.

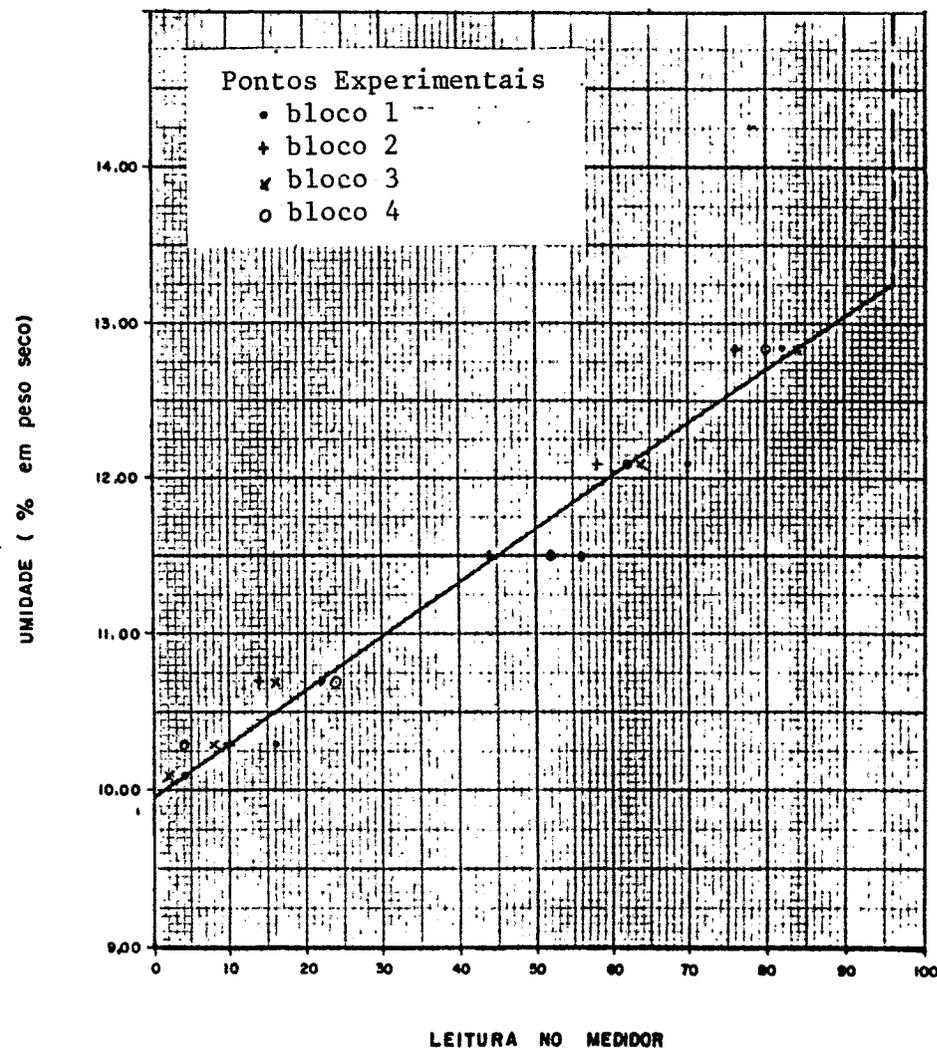


FIGURA 11- Curva de calibração dos blocos de resistência elétrica para o solo Ar roio dos Ratos-profundidade 60 cm.

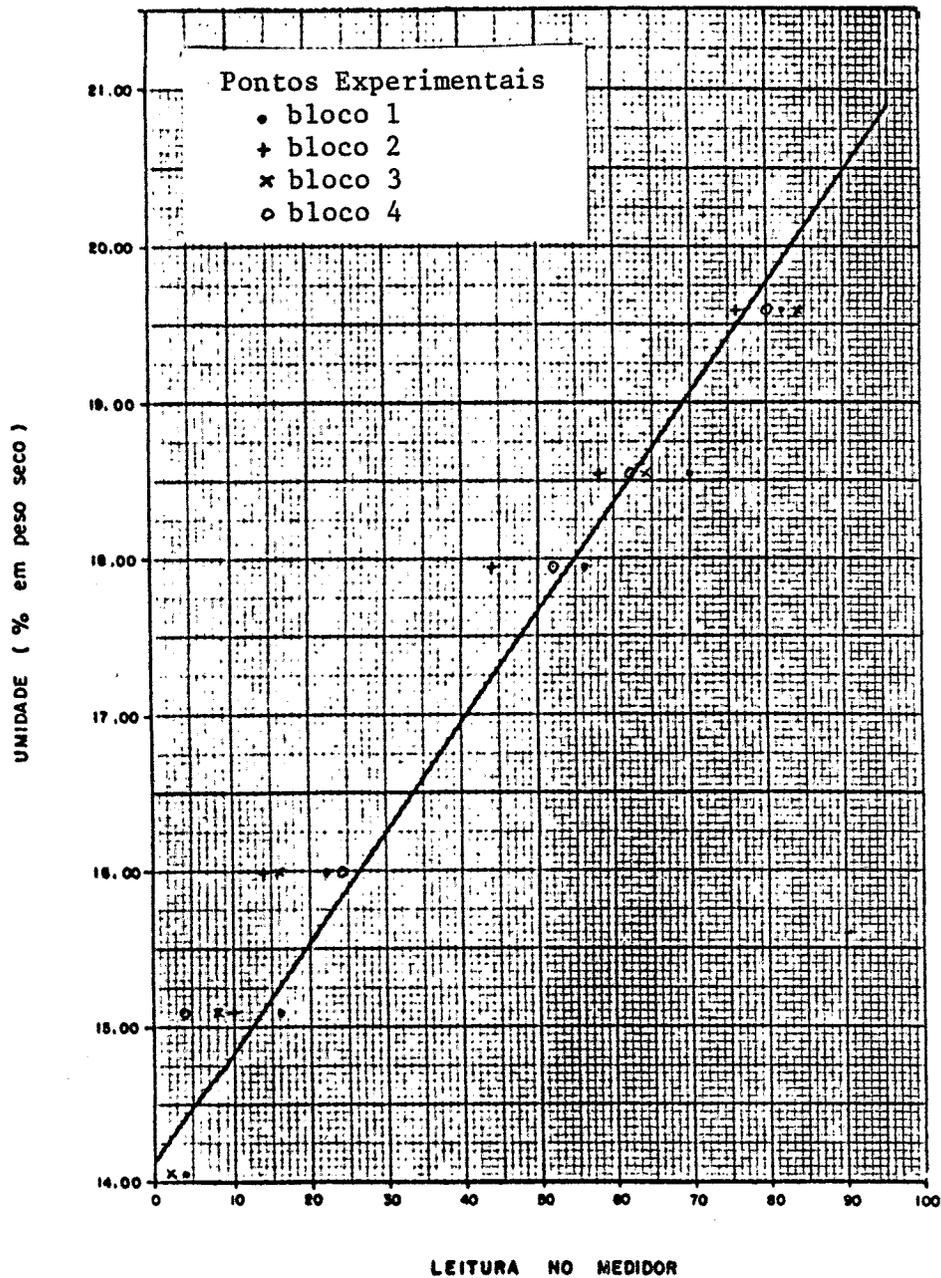


FIGURA 12 - Curva de calibração dos blocos de resistência elétrica para o solo Ar roio Ibacaru-profundidade 15 cm.

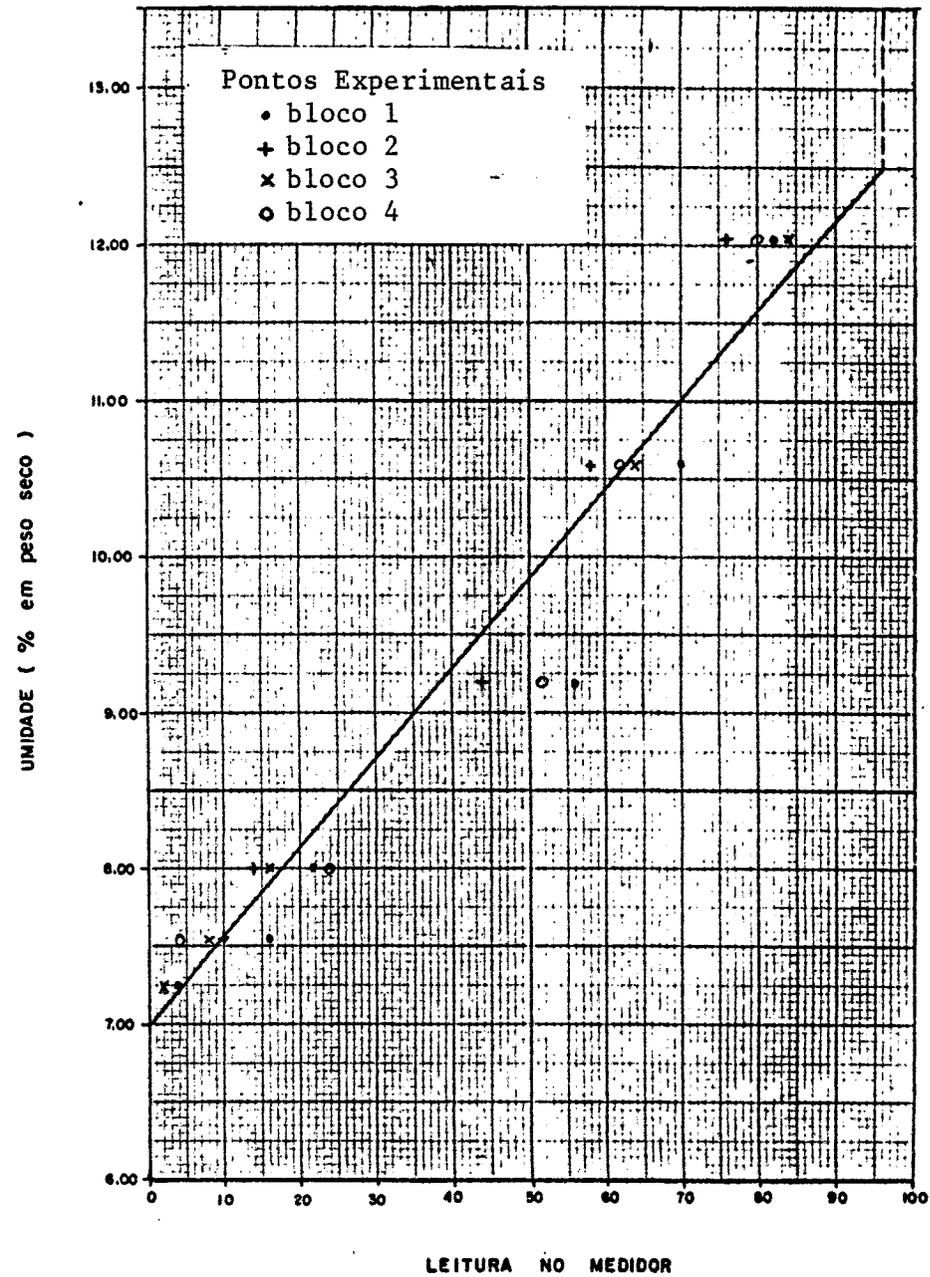


FIGURA 13 - Curva de calibração dos blocos de resistência elétrica para o solo São Jerônimo-profundidade 15 cm.

curvas de calibração específicas das Figuras 10, 11, 12 e 13. Depois, as leituras do medidor foram convertidas em tensões de umidade do solo, usando-se a curva de calibração dos blocos de gesso, da Figura 9 e as umidades obtidas pela estufa também foram transformadas em tensões de umidade, utilizando-se as curvas de tensão - umidade do solo.

Sendo o método tensiométrico considerado por alguns autores (PERRIER e EVANS, 1961; RICHARDS, 1942; TAYLOR et alii, 1961); como um dos processos mais preciosos de se determinar a tensão de umidade do solo, comparou-se com este método o da resistência elétrica.

Neste caso, somente foi aplicado o teste de t uma vez, tendo sido as leituras do medidor de resistência elétrica convertidas em tensões de umidade do solo, pelo uso da curva de calibração da Figura 9.

Os resultados das comparações estão nos Quadros 5, 6, 7, 8 e 9, onde, N significa o número de pares de dados; \bar{X} , a média das diferenças entre os métodos; s, o desvio padrão e t, o t calculado.

QUADRO 5 - Comparação entre o método tensiométrico e o gravimétrico, tendo sido as leituras dos tensiômetros convertidas em umidades do solo (%).

S o l o	N	\bar{X}	s	t
Arroio dos Ratos-prof. 15 cm	9	0,1000	0,5768	0,5201
Arroio Ibacaru-prof. 15 cm	10	-0,1210	1,0675	0,3584
São Jerônimo-prof. 15 cm	10	0,5070	0,6367	2,5179*

\bar{X} = média do tensiômetro - média da estufa.

* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

QUADRO 6 - Comparação entre o método tensiométrico e o gravimétrico, tendo sido as umidades (%) convertidas em tensões de umidades do solo.

S o l o	N	\bar{X}	s	t
Arroio dos Ratos-prof, 15 cm	9	-0,1111	0,2860	1,1656
Arroio Ibacaru-prof. 15 cm	10	-0,0070	0,2521	0,0878
São Jerônimo-prof. 15 cm	10	-0,1500	0,2682	1,7689

\bar{X} = média do tensiômetro - média da estufa.

QUADRO 7 - Comparação entre o método da resistência elétrica e o gravimétrico, tendo sido as leituras do medidor convertidas em umidades do solo (%).

S o l o	N	\bar{X}	s	t
Arroio dos Ratos-prof. 15 cm	18	0,3750	1,0600	1,5010
Arroio Ibacaru-prof. 15 cm	19	-0,1558	1,1217	0,6054
São Jerônimo-prof. 15 cm	16	0,7806	1,1387	2,7421*

\bar{X} = média da resistência elétrica - média da estufa.

* : significativo ao nível de 5% de probabilidade.

QUADRO 8 - Comparação entre o método da resistência elétrica e o gravimétrico, tendo sido as leituras do medidor e as umidades (%) convertidas em tensões de umidade do solo.

S o l o	N	\bar{X}	s	t
Arroio dos Ratos-prof. 15 cm	15	-0,4347	1,6356	1,0293
Arroio Ibacaru-prof. 15 cm	16	-0,6094	1,7091	1,4262
São Jerônimo-prof. 15 cm	16	0,5200	2,0184	1,0305

\bar{X} = média da resistência elétrica - média da estufa.

QUADRO 9 - Comparação entre o método da resistência elétrica e o tensiométrico, tendo sido as leituras do medidor de resistência elétrica convertidas em tensões de umidade do solo.

S o l o	N	\bar{X}	s	t
Arroio dos Ratos-prof. 15 cm	22	-0,1586	0,1315	5,6589***
Arroio Ibacaru-prof. 15 cm	27	0,1652	0,1309	6,5588***
São Jerônimo-prof. 15 cm	24	-0,1967	0,1265	7,4963***

\bar{X} = média da resistência elétrica - média do tensiômetro.

*** significativo ao nível de 0,1% de probabilidade.

Tanto o método tensiométrico como o da resistência elétrica sô apresentaram diferenças significativas, ao nível de 5% de probabilidade, do método da estufa, no solo São Jerônimo e quando as leituras foram expressas em teor de umidade. Com os dados convertidos em tensão de umidade do solo, não houve diferenças significativas. Nos demais solos, nenhuma diferença se verificou, ao mesmo nível de probabilidade, quer com os dados expressos em teor de umidade, quer com os dados expressos em tensão de umidade.

Quando se comparou o método da resistência elétrica com o tensiométrico, foram encontradas diferenças altamente significativas, nos três tipos de solos.

Para se ter uma visualização do comportamento dos métodos, foram determinadas as curvas de calibração para os três tipos de solo, com os dados obtidos no experimento.

Para o método tensiométrico as curvas foram determinadas pela regressão linear entre as umidades obtidas pela estufa e os logaritmos das tensões fornecidas pelos tensiômetros. Os resultados das regressões encontram-se no Quadro 10, onde, a e b são os parâmetros da regressão e r o coeficiente de correlação.

QUADRO 10 - Regressão linear entre as umidades (%) obtidas pela estufa e os logaritmos das tensões de umidade fornecidas pelos tensiômetros.

S o l o	a	b	r
Arroio dos Ratos-prof. 15 cm	10,1883	-4,7376	0,94
Arroio Ibacaru-prof. 15 cm	18,1958	-4,1264	0,76
São Jerônimo-prof. 15 cm	9,2067	-4,8608	0,92

Os coeficientes de correlação variaram de 0,76 a 0,94, numa amplitude um pouco maior do que a encontrada por PERRIER e EVANS (1961).

Nas Figuras 14, 15 e 16 são comparadas as curvas determinadas pelas regressões e as curvas de tensão - umidade deter

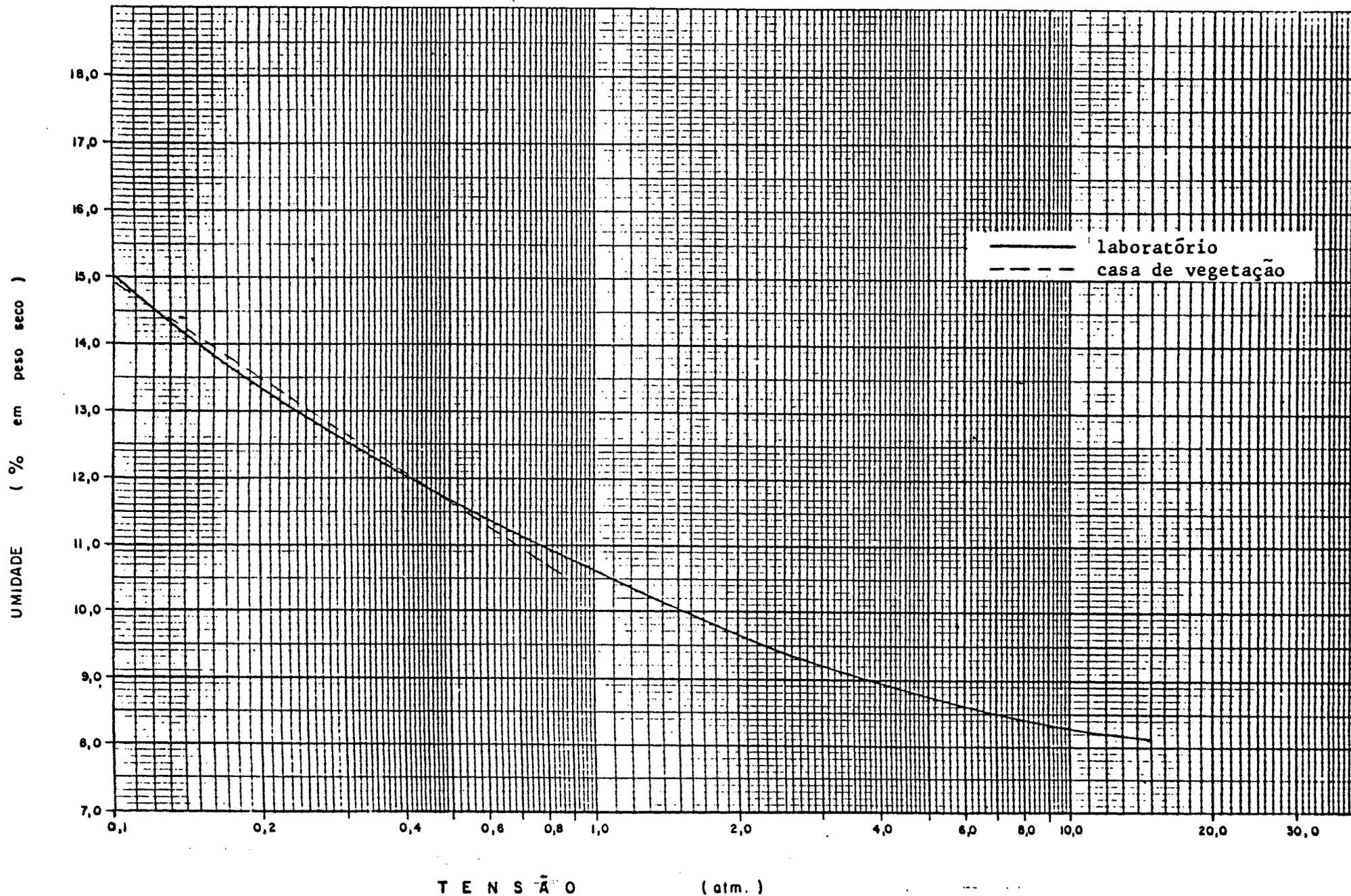


FIGURA 14 - Comparação entre a curva de tensão-umidade determinada em laboratório e a determinada na casa de vegetação pelos tensiômetros para o solo Arroio dos Ratos - prof. 15 cm.

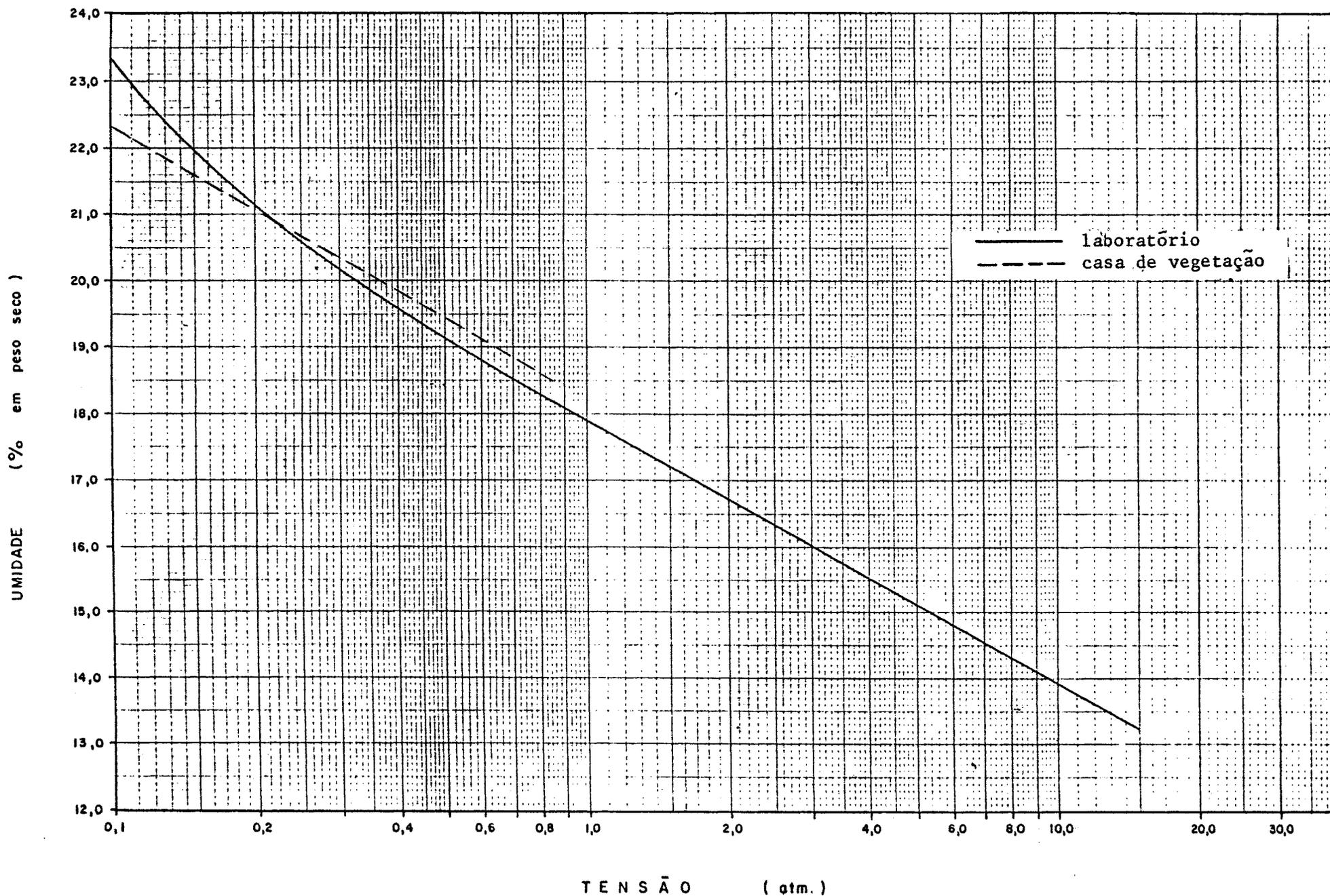


FIGURA 15 - Comparação entre a curva de tensão-umidade determinada em laboratório e a determinada na casa de vegetação pelos tensiômetros para o solo Arroio Ibacaru - prof. 15 cm.

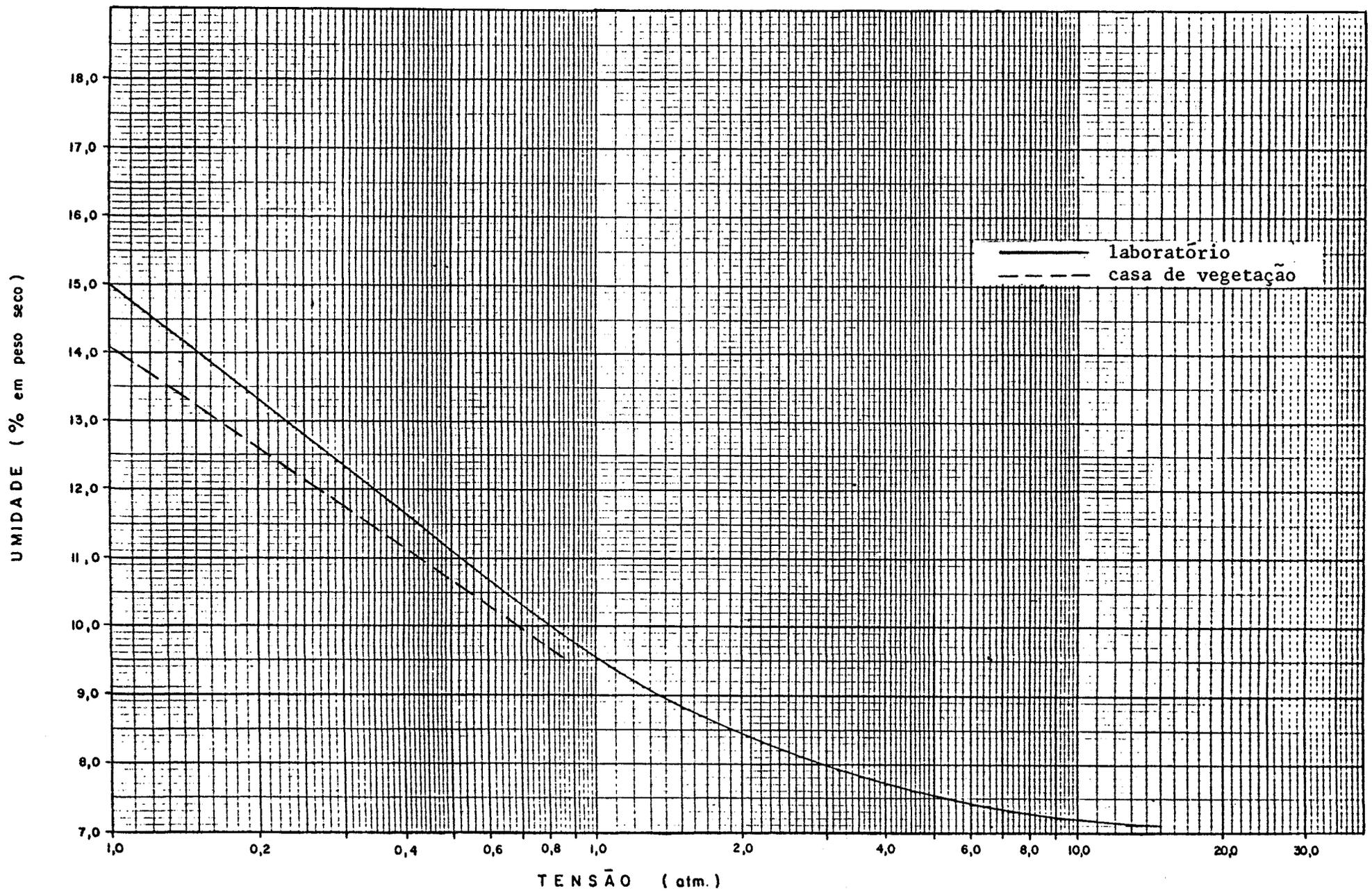


FIGURA 16 - Comparação entre a curva de tensão-umidade determinada em laboratório e a determinada na casa de vegetação pelos tensiômetros para o solo São Jerônimo - prof. 15 cm.

minadas em laboratório. Observa-se que para o solo São Jerônimo as curvas apresentam maior afastamento entre si, mantendo a curva da casa de vegetação sempre abaixo da determinada em laboratório. Nos solos Arroio dos Ratos e Arroio Ibacaru as curvas se apresentam bastante próximas

Para o método da resistência elétrica foram determinadas curvas de calibração pela, a) regressão linear entre as umidades obtidas pela estufa e as leituras do medidor, b) pela regressão polinomial até o grau 2 entre as leituras do medidor e os logaritmos das tensões obtidas pela conversão das umidades da estufa e c) pela regressão linear entre as leituras do medidor e os logaritmos das tensões fornecidas pelos tensiômetros. Os resultados das regressões encontram-se nos Quadros 11, 12 e 13, onde a, b e c são parâmetros da regressão e r o coeficiente de correlação.

QUADRO 11 - Regressão linear entre as umidades (%) obtidas pela estufa e as leituras no medidor.

S o l o	a	b	r
Arroio dos Ratos-prof. 15 cm	8,0433	0,0428	0,80
Arroio Ibacaru-prof. 15 cm	13,4252	0,0910	0,95
São Jerônimo-prof. 15 cm	7,5064	0,0317	0,83

QUADRO 12 - Regressão polinomial até o grau 2 entre as leituras do medidor e os logaritmos das tensões obtidas pela conversão das umidades (%) da estufa.

S o l o	a	b	c	r
Arroio dos Ratos-prof. 15 cm	58,0574	-43,7505	10,9900	0,63
Arroio Ibacaru-prof. 15 cm	46,2913	-45,5137	8,8982	0,92
São Jerônimo-prof. 15 cm*	65,5603	-85,5202	-	0,85
Curva única para todos solos*	56,1745	-48,9989	-	0,76

* Os coeficientes de correlação para o polinômio do primeiro e segundo grau foram iguais nestes casos. Adotou-se, então, para curva de calibração o polinômio do primeiro grau.

QUADRO 13 - Regressão linear entre as leituras do medidor e os logarítmos das tensões de umidade fornecidas' pelos tensiômetros.

S o l o	a	b	r
Arroio dos Ratos-prof. 15 cm	77,4148	-32,3251	0,62
Arroio Ibacaru-prof. 15 cm	39,3259	-80,0724	0,94
São Jerônimo-prof. 15 cm	67,0233	-79,9381	0,65

Nas Figuras 17, 18 e 19 são comparadas as curvas resultantes das regressões do Quadro 11 e as determinadas em laboratório. Tal como se verificou para o método tensiométrico, no solo São Jerônimo as curvas apresentaram maior afastamento entre si. A curva da casa de vegetação apresentou-se bem abaixo' da determinada em laboratório na faixa mais úmida do solo e somente se aproximaram na faixa de baixos teores de umidade.

Nas Figuras 20 e 21, são comparadas as curvas obtidas' pelas regressões dos Quadros 12 e 13 com a determinada em laboratório pelos pratos de pressão.

4.2.2. Análise Através da Regressão Linear.

Tendo como objetivo a análise do comportamento dos métodos, foram feitas regressões lineares de um contra o outro, com os dados expressos na mesma unidade. Para efeito comparativo, sempre um método foi considerado como padrão: o da estufa, quando comparado com o tensiométrico e com o da resistência elétrica e o tensiométrico, quando comparado com o da resistência elétrica. Os resultados das regressões estão nos Quadros 14, 15, 16, 17 e 18, onde a e b são os parâmetros da regressão e r o coeficiente de correlação.

QUADRO 14 - Regressão entre o método da estufa e o tensiométrico com os dados expressos em teor de umidade' (% em peso).

S o l o	a	b	r
Arroio dos Ratos-prof. 15 cm	-0,8585	1,0627	0,92
Arroio Ibacaru-prof. 15 cm	5,3640	0,7341	0,75
São Jerônimo-prof. 15 cm	0,8485	0,8825	0,92

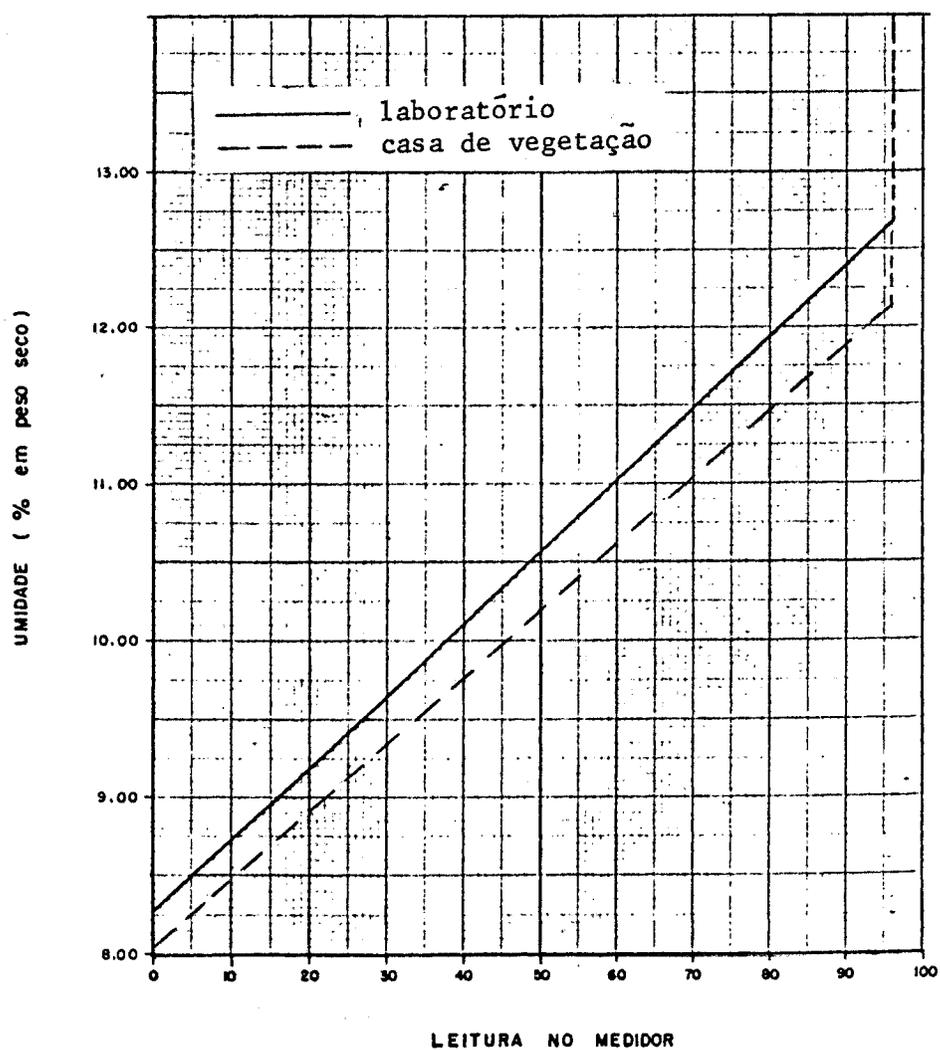
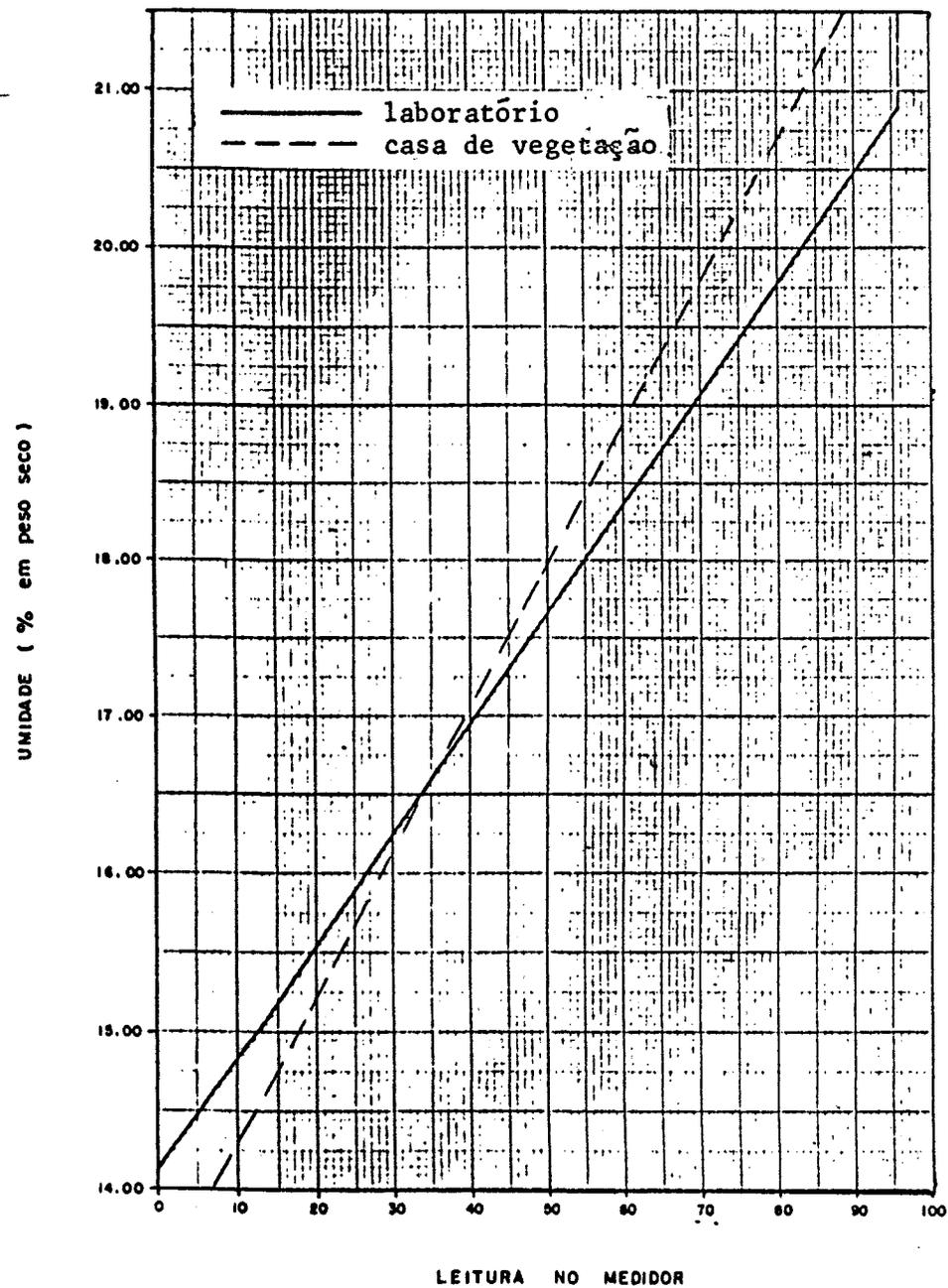
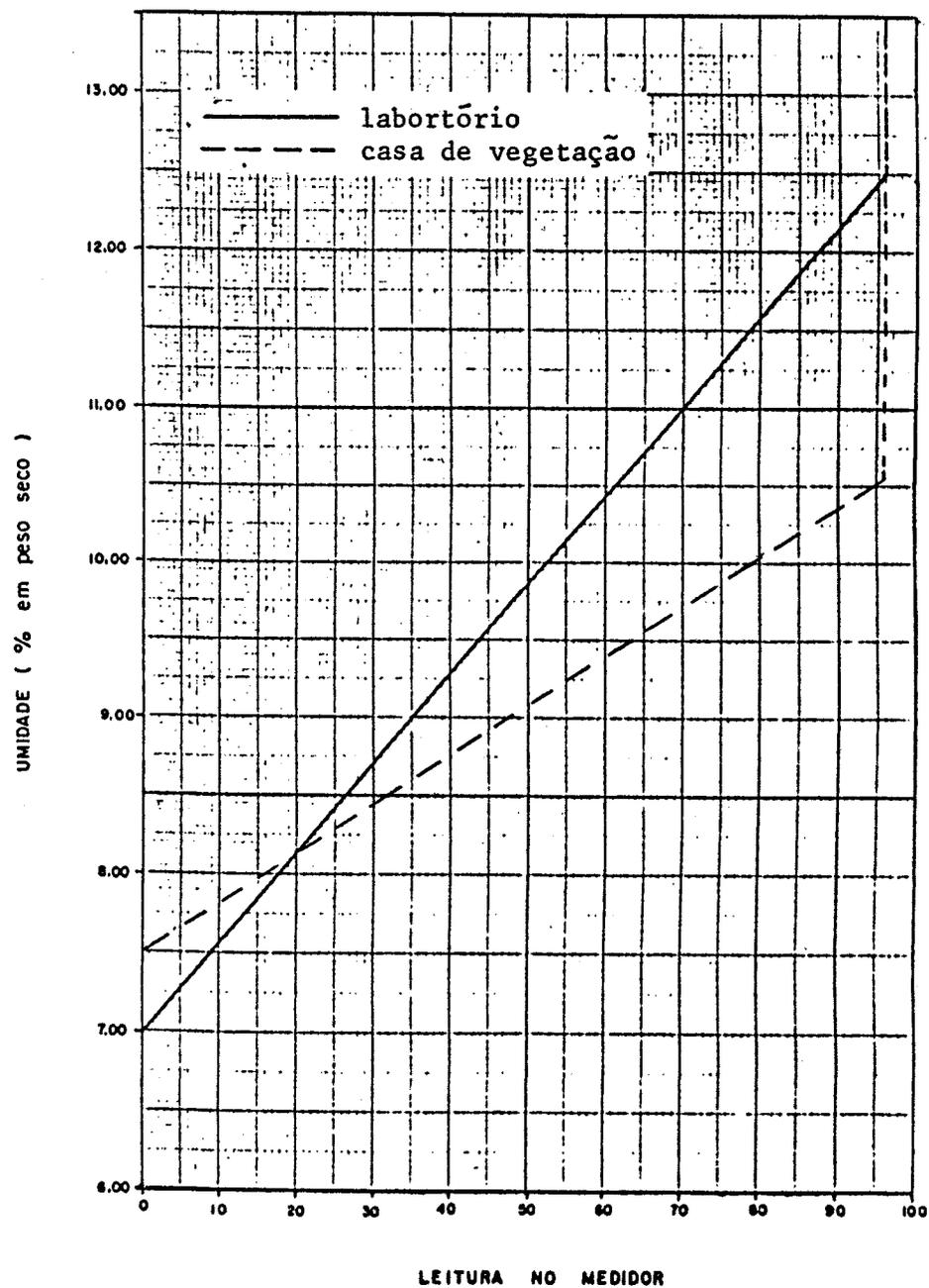


FIGURA 17 - Comparação entre a curva de calibração dos blocos de resistência elétrica determinada em laboratório e a determinada na casa de vegetação com dados da estufa para o solo Ar roio dos Ratos.- prof. 15 cm.



LEITURA NO MEDIDOR

FIGURA 18 - Comparação entre a curva de calibração dos blocos de resistência elétrica determinada em laboratório e a determinada na casa de vegetação com dados da estufa para o solo Arroio Ibacuru prof. 15 cm.



LEITURA NO MEDIDOR

FIGURA 19 - Comparação entre a curva de calibração dos blocos de resistência elétrica determinada em laboratório e a determinada na casa de vegetação com dados da estufa para o solo São Jerônimo - prof. 15 cm.

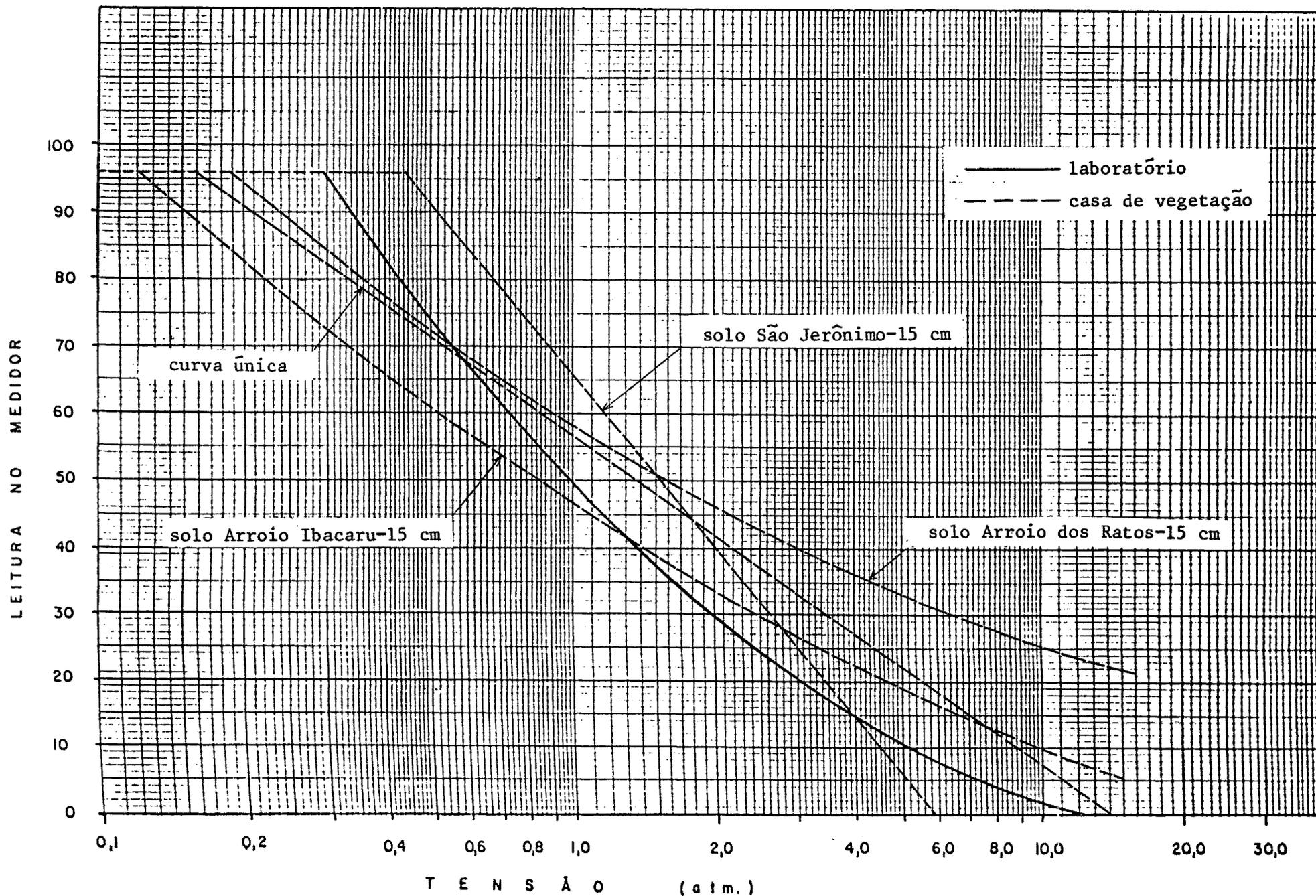


FIGURA 20 - Comparação entre a curva de calibração dos blocos de resistência elétrica determinada em laboratório e as determinadas na casa de vegetação com dados da estufa.

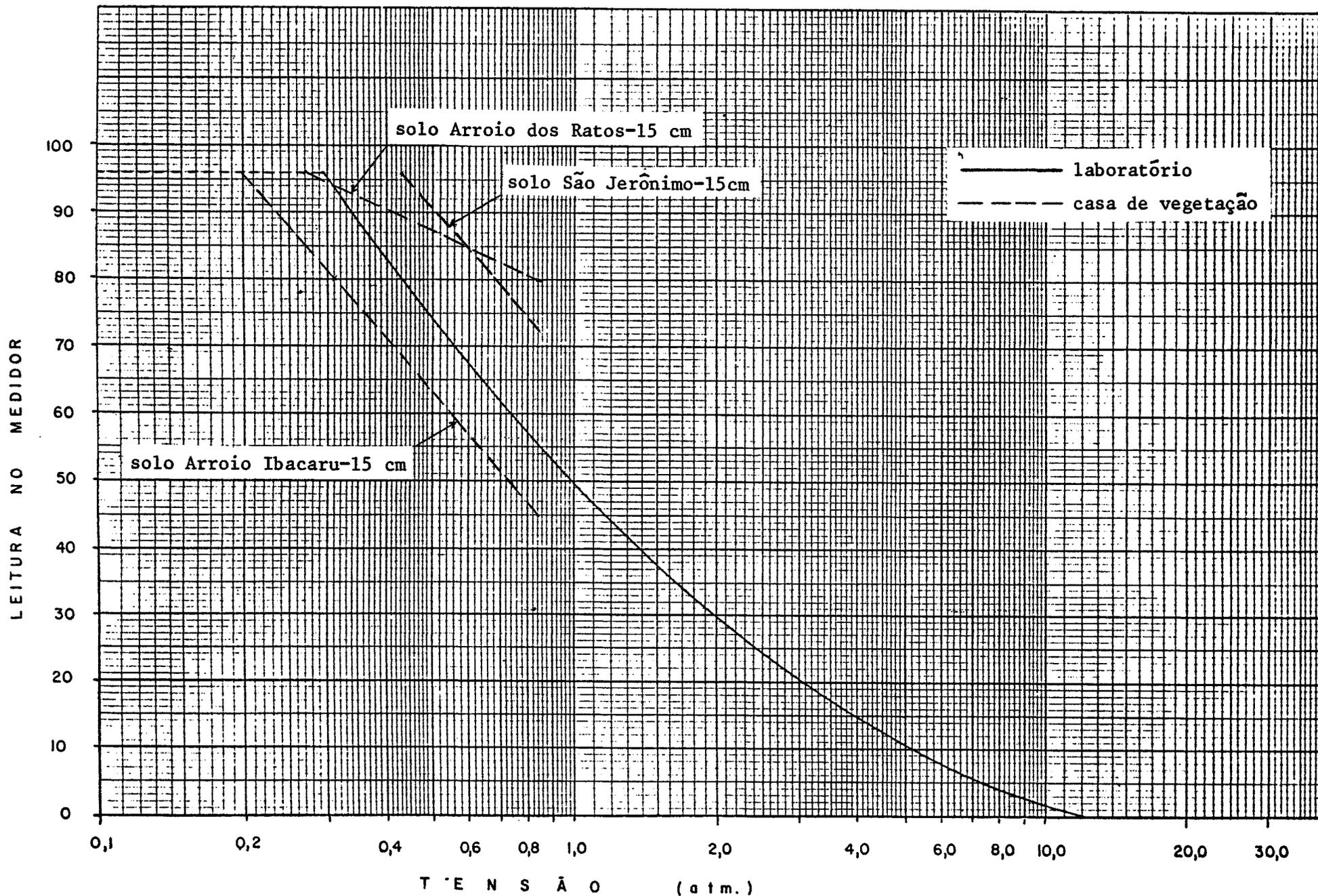


FIGURA 21 - Comparação entre a curva de calibração dos blocos de resistência elétrica determinada em laboratório e as determinadas na casa de vegetação com dados dos tensiômetros.

QUADRO 15 - Regressão entre o método da estufa e o tensiométrico, com os dados expressos em tensão de umidade (atmosfera).

S o l o	a	b	r
Arroio dos Ratos-prof. 15 cm	-0,2416	1,7215	0,89
Arroio Ibacaru-prof. 15 cm	0,0108	0,9916	0,63
São Jerônimo-prof. 15 cm	-0,0852	1,4761	0,82

QUADRO 16 - Regressão entre o método da estufa e o da resistência elétrica, com os dados expressos em teor de umidade (% em peso).

S o l o	a	b	r
Arroio dos Ratos-prof. 15 cm	0,3305	0,9333	0,80
Arroio Ibacaru-prof. 15 cm	-4,7728	1,2890	0,95
São Jerônimo-prof. 15 cm	3,6470	0,5532	0,83

QUADRO 17 - Regressão entre o método da estufa e o da resistência elétrica, com os dados expressos em tensão de umidade (atmosfera).

S o l o	a	b	r
Arroio dos Ratos-prof. 15 cm	0,4863	0,9601	0,65
Arroio Ibacaru-prof. 15 cm	-0,5009	1,5624	0,97
São Jerônimo-prof. 15 cm	0,9818	0,3859	0,85

QUADRO 18 - Regressão entre o método tensiométrico e o da resistência elétrica com os dados expressos em tensão de umidade (atmosfera).

S o l o	a	b	r
Arroio dos Ratos-prof. 15 cm	0,0526	1,2842	0,61
Arroio Ibacaru-prof. 15 cm	0,0623	0,6006	0,94
São Jerônimo-prof. 15 cm	0,4184	0,4368	0,57

Os valores dos coeficientes de correlação determinados para as diversas regressões dão uma idéia do grau de relação entre os dois métodos que estão sendo analisados. Um alto valor de r indica que a equação linear descreve ou explica os dois métodos em questão.

Foram encontrados altos valores, superiores a 0,80, para os coeficientes de correlação nas regressões entre o método da estufa e o tensiométrico no solo São Jerônimo; entre o método da estufa e o da resistência elétrica, também no solo São Jerônimo e entre o método tensiométrico e da resistência elétrica no solo Arroio Ibacaru, enquanto que, nestes solos, os métodos apresentaram diferenças significativas entre si, pelo teste de t . Isto significa que a utilização das respectivas equações determinadas pelas regressões, irá melhorar a aproximação entre os métodos, para aqueles solos.

4.2.3. Intervalo de Confiança para as Médias das Diferenças entre os Métodos.

O intervalo de confiança de uma determinada média é dado pela expressão (GOMES, 1978).

$$\bar{X} - t_0 s/\sqrt{N} \leq X \leq \bar{X} + t_0 s/\sqrt{N} \quad (7)$$

onde X é a média; \bar{X} , a estimativa da média; N , o número de observações utilizadas na estimativa da média; s , o desvio padrão e t_0 , o t tabelado a um determinado nível de probabilidade com $N-1$ graus de liberdade.

Calculou-se, então, através desta expressão os intervalos de confiança para as médias das diferenças entre os métodos estudados, no nível de 5% de probabilidade, o que significa que há uma probabilidade de 95% de que as verdadeiras diferenças entre os métodos estejam contidas nos intervalos encontrados. Para as diferenças entre os métodos da resistência elétrica e o da estufa, em termos de tensão de umidade, considerou-se duas faixas, tomando como referência o método padrão da estufa: uma de 0,1 a 1,0 atmosfera e outra de 1,0 a 15,0 atmosferas. Nos Quadros 19, 20, 21, 22, 23 e 24 encontram-se os intervalos calculados.

QUADRO 19 - Intervalo de confiança para a diferença entre o método tensiométrico (T) e o da estufa (E), em termos de teor de umidade (% em peso).

S o l o	Intervalo
Arroio dos Ratos-prof. 15 cm	$-0,34 \leq T - E \leq 0,54$
Arroio Ibacaru-prof. 15 cm	$-0,88 \leq T - E \leq 0,64$
São Jerônimo-prof. 15 cm	$0,05 \leq T - E \leq 0,96$

QUADRO 20 - Intervalo de confiança para a diferença entre o método tensiométrico (T) e o da estufa (E), em termos de tensão de umidade do solo (atmosfera).

S o l o	Intervalo
Arroio dos Ratos-prof. 15 cm	$-0,33 \leq T - E \leq 0,11$
Arroio Ibacaru-prof. 15 cm	$-0,19 \leq T - E \leq 0,17$
São Jerônimo-prof. 15 cm	$-0,34 \leq T - E \leq 0,04$

QUADRO 21 - Intervalo de confiança para a diferença entre o método da resistência elétrica (R) e o da estufa (E), em termos de teor de umidade (% em peso).

S o l o	Intervalo
Arroio dos Ratos-prof. 15 cm	$-0,15 \leq R - E \leq 0,90$
Arroio Ibacaru-prof. 15 cm	$-0,70 \leq R - E \leq 0,38$
São Jerônimo-prof. 15 cm	$0,17 \leq R - E \leq 1,39$

QUADRO 22.- Intervalo de confiança para a diferença entre o método da resistência elétrica (R) e o da estufa (E), em termos de tensão de umidade, na faixa de 0,1 a 1,0 atmosfera.

S o l o	Intervalo
Arroio dos Ratos-prof. 15 cm	$0,04 \leq R - E \leq 0,59$
Arroio Ibacaru-prof. 15 cm	$0,04 \leq R - E \leq 0,46$
São Jerônimo-prof. 15 cm	$-0,34 \leq R - E \leq -0,03$

QUADRO 23.- Intervalo de confiança para a diferença entre o método da resistência elétrica (R) e o da estufa (E), em termos de tensão de umidade, na faixa de 1,0 a 15,0 atmosferas.

S o l o	Intervalo
Arroio dos Ratos-prof. 15 cm	$-2,69 \leq R - E \leq 0,88$
Arroio Ibacaru-prof. 15 cm	$-3,71 \leq R - E \leq 0,27$
São Jerônimo-prof. 15 cm	$-0,77 \leq R - E \leq 2,45$

QUADRO 24.- Intervalo de confiança para a diferença entre o método da resistência elétrica (R) e o tensiométrico (T), em termos de tensão de umidade (atmosfera).

S o l o	Intervalo
Arroio dos Ratos-prof. 15 cm	$-0,22 \leq R - T \leq -0,10$
Arroio Ibacaru-prof. 15 cm	$0,11 \leq R - T \leq 0,22$
São Jerônimo-prof. 15 cm	$-0,25 \leq R - T \leq -0,14$

Pela análise dos intervalos obtidos podemos ter uma indicação quantitativa das diferenças ou erros que se pode esperar dos métodos, em relação a outro método com o qual esta

sendo comparado, considerando como padrão, com 95% de probabilidade.

Quanto maior o valor absoluto do extremo do intervalo, maior será o erro esperado do método.

Quando comparado com o método da estufa, em termos de teor de umidade, o maior erro positivo esperado do método tensiométrico é de 0,96%, no solo São Jerônimo e o maior erro negativo e de -0,88%, no solo Arroio Ibacaru. Em termos de tensão de umidade os erros máximos esperados são de 0,17 atmosfera, no solo Arroio Ibacaru e -0,34 atmosfera no solo São Jerônimo.

Podemos assim dizer que, tanto em termos de teor de umidade, como em termos de tensão de umidade, o método tensiométrico pode apresentar maior erro no solo São Jerônimo do que nos demais solos.

Para o caso do método da resistência elétrica, os erros máximos esperados, em termos de teor de umidade, são de 1,39%, no solo São Jerônimo e de -0,70%, no solo Arroio Ibacaru. Em termos de tensão de umidade, os erros máximos são de 0,59 atmosfera, no solo Arroio dos Ratos e de -0,34 atmosfera, no solo São Jerônimo, para a faixa de 0,1 a 1,0 atmosfera, e de 2,45 atmosferas, no solo São Jerônimo e de -3,71 atmosferas, no solo Arroio Ibacaru, para a faixa de 1,0 a 15,0 atmosferas.

Podemos, então, dizer que o método da resistência elétrica, em termos de teor de umidade, pode apresentar maior erro no solo São Jerônimo. Em termos de tensão de umidade, pode apresentar maior erro no solo Arroio dos Ratos, na faixa de 0,1 a 1,0 atmosfera e no solo Arroio Ibacaru, na faixa de 1,0 a 15 atmosferas.

Observamos também, que, considerando como padrão o método da estufa, o método tensiométrico mostrou-se ser mais preciso do que o método da resistência elétrica, tanto para determinar o teor de umidade, como para determinar a tensão de umidade do solo. Entretanto, deve-se levar em consideração que os dois métodos apresentam diferentes faixas de funcionamento.

O método da resistência elétrica quando comparado com o método tensiométrico, em termos de tensão de umidade, pode

apresentar erros máximos de 0,22 atmosfera no solo Arroio Ibacaru e -0,25 atmosfera no solo São Jerônimo.

Pela análise dos Quadros 22 e 24 observa-se que o método da resistência elétrica apresenta-se mais preciso quando comparado com o método tensiométrico do que com o método da estufa.

4.3. Análise Comparativa dos Métodos no Experimento de Campo.

Durante o período de condução do experimento de campo, ocorreram chuvas com muita frequência que prejudicaram o trabalho nos solos Arroio Ibacaru e São Jerônimo, os quais, cobertos com pastagem de gramíneas naturais, de baixo uso consuntivo, permaneceram sempre com altos teores de umidade, não tendo sido possível, portanto, a obtenção dos dados necessários ao estudo. Só se obteve dados no solo Arroio dos Ratos, cuja cobertura era uma cultura de milho, os quais se encontram no Quadro A6.

As mesmas análises feitas para o experimento da casa de vegetação foram feitas para o experimento de campo, com o objetivo de se verificar o comportamento dos métodos nestas condições.

Os resultados do teste de t estão nos Quadros 25, 26, 27, 28 e 29; as regressões lineares, nos Quadros 30, 31, 32, 33 e 34 e os intervalos de confiança para as diferenças entre os métodos, nos Quadros 35, 36, 37, 38, 39 e 40.

QUADRO 25 - Comparação entre o método tensiométrico e o gravimétrico, tendo sido as leituras dos tensiômetros convertidas em umidade do solo (%).

S o l o	N	\bar{X}	s	t
Arroio dos Ratos -prof.15 cm	18	0,3122	0,8507	1,5572
Arroio dos Ratos -prof.60 cm	11	0,9536	1,6300	1,9404

\bar{X} = média do tensiômetro - média da estufa.

QUADRO 26 - Comparação entre o método tensiométrico e o gravimétrico, tendo sido as umidades (%) obtidas na estufa convertidas em tensões de umidade do solo.

S o l o	N	\bar{X}	s	t
Arroio dos Ratos-prof. 15 cm	18	-0,1400	0,2959	2,0071
Arroio dos Ratos-prof. 60 cm	11	-0,7800	1,5200	1,7019

\bar{X} = média do tensiômetro - média da estufa.

QUADRO 27 - Comparação entre o método da resistência elétrica e o gravimétrico, tendo sido as leituras do medidor de resistência convertidas em umidades do solo (%).

S o l o	N	\bar{X}	s	t
Arroio dos Ratos-prof. 15 cm	19	0,0642	1,2795	0,2869
Arroio dos Ratos-prof: 60 cm	21	0,8648	0,7810	5,0742***

\bar{X} = média da resistência elétrica - média da estufa

*** significativo ao nível de 0,1% de probabilidade.

QUADRO 28 - Comparação entre o método da resistência elétrica e o gravimétrico, tendo sido as leituras do medidor de resistência e as umidades (%) obtidas na estufa convertidas em tensões de umidade do solo.

S o l o	N	\bar{X}	s	t
Arroio dos Ratos-prof. 15 cm	19	-0,0300	1,4801	0,0884
Arroio dos Ratos-prof. 60 cm	21	-2,1824	2,5876	3,8650***

\bar{X} = média da resistência elétrica - média da estufa.

*** significativo ao nível de 0,1% de probabilidade.

QUADRO 29 - Comparação entre o método da resistência elétrica e o tensiométrico, tendo sido as leituras do medidor de resistência convertidas em tensões de umidade do solo.

S o l o	N	\bar{X}	s	t
Arroio dos Ratos-prof. 15 cm	22	0,2868	0,3194	4,2124***
Arroio dos Ratos-prof. 60 cm	11	-0,1573	0,0924	5,6438***

\bar{X} = média da resistência elétrica - média do tensiômetro.
 *** significativo ao nível de 0,1% de probabilidade.

QUADRO 30 - Regressão entre o método da estufa e o tensiométrico com os dados expressos em teor de umidade (% em peso).

S o l o	a	b	r
Arroio dos Ratos-prof. 15 cm	-0,5772	1,0206	0,82
Arroio dos Ratos-prof. 60 cm	16,4333	-0,2936	0,20

QUADRO 31 - Regressão entre o método da estufa e o tensiométrico com os dados expressos em tensão de umidade (atmosfera).

S o l o	a	b	r
Arroio dos Ratos-prof. 15 cm	-0,0241	1,5109	0,72
Arroio dos Ratos-prof. 60 cm	1,9228	-2,6866	0,32

QUADRO 32 - Regressão entre o método da estufa e o da resistência elétrica, com os dados expressos em teor de umidade (% em peso).

S o l o	a	b	r
Arroio dos Ratos-prof. 15 cm	4,9780	0,5374	0,54
Arroio dos Ratos-prof. 60 cm	0,4396	0,8914	0,68

QUADRO 33 - Regressão entre o método da estufa e o da resistência elétrica, com os dados expressos em tensão de umidade (atmosfera).

S o l o	a	b	r
Arroio dos Ratos-prof. 15 cm	0,5998	0,5940	0,57
Arroio dos Ratos-prof. 60 cm	0,4336	2,8153	0,55

QUADRO 34 - Regressão entre o método tensiométrico e o da resistência elétrica, com os dados expressos em tensão de umidade (atmosfera).

S o l o	a	b	r
Arroio dos Ratos-prof. 15 cm	0,1477	0,3344	0,84
Arroio dos Ratos-prof. 60 cm	0,3837	0,3953	0,60

QUADRO 35 - Intervalo de confiança para a diferença entre o método tensiométrico (T) e o da estufa (E), em termos de teor de umidade (% em peso).

S o l o	Intervalo
Arroio dos Ratos-prof. 15 cm	$-0,11 \leq T - E \leq 0,74$
Arroio dos Ratos-prof. 60 cm	$-0,14 \leq T - E \leq 2,05$

QUADRO 36 - Intervalo de confiança para a diferença entre o método tensiométrico (T) e o da estufa (E) em termos de tensão de umidade (atmosfera).

S o l o	Intervalo
Arroio dos Ratos-prof. 15 cm	$-0,29 \leq T - E \leq 0,01$
Arroio dos Ratos-prof. 60 cm	$-1,80 \leq T - E \leq 0,24$

QUADRO 37 - Intervalo de confiança para a diferença entre o método da resistência elétrica (R) e o da estufa (E), em termos de teor de umidade (% em peso).

S o l o	Intervalo
Arroio dos Ratos-prof. 15 cm	$-0,55 \leq R - E \leq 0,68$
Arroio dos Ratos-prof. 60 cm	$0,51 \leq R - E \leq 1,22$

QUADRO 38 - Intervalo de confiança para a diferença entre o método da resistência elétrica (R) e o da estufa (E), em termos de tensão de umidade, na faixa de 0,1 a 1,0 atmosfera.

S o l o	Intervalo
Arroio dos Ratos-prof. 15 cm	$-0,09 \leq R - E \leq 0,75$
Arroio dos Ratos-prof. 60 cm	$-0,37 \leq R - E \leq 0,17$

QUADRO 39 - Intervalo de confiança para a diferença entre o método da resistência elétrica (R) e o da estufa (E), em termos de tensão de umidade, na faixa de 1,0 a 15,0 atmosferas.

S o l o	Intervalo
Arroio dos Ratos-prof. 15 cm	$-2,01 \leq R - E \leq 1,14$
Arroio dos Ratos-prof. 60 cm	$-4,03 \leq R - E \leq -1,31$

QUADRO 40 - Intervalo de confiança para a diferença entre o método da resistência elétrica (R) e o tensiômetro (T), em termos de tensão de umidade (atmosfera)

S o l o	Intervalo
Arroio dos Ratos-prof. 15 cm	$0,15 \leq R - T \leq 0,43$
Arroio dos Ratos-prof. 60 cm	$-0,22 \leq R - T \leq -0,10$

Pelos resultados obtidos, observamos que, na profundidade de 15 cm, tanto o método tensiométrico como o da resistência elétrica, confirmaram seus desempenhos na casa de vegetação; sendo que, de um modo geral, os erros apresentados, por ambos os métodos, no experimento de campo foram um pouco maiores do que os apresentados no experimento da casa de vegetação.

Na profundidade de 60 cm, o método tensiométrico não apresentou diferença significativa do método da estufa pelo teste de t , ao nível de 5% de probabilidade, porém, a média das diferenças entre os dois processos e seu desvio padrão apresentaram valores relativamente elevados; na regressão linear entre os dois métodos o coeficiente de correlação foi muito baixo, 0,20 e o parâmetro b foi negativo, enquanto que a curva deveria ser ascendente e os erros máximos estimados pelos intervalos de confiança foram também relativamente elevados. Já o método de resistência elétrica, apresentou diferença altamente significativa do método da estufa, pelo teste de t e o erro máximo esperado, em termos de tensão de umidade, na faixa de 1,0 a 15,0 atmosferas, foi relativamente elevado. Acredita-se, entretanto, que tais fatos não sejam decorrentes somente das características específicas dos dois métodos, mas também da grande desuniformidade da umidade do solo naquela profundidade, devido, principalmente aos seguintes fatores, também já mencionados por BOURGET et alii (1958) e KELLEY et alii (1946): heterogeneidade de solo, distribuição irregular das raízes das plantas e umedecimento lento e gradativo do solo, o que pode ser observado pelo Quadro A6, proporcionando o efeito de histeresis. Apesar da amostragem para a estufa ter sido o mais próximo possível dos aparelhos, foram encontradas manchas de solo com umidade bastante diferente da do solo junto ao tensiômetro e bloco de resistência elétrica. Como a amostragem é feita sempre em locais diferentes, a variação da umidade do solo influenciou, neste caso, nos resultados do experimento. Na comparação entre o método de resistência elétrica e o tensiométrico, os resultados obtidos estão compatíveis com os encontrados para a profundidade de 15 cm e os do experimento da casa de vegetação. Como estes métodos determinam a umidade sempre no mesmo ponto, esta é a outra indicação da desuniformidade da umidade do solo na profundidade de 60 cm.

5. CONCLUSÕES

Pela análise dos resultados obtidos, pode-se chegar às seguintes conclusões:

1) Tanto o método tensiométrico como o da resistência elétrica, tiveram comportamentos diferentes nos diversos tipos de solos e a variação do comportamento não está relacionada somente com a textura do solo. Em termos de teor de umidade, diferiram do método padrão da estufa, ao nível de 5% de probabilidade, no solo São Jerônimo - prof. 15 cm e nos demais solos não apresentaram diferenças significativas. Em termos de tensão de umidade, não diferiram do método padrão da estufa, em nenhum dos solos estudados.

2) O método da resistência elétrica e o tensiométrico apresentaram diferenças altamente significativas entre si.

3) As aproximações entre o método tensiométrico e o da estufa, em termos de teor de umidade, no solo São Jerônimo - prof. 15 cm; entre o método da resistência elétrica e o da estufa, também em termos de teor de umidade e no solo São Jerônimo - prof. 15 cm e entre o método da resistência elétrica e o tensiométrico, em termos de tensão de umidade, no solo Arroio Ibacaru - prof. 15 cm podem ser melhoradas pelo uso das seguintes equações, respectivamente:

$$E_u = 0,8485 + 0,8825 T_u \quad (8)$$

$$E_u = 3,6470 + 0,5532 R_u \quad (9)$$

$$T_t = 0,0623 + 0,6006 R_t \quad (10)$$

onde, E_u é a umidade pela estufa; T_u , a umidade pelo tensiômetro; R_u , a umidade pelo método da resistência elétrica, T_t , a tensão pelo tensiômetro e R_t , a tensão pelo método da resistên

cia elétrica.

4) Em relação ao método padrão da estufa, os erros máximos médios esperados do método tensiométrico, em termos de teor de umidade, são de 0,96% no solo São Jerônimo - prof. 15 cm e de -0,88% no solo Arroio Ibacaru - prof. 15 cm. Em termos de tensão de umidade, os erros máximos médios esperados são de 0,17 atmosfera no solo Arroio Ibacaru - prof. 15 cm e de -0,34 atmosfera no solo São Jerônimo - prof. 15 cm.

5) Em relação ao método padrão da estufa, os erros máximos médios esperados do método da resistência elétrica, em termos de teor de umidade, são de 1,39% no solo São Jerônimo - prof. 15 cm e de -0,70% no solo Arroio Ibacaru - prof. 15 cm. Em termos de tensão de umidade, os erros máximos médios esperados são 0,59 atmosfera no solo Arroio dos Ratos - prof. 15 cm e de -0,34 atmosfera no solo São Jerônimo - prof. 15 cm, para a faixa de 0,1 a 1,0 atmosfera e de 2,45 atmosferas no solo São Jerônimo - prof. 15 cm e de -3,71 atmosferas no solo Arroio Ibacaru - prof. 15 cm, para a faixa de 1,0 a 15,0 atmosferas.

6) Em relação ao método tensiométrico, os erros máximos médios esperados do método da resistência elétrica são de 0,22 atmosfera no solo Arroio Ibacaru - prof. 15 cm e de -0,25 atmosfera no solo São Jerônimo - prof. 15 cm.

7) O método da resistência elétrica apresenta maior precisão em relação ao método tensiométrico do que em relação ao método da estufa, mesmo considerando a faixa de 0,1 a 1,0 atmosfera para a estufa.

8) Em condições de campo, sob ocorrências de chuvas, os erros apresentados pelos métodos tensiométricos e da resistência elétrica são um pouco maiores do que os apresentados em casa de vegetação, onde os ciclos de secagem do solo são controlados.

6. BIBLIOGRAFIA CITADA

1. ANDERSON, Alfred B. C. & EDLEFSEN, N. E., 1942. Laboratory study of the response of 2- and 4- electrode plaster of paris block as soil-moisture content indicators. Soil Sci., 53: 413 - 428.
2. BOURGET, S. J.; ELRICK, D. E.; TANNER, C. B., 1958. Electrical resistance units for moisture measurements: their moisture hysteresis, uniformity and sensitivity. Soil Sci., 86 (6): 298 - 304.
3. BOUYOUCOS, G. J., 1950. A practical soil moisture meter as a scientific guide to irrigation practices. Agron. Jour., 42 (2): 104 - 107.
4. _____, 1960. Measuring soil moisture tension by plaster of paris electrical resistance block method. Agr. Eng., 41: 40 - 41.
5. _____, 1949. Nylon electrical resistance unit for continuous measurement of soil moisture in the field. Soil Sci., 67: 319 - 330.
6. _____, 1961. Soil moisture measurement improved - new plaster of paris blocks prove more accurate and sensitive. Agr. Eng., 42: 136 - 138.

7. CANNELL, G. H., 1958. Effect of drying cycles on changes in resistance of soil moisture units. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 22: 379 - 382.
8. CANNELL, Glen H. & ASBELL, C. W., 1964. Prefabrication of mold and construction of cylindrical electrode - type resistance units. Soil Sci., 97 (2): 108 - 112.
9. CAUDURO, F. A. & RAMOS, P. D. C., 1971. Manual de Laboratório. Porto Alegre, Faculdade de Agronomia, U.F.R.G.S. 61 p.
10. CLOSS, R. L., 1954. A rapid method for calibrating soil moisture elements of the porous block type. Soil Sci. 78: 333 - 338.
11. COLMAN, E. A. & HENDRIX, T. M., 1949. The fiberglas electrical soil-moisture instrument. Soil Sci., 67: 425-438.
12. CUMMINGS R. W. & CHANDLER, R. F., Jr., 1940. A field comparison of the electrothermal and gypsum block electrical resistance methods with the tensiometer method for estimating soil moisture "in situ". Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 5: 80 - 85.
13. DAKER, Alberto, 1970. A água na agricultura; irrigação e drenagem. 3. ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos. 453 p. 3 v.
14. EWART, Geo Yuan, 1951. The mechanics of field irrigation scheduling utilizing Bouyoucos blocks. Agr. Eng., 32: 148-151, 154.
15. EWART, G. Y. & BAVER, L. D., 1950. Salinity effects on soil moisture-electrical resistance relationships. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 15: 56 - 63.
16. GOMES, Frederico Pimentel, 1978. Iniciação à Estatística. 6. ed. São Paulo, Nobel. 211p.

17. HAISE, Howard & KELLEY, Omer J., 1946. Relation of moisture tension to heat transfer and electrical resistance in plaster of paris blocks. Soil Sci., 61: 411 - 422.
18. HOLMES, J. W.; TAYLOR, S. A.; RICHARDS, S. J., 1967. Measurement of soil water. In: HAGAN, R. M., HAISE, H. R.; EDMINSTER, T. W. ed. Irrigation of agricultural land. Agronomy 11, Madson, American Society of Agronomy, cap. 15, p. 275 - 303.
19. HUNTER, Albert S. & KELLEY, Omer J., 1946. Changes in the construction of soil moisture tensiometers for field use. Soil Sci., 61: 215 - 218.
20. ISRAELSEN, Orson W. & HANSEN Vaughn E., 1965. Principios y aplicaciones del riego. 2. ed. Barcelona, Ed. Reverté. 397 p.
21. KELLEY, Omer J., 1944. A rapid method of calibrating various instruments for measuring soil moisture "in situ". Soil Sci., 58: 433 - 440.
22. KELLEY; Omer J. et alii, 1946. A comparison of methods of measuring soil moisture under field conditions. Jour. Amer. Soc. Agron., 38 (9): 759 - 784.
23. MELLO, Orlando de et alii, 1966. Levantamento em série dos solos do Centro Agronômico. Rev. da Faculdade de Agronomia e Veterinária da U.F.R.G.S., Porto Alegre, 8 (1 - 4): 7 - 155, mar./dez.
24. PEREIRA, H. C., 1951. A cylindrical gypsum block for moisture studies in deep soils. Jour. Soil Sci., 2 (2): 212 - 223.
25. PERRIER, Eugene R. & EVANS, D. D., 1961. Soil moisture evaluation by tensiometers. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 25: 173 - 175.

26. PERRIER, Eugene R. & MARSH, Albert W., 1958. Performance characteristics of various electrical resistance units and gypsum materials. Soil Sci., 86: 140 - 147.
27. RICHARDS, L. A., 1942. Soil moisture tensiometers materials and construction. Soil Sci., 53: 241 - 248.
28. RICHARDS, S. J. & MARSH, A. W., 1961. Irrigation based on soil suction measurements. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 25: 65 - 69.
29. ROCHA, V. M. L., 1971. O método da resistência elétrica na determinação da umidade do solo "in situ". In: Anais do II Seminário Nacional de Irrigação. Porto Alegre, SU DESUL. p. 285 - 318.
30. ROWLAND, E. F.; FAGAN, T. D.; CRAB, G. A., 1954. A slide rule for soil moisture determinations. Amer. Soc. Agr. Eng. Jour., 35: 163 - 164.
31. SLATER, C. S., 1942. A modified resistance block for soil moisture measurement. Jour. Amer. Soc. Agron. 34 (3): 284 - 285.
32. SLATER, C. S. & BRYANT, J. C., 1946. Comparison of four methods of soil moisture measurement. Soil Sci., 61: 131-155.
33. SOILMOISTURE EQUIPMENT CORP., 1971. Operating instructions for the "soilmoisture gages". Santa Barbara, Calif., U.S.A., 4 p. (Cat. nº 2.600).
34. TAYLOR, S. A.; EVANS, D. D.; KEMPER, W. D., 1961. Evaluating soil water. Logan, Agricultural Experiment Station, Utah State University, Bulletin 426. 67 p.
35. WEAVER, H. A. & JAMISON, V. C., 1951. Limitations in the use of electrical resistance soil moisture units. Agron. Jour., 43: 603 - 605.

APÊNDICE

QUADRO A1 - Resultados da determinação da curva de tensão-umidade dos solos Arroio dos Ratos - prof. 15 cm, Arroio dos Ratos - prof. 60 cm, Arroio Ibacaru - prof. 15 cm, e São Jerônimo - prof. 15 cm.

Tensão (atm)	Umidade (% em peso)			
	Arroio dos Ratos-prof 15cm.	Arroio dos Ratos-prof 60cm.	Arroio Ibacaru prof 15 cm.	São Jerônimo 15cm.
0,1	15,02	15,06	23,31	14,98
0,4	11,85	12,84	19,58	12,06
0,7	11,26	12,11	18,54	10,58
1,0	10,68	11,48	17,95	9,22
3,0	9,20	10,70	15,98	8,02
5,0	8,88	10,30	15,11	7,53
9,0	8,20	10,10	14,03	7,24
15,0	8,14	9,50	13,20	7,10

QUADRO A2 - Calibração dos blocos de resistência elétrica pelos pratos de pressão.

Tensão (atm)	Leitura no medidor			
	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4
0,0	96	96	96	96
0,1	96	96	96	96
0,4	82	76	84	80
0,7	70	58	64	62
1,0	56	44	44	52
3,0	22	14	16	24
5,0	16	10	8	4
7,0	10	8	4	2
9,0	4	4	2	0
12,0	2	2	0	0
15,0	0	0	0	0

QUADRO A3 - Resultados do trabalho na casa de vegetação no solo Arroio dos Ratos,

Data	Repetição 1			Repetição 2		
	Resist. elétrica	Tensiômetro (Milibars)	Estufa (%U.)	Resist. elétrica	Tensiômetro (Milibars)	Estufa (%U.)
12.4.72	96	40	-	96	39	-
13	96	43	-	96	44	-
14	96	48	-	96	56	-
15	96	54	-	96	-	-
16	96	59	-	96	68	-
17	96	66	-	96	83	-
19	96	88	-	96	114	-
20	96	103	-	96	142	-
21	96	124	-	96	186	-
22	96	173	-	94	264	-
23	96	194	-	92	333	-
24	96	238	-	88	419	-
25	96	303	-	82	530	-
26	94	394	-	76	658	-
27	94	432	-	70	728	-
28	90	552	-	58	*	-
29	88	663	-	-	-	-
30	86	690	-	-	-	-
1.5.72	74	*	-	-	-	-
5.5.72	96	48	-	96	50	-
6	96	58	-	96	59	-
7	96	64	-	96	68	-
8	96	70	-	96	78	-
9	96	79	-	96	88	-
10	96	83	-	96	93	-
11	96	84	-	96	99	-
12	96	86	-	96	104	-
13	96	98	14,68	96	120	-

* O tensiômetro deixou de funcionar.

QUADRO A3 - (Continuação)

Data	Repetição 1			Repetição 2		
	Resist. elétrica	Tensiômetro (Milibars)	Estufa (% U.)	Resist. elétrica	Tensiômetro (Milibars)	Estufa (% U.)
14	96	112	-	96	146	-
15	96	132	-	96	185	-
16	96	156	-	94	252	12,86
17	96	199	-	90	360	-
18	96	256	-	84	504	11,50
19	96	296	12,86	78	608	12,32
20	94	384	12,70	70	738	10,34
21	94	508	-	58	*	11,80
22	94	600	-	50	-	10,48
23	92	664	-	44	-	-
24	88	750	10,66	36	-	11,66
25	82	822	10,08	28	-	-
26	72	*	-	22	-	-
27	58	-	8,62	16	-	9,83
28	44	-	9,97	12	-	7,96
29	36	-	-	10	-	-
30	26	-	9,74	8	-	-
31	20	-	-	6	-	-
1.6.72	14	-	-	4	-	7,26
2	10	-	8,44	4	-	-
3	6	-	-	4	-	-
4	4	-	-	2	-	-
5	4	-	-	2	-	-
6	4	-	-	2	-	-
7	2	-	-	2	-	-
8	2	-	-	2	-	-
9	2	-	7,33	2	-	-
10	2	-	-	2	-	-
12	2	-	-	0	-	6,64

* O tensiômetro deixou de funcionar

QUADRO A4 - Resultados do trabalho na casa de vegetação no solo Arroio Ibacaru.

Data	Repetição 1			Repetição 2		
	Resist. elétrica	Tensiômetro (Milibars)	Estufa (% U.)	Resist. elétrica	Tensiômetro (Milibars)	Estufa (% U.)
12.4.72	96	42	-	96	36	-
13	96	58	-	96	58	-
14	98	70	-	96	64	-
15	96	82	-	96	77	-
16	96	94	-	96	93	-
17	96	108	-	96	110	-
19	96	144	-	94	176	-
20	94	172	-	88	250	-
21	92	214	-	76	340	-
22	84	296	-	60	536	-
23	76	360	-	50	642	-
24	66	438	-	42	*	-
25	58	530	-	-	-	-
26	50	639	-	-	-	-
27	44	704	-	-	-	-
28	36	*	-	-	-	-
5.5.72	96	70	-	96	64	-
6	96	85	-	96	80	-
7	96	100	22,15	96	98	-
8	96	115	-	96	118	-
9	96	134	-	96	142	-
10	96	144	-	96	150	-
11	96	152	-	96	158	-
12	96	160	-	96	166	-
13	94	181	-	94	197	21,30
14	94	214	-	94	243	-
15	92	266	-	90	328	-
16	84	337	20,42	82	443	20,70
17	74	414	18,94	68	576	21,10

* 0 tensiômetro deixou de funcionar.

QUADRO A4 - (Continuação)

Data	Repetição 1			Repetição 2		
	Resist. elétrica	Tensiômetro (Milibars)	Estufa (% U.)	Resist. elétrica	Tensiômetro (Milibars)	Estufa (% U.)
18	62	526	18,14	54	744	19,09
19	52	617	18,88	42	*	19,34
20	46	704	17,69	36	-	-
21	40	*	-	30	-	17,44
22	36	-	15,91	26	-	15,78
23	32	-	-	22	-	-
24	30	-	-	20	-	-
25	24	-	-	16	-	15,42
26	22	-	-	14	-	-
27	18	-	-	10	-	-
28	14	-	-	8	-	-
29	14	-	-	8	-	-
30	10	-	14,59	6	-	13,07
31	10	-	-	6	-	-
1.6.72	8	-	-	4	-	-
2	6	-	-	4	-	-
3	6	-	-	2	-	13,23
4	4	-	-	2	-	-
5	4	-	12,94	2	-	-
6	4	-	-	2	-	-
7	4	-	-	2	-	-
8	4	-	-	2	-	-
9	4	-	-	2	-	-
10	2	-	-	2	-	-
12	2	-	12,98	0	-	-

* 0 tensiômetro deixou de funcionar.

QUADRO A5 - Resultados do trabalho na casa de vegetação no solo São Jerônimo.

Data	Repetição 1			Repetição 2		
	Resist. elétrica	Tensiômetro (Milibars)	Estufa (% U.)	Resist. elétrica	Tensiômetro (Milibars)	Estufa (% U.)
12.4.72	96	47	-	96	52	-
13	96	52	-	96	50	-
14	96	58	-	96	63	-
15	96	64	-	98	70	-
16	96	71	-	96	76	-
17	96	81	-	96	87	-
19	96	106	-	96	124	-
20	96	126	-	96	156	-
21	96	160	-	96	196	-
22	96	229	-	96	271	-
23	96	274	-	96	331	-
24	96	335	-	94	394	-
25	94	414	-	94	476	-
26	92	511	-	90	566	-
27	90	568	-	86	584	-
28	86	660	-	80	-	-
29	80	735	-	74	730	-
30	66	*	-	64	*	-
5.5.72	96	55	-	96	60	-
6	96	62	-	96	72	-
7	96	68	-	96	77	-
8	96	74	-	96	88	-
9	96	82	-	96	94	-
10	96	84	-	96	96	-
11	96	87	-	96	101	-
12	96	90	-	96	104	-
13	96	104	14,03	96	120	-

* O tensiômetro deixou de funcionar.

QUADRO A5 - (Continuação).

Data	Repetição 1			Repetição		
	Resist. elétrica	Tensiômetro (Milibars)	Estufa (% U.)	Resist. elétrica	Tensiômetro (Milibars)	Estufa (% U.)
14.5.72	96	122	-	96	139	-
15	96	150	-	96	165	-
16	96	186	-	96	202	11,90
17	96	239	-	96	248	-
18	96	298	12,26	96	300	-
19	96	332	-	96	348	-
20	96	416	-	94	406	11,72
21	94	529	11,01	94	476	-
22	94	580	-	92	530	10,48
23	92	610	-	88	576	-
24	92	688	10,73	84	622	-
25	90	758	-	74	694	-
26	82	777	9,04	64	722	10,30
27	70	*	7,87	50	758	8,86
28	52	-	8,77	38	*	8,62
29	42	-	8,58	32	-	-
30	30	-	-	24	-	8,87
31	22	-	-	18	-	-
1.6.72	12	-	8,00	12	-	-
2	8	-	-	6	-	7,98
3	4	-	7,56	4	-	-
4	2	-	-	2	-	7,67
5	2	-	-	2	-	-
6	2	-	-	2	-	-
7	2	-	-	2	-	-
8	2	-	-	2	-	-
9	0	-	-	0	-	7,10
10	0	-	-	0	-	-

* 0 tensiômetro deixou de funcionar.

QUADRO A6 - Resultados do trabalho de campo no solo Arroio dos Ratos.

Data	Profundidade 15 cm.						Profundidade 60 cm.					
	Repetição 1			Repetição 2			Repetição 1			Repetição 2		
	Resist. Elétrica	Tensiômetro (Milibars)	Estufa (% U.)	Resist. Elétrica	Tensiômetro (Milibars)	Estufa (% U.)	Resist. Elétrica	Tensiômetro (Milibars)	Estufa (% U.)	Resist. Elétrica	Tensiômetro (Milibars)	Estufa (% U.)
22.01.72	96	90	-	96	76	-	96	-	-	96	328	-
23	96	162	-	96	126	-	96	369	-	96	400	-
24	94	292	12,18	96	223	13,62	96	-	11,51	94	460	12,49
25	82	501	10,05	96	398	13,38	94	568	12,56	90	501	11,44
26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	96	-	-	96	-	-	90	-	-	86	-	-
28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	96	37	-	96	36	-	96	125	12,90	96	577	13,61
30	96	69	-	96	56	-	96	129	-	96	476	-
31	96	108	-	96	78	-	96	173	-	96	-	-
01.02.72	96	177	13,16	96	110	14,19	96	230	-	96	477	-
02	92	303	-	94	171	-	96	306	-	94	-	-
03	76	394	-	92	200	-	94	384	-	94	534	-
04	56	508	10,61	86	274	14,10	94	472	-	92	576	-
05	40	646	-	72	432	-	90	575	-	88	604	-
06	30	782	10,98	60	654	10,56	86	-	-	84	-	-
09	10	-	8,64	28	-	8,63	72	-	11,58	70	-	9,89
10	88	70	-	96	56	-	68	629	-	66	615	-
17	92	216	-	96	128	-	54	-	10,30	48	-	11,62
22	88	190	-	96	108	-	48	-	11,44	44	-	10,32
23	74	-	10,39	96	-	16,80	46	-	-	44	-	-
24	60	323	12,12	96	93	14,32	46	-	-	44	-	-

QUADRO A6 - (Continuação)

Data	Profundidade 15 cm..						Profundidade 60 cm.					
	Repetição 1			Repetição 2			Repetição 1			Repetição 2		
	Resist. Elétrica	Tensiômetro (Milibars)	Estufa (% U.)	Resist. Elétrica	Tensiômetro (Milibars)	Estufa (% U.)	Resist. Elétrica	Tensiômetro (Milibars)	Estufa (% U.)	Resist. Elétrica	Tensiômetro (Milibars)	Estufa (% U.)
25.02.72	48	468	12,16	94	144	13,36	44	-	-	42	-	-
26	36	626	-	90	212	-	42	-	-	40	-	10,72
27	28	-	11,14	78	250	10,94	40	-	-	38	-	-
28	20	-	9,67	70	328	11,70	38	-	-	36	-	10,14
02.03.72	10	-	10,21	84	173	-	32	-	-	34	-	-
03	10	-	-	80	176	-	30	-	-	34	-	-
04	10	-	-	72	298	-	30	-	9,73	32	-	10,54
05	08	-	-	68	110	-	28	-	-	30	-	-
08	96	-	-	96	30	-	28	-	-	32	-	-
09	96	-	-	96	45	-	34	-	-	36	-	-
10	96	46	-	96	34	-	36	-	10,62	40	-	10,22
11	96	78	-	96	56	-	40	-	11,44	42	-	10,48
13	96	132	-	96	88	-	40	-	-	42	-	-
14	94	168	-	96	108	-	42	-	-	44	-	-
15	92	204	13,14	96	130	14,48	40	-	-	44	-	-
19	96	53	-	96	46	-	80	-	11,64	96	-	-
20	96	66	-	96	57	-	84	176	12,32	96	232	13,13
22	96	84	14,10	96	74	15,62	90	226	10,62	96	234	-
24	96	104	14,70	96	92	15,36	90	230	13,98	96	226	13,98
27	96	32	-	96	33	-	96	142	10,33	96	190	-