

CALOR ESPECÍFICO E DE UMEDECIMENTO DE SOLOS

JOSÉ LUIZ IORIATTI DEMATTÊ

Engenheiro-Agrônomo

Tese apresentada ao Conselho Diretor dos Cursos  
Pós-Graduados da E.S.A. "Luiz de Queiroz", para  
obtenção do título de "Magister Scientiæ "

PIRACICABA

ESTADO DE SÃO PAULO - BRASIL

setembro de 1967

A MEUS PAIS

## AGRADECIMENTO

Ao Professor Dr. Guido Ranzani, Catedrático da Cadeira nº 13, Solos e Agrotecnia, da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", pela orientação geral;

aos Drs. Klaus Reichardt e Octavio Freire , pelas valiosas sugestões apresentadas;

ao Dr. Humberto de Campos, pela orientação estatística;

aos demais colegas da Cadeira nº 13, pelo apêio recebido;

a todos que nos auxiliaram na composição dactilográfica.

Desejamos, ainda, estender os nossos agradecimentos ao Conselho Nacional de Pesquisas, pelo auxílio recebido.

## CONTEÚDO

	Página
1 - <u>INTRODUÇÃO</u> . . . . .	1
2 - <u>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</u> . . . . .	3
2.1 - <u>Calor específico do solo</u> . . . . .	3
2.2 - <u>Calor de umedecimento do solo</u> . . . . .	6
3 - <u>MATERIAL E MÉTODOS</u> . . . . .	11
3.1 - <u>Material</u> . . . . .	11
3.1.1 - Solos . . . . .	11
3.1.2 - Aparelhos utilizados . . . . .	11
3.2 - <u>Métodos</u> . . . . .	15
3.2.1 - Delineamento experimental . . . . .	15
3.2.2 - Amostragem do solo . . . . .	17
3.2.3 - Determinação do calor de umedecimento do solo . . . . .	17
3.2.4 - Determinação do calor específico do solo . . . . .	19
3.2.5 - Determinação da temperatura do calo- rímetero ( $T_i$ ), de equilíbrio ( $T_f$ ) e do solo ( $T_s$ ) . . . . .	20
4 - <u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u> . . . . .	23
4.1 - <u>Calor específico do solo</u> . . . . .	23
4.1.1 - Variação do calor específico de acôr do com a natureza do solo . . . . .	23
4.1.2 - Variação do calor específico de acôr do com a classe textural do solo . . . . .	29

	Página
4.2 - <u>Calor de umedecimento do solo</u> . . . . .	32
4.2.1 - Variação do calor de umedecimento de acôrdo com a natureza do solo. . .	32
4.2.2 - Variação do calor de umedecimento de acôrdo com a textura do solo . . .	36
4.2.3 - Estudos de algumas correlações.	39
5 - <u>CONCLUSÕES.</u> . . . . .	42
6 - <u>RESUMO.</u> . . . . .	44
7 - <u>BIBLIOGRAFIA CITADA</u> . . . . .	46

## 1 - INTRODUÇÃO

A temperatura do solo é um dos principais fatores que controla o desenvolvimento e a distribuição dos vegetais nas diversas regiões do globo terrestre. Os efeitos biológicos da temperatura se tornam evidentes quando consideramos que toda forma de vida, com sede no solo, dela depende. Assim a germinação da semente, o crescimento e o desenvolvimento dos vegetais, a absorção de nutrientes pelas plantas e a multiplicação das formas microbianas dependem, em grande parte, das condições térmicas apresentadas pelo solo.

Existem inúmeros trabalhos destinados ao estudo da influência da temperatura do solo sobre os vegetais nele cultivados, contudo entre nós pouco tem sido feito nesse sentido. Reconhecendo a necessidade de obtenção de dados sobre o comportamento de propriedades térmicas de solos brasileiros, foi realizado este trabalho com o intuito de oferecer uma contribuição ao estudo de duas propriedades térmicas; o calor específico e o de umedecimento, em solos da região de Piracicaba.

Foram utilizadas amostras dos horizontes de perfis modais de solos previamente escolhidos que ocorrem nesta região. Para cada amostra, foram determinados os valores do calor específico e de umedecimento, visando os seguintes pontos:

- a - variação dos valores de calor específico e de umedecimento com a natureza do solo;

- b - variações destas duas propriedades térmicas com a classe textural do solo;
- c - correlações entre o calor de umedecimento e dupla troca catiônica, teores trocáveis de cálcio e magnésio, assim como conteúdo de matéria orgânica.

## 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 - Calor específico do solo

O estudo desta propriedade térmica foi iniciado no século passado, sendo Lang e Pfaundler (MITSCHERLICH, 13) os seus principais precursores. As contribuições de Lang e Ulrich (BAVER, 4), sobre o calor específico dos materiais componentes do solo, têm sido muito utilizadas pelos investigadores neste campo da Ciência do Solo. Estes autores observaram que, dentre os constituintes do solo, o quartzo em grãos grossos apresenta um baixo valor do calor específico ( 0,198 cal/g<sup>o</sup>C ) enquanto que o valor mais alto, com exceção da água, é apresentado pelo húmus (0,477 cal/g<sup>o</sup>C).

Ainda no século passado Lang, segundo citação de BAVER (4), verificou que é possível calcular a capacidade calorífica e o calor específico de um solo a partir de seus constituintes, somando-se as capacidades caloríficas destes vários constituintes.

MITSCHERLICH (13), trabalhando com amostras de solos de textura variável, desde os arenosos até os argilosos, encontrou os seguintes valores para o calor específico: 0,13 a 0,27 cal/g<sup>o</sup>C respectivamente.

Liebenberg já observara que se deveria relacionar o calor específico das partículas sólidas do solo com o volume de sólidos por razões puramente de fisiologia vegetal. Mas somente Lang (MITSCHERLICH, 13) fez estas conversões me-

diante o emprêgo da massa específica dos respectivos constituintes do solo. Os resultados obtidos por êste autor foram os seguintes:

areia silicatada	
areia carbonatada	0,582
argila	0,576
turfa	0,601

Por sua vez Ulrich (DOROFEEFF, 9), determinando o calor específico dos constituintes do solo, obteve resultados por unidade de volume um pouco menores do que os obtidos por Lang, como se pode apreciar pelos dados seguintes:

areia silicatada	
argila	0,553
húmus	0,558

BOUYOUCCO (6) mostrou que a classe textural argila apresenta valores maiores para o calor específico (0,206 cal/g<sup>o</sup>C) que a classe areia (0,193 cal/g<sup>o</sup>C).

Por sua vez PATTEN (15), em determinações feitas em solos de textura arenosa e argilosa e solos turfosos, obteve valores para o calor específico que variavam de 0,16 a 0,21 cal/g<sup>o</sup>C. Êstes resultados apresentam uma variação maior em relação aos valores encontrados pelo autor anteriormente citado.

Resultados aproximados a êsses, foram obtidos por Schuhmacher (MITSCHERLICH, 13), encontrando para as classes texturais areia e argila 0,128 e 0,190 cal/g<sup>o</sup>C respectivamente. Valores êsses, mais baixos que os obtidos pelos outros autores.

A influência da composição mineralógica dos solos sôbre o valor do calor específico foi também estudada por KERSTEN (12). Êste autor inicialmente trabalhou com solos de textura grosseira encontrando uma variação entre 0,197 e 0,188 cal/g<sup>o</sup>C. Por outro lado, quando tomou fragmentos de minerais de quartzo e feldspato, moeu-os e determinou o calor específico; a variação encontrada foi da ordem de 0,193 a 0,189 cal/g<sup>o</sup>C, dados êstes que não diferiram dos encontrados nos solos de textura grosseira. Êste mesmo autor conduziu experimentos para verificar a influência da temperatura nos valores de calor específico do solo. Observou que houve uma variação entre 0,19 a 0,16 cal/g<sup>o</sup>C no valor do calor específico em uma faixa de temperatura entre 60<sup>o</sup> a -17<sup>o</sup>C, ou seja, uma pequena variação no valor do calor específico de 0,03 cal/g<sup>o</sup>C em todo êsse intervalo de temperatura

O efeito do conteúdo de umidade do solo sôbre o valor do calor específico foi também demonstrado por Kersten trabalhando com a série Graded Ottawa Sand. Inicialmente determinou o valor do calor específico no solo sêco a estufa (105-110<sup>o</sup>C), encontrando 0,161 cal/g<sup>o</sup>C. Logo após fêz a mesma determinação mas com o solo contendo 10,2% de umidade, encontrando um valor de 0,239 cal/g<sup>o</sup>C. Demonstrou então que

o calor específico "c" de um solo cujo conteúdo de umidade é "u" (expresso em % de peso seco), pode ser determinado pela seguinte equação:

$$\frac{(100 \cdot c) + c}{100+u} \quad \text{onde } c = \text{calor específico do solo seco}$$

BOWERS e HANKS (7) trabalhando com um calorímetro de radiação, encontraram os seguintes valores para o calor específico: "Derby loamy sand" 0,21 cal/g°C, "Solomon clay" 0,27 cal/g°C, "Sutphen silty clay" 0,26 cal/g°C e "Sarpy fine sandy loam" 0,22 cal/g°C.

REICHARDT et al. (23) trabalhando com amostras superficiais de solos de regiões subtropicais, obtiveram para diversos solos, dados variando de 0,20 ± 0,01 cal/g°C para o calor específico médio (intervalo de 20° a 100°C), sendo de 0,18 cal/g°C o valor encontrado para a areia.

Como se pode observar, há grande disparidade entre os resultados obtidos em determinações de calor específico. Possivelmente essas diferenças sejam devidas à variação na composição do material coloidal do solo e aos diferentes métodos de análises empregados.

## 2.2 - Calor de umedecimento do solo

O fato de que há despreendimento de calor quando o solo é colocado em contato com a água e outros líquidos,

tem sido constatado desde longa data.

MITSCHERLICH (13), em 1905, foi o primeiro pesquisador a realizar um estudo detalhado sobre esta propriedade térmica do solo, denominada calor de umedecimento. Esse autor utilizou solos de textura fina e grosseira fazendo variar o conteúdo de água. Verificou que, o calor de umedecimento decresce de acordo com o aumento do teor de umidade natural do solo e que, a classe textural argila apresenta valores mais elevados em seu calor de umedecimento do que a classe mais grosseira. Observou ainda, que esta propriedade térmica é uma função da quantidade e da natureza do material coloidal do solo.

ANDERSON (1), separou o material coloidal inorgânico de diversos solos e determinou o calor de umedecimento desse material e do solo. Os resultados obtidos por esse autor são apresentados a seguir:

Série	Material(*) coloidal	Solo(**)
Cecil clay loam soil	4,5	1,6
Chester loam soil	7,2	1,1
Marshal loam soil	14,2	4,3
Sharkey clay soil	16,3	9,6

(\*) cal/g

Estes resultados indicam que o calor de umedecimento do material coloidal e dos solos variam consideravelmente e que o despreendimento de calor é devido principalmente ao material coloidal, fato este, também observado por BOUYOUCOS (6).

KAPP (11) demonstrou que o calor de umedecimento varia inversamente com o tamanho das partículas sólidas do solo. Esse autor mostrou que as partículas de quartzo maiores do que 0,005 mm não libertam calor ao serem umedecidas, enquanto as frações de quartzo com diâmetros menores, despreendem uma pequena quantidade de calor se comparado com as partículas de argila.

REICHARDT et al. (23), trabalhando em solos subtropicais observaram que o calor de umedecimento não pode ser tomado como uma constante, sendo seu valor uma função da textura do solo. A variação encontrada por esses autores foi de 2,12 a 1,17 cal/g, sendo nulo o valor para a areia.

PATE (14) obteve uma boa correlação entre o calor de umedecimento e a composição química do solo, indicada pela relação  $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ . Quanto maior o valor desta relação, maior o valor do calor de umedecimento, fato aliás comprovado também por Gile (WADSWORTH, 24) e ANDERSON (2).

Estudos de GRIM (10) demonstraram que o valor do calor de umedecimento em minerais de argila do grupo da montmorilonita é cerca de 15 vezes mais elevado que o valor para o grupo da caolinita. A illita por sua vez apresenta valor de

calor de umedecimento intermediário.

PURI (17) verificou que os solos ricos em catiônios monovalentes apresentavam menores valores para o calor de umedecimento do que os ricos em catiônios bivalentes. Esta conclusão também foi confirmada por PATE (14) , ANDERSON (2), RAZOUK et al. (22) e Janert (GRIM, 10). Para este último autor, o calor de umedecimento nos solos decresce de acordo com a sequência catiônica:  $Ca^{++} > Mg^{++} > H^+ > Na^+ > K^+$ .

Por sua vez ANDERSON (2) obteve a seguinte sequência catiônica de **diminuição** do calor de umedecimento:  $Ca^{++} > Mg^{++} > Na^+ > H^+ > K^+$  que concorda também com Alten e Kurmies (RAZOUK et al., 22).

BERNEL e FOWLER (5) estabeleceram que esta propriedade térmica decresce de acordo com o aumento do grau de hidratação do catiônio do solo, na seguinte sequência :  
que o aumento do teor de argila tem um efeito mais pronunciado que o de limo no valor do calor de umedecimento.

ANDERSON e MATTSO (3) e Baver (GRIM, 10) trabalhando com diferentes solos encontraram correlação entre a dupla troca catiônica e o calor de umedecimento. Solos contendo argilas montmoriloníticas que lhe conferem elevada capacidade de dupla troca catiônica, apresentaram valores altos para o calor de umedecimento, ao passo que solos

contendo argilas caolinítas, com baixa capacidade de dupla troca catiônica, apresentaram valores mais baixos para o calor de umedecimento. A correlação foi também encontrada em solos contendo misturas destes dois grupos de argila.

Um exame da bibliografia mostra que existem duas fases distintas no estudo do calor de umedecimento do solo: na primeira fase, os pesquisadores dão como fontes principais do calor de umedecimento o teor e a natureza do material coloidal do solo; na segunda fase, além destas fontes levam em consideração ainda a quantidade e a natureza dos cationios adsorvidos aos colóides do solo.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização d'êste experimento foram utilizados os materiais e os métodos adiante relatados: -

#### 3.1 - Material

##### 3.1.1 - Solos

As amostras de solo, provêm de quatro unidades taxonômicas distintas, largamente distribuídas na região de Piracicaba. Estas unidades pertencem aos seguintes grandes grupos: Latosol Roxo, Podzólico Vermelho Amarelo - variação Laras, Podzol Hidromórfico e Mediterrânico Vermelho Amarelo (COMISSÃO DE SOLOS, 8). No levantamento detalhado dos solos do Município de Piracicaba, estas unidades foram representadas pelas seguintes séries: Iracema, Quebra Dente, Formigueiro e Bairrinho. Foram coletadas amostras de cada horizonte dos perfis representativos destas séries, nos mesmos locais em que foram descritas e amostradas por FANZANI et al. (20, 21). Escolheram-se êstes solos, em virtude de apresentarem características bem diferenciadas quanto à natureza e conteúdo de minerais de argila, de sesquióxidos de ferro e de alumínio, de bases trocáveis e de matéria orgânica.

##### 3.1.2 - Aparêlhos utilizados

###### a - Calorímetro

Utilizou-se um calorímetro de mistura composto de um vaso metálico de superfície polida, com um volume aproximado de 4 litros, disposto no interior de outro vaso maior, de

Quadro 1 - Algumas características físicas dos solos estudados (Segundo RANZANI et al., 20,21)

Série	Hori- zonte	Profundidade (cm)	Composição mecânica %			Classe textural	Da g/cm <sup>3</sup>
			areia	limo	argila		
Bairrinho	Ap	0-25	27,1	48,2	24,7	barro	1,6
"	A3/B1	25-60	17,8	32,5	49,7	argila	1,6
"	B2	60-100	15,6	34,7	49,7	argila	1,6
"	B3/C	100-135	15,4	37,5	47,1	argila	1,5
Iracema	Ap	0-25	21,64	10,86	67,50	argila	1,4
"	A3/B1	25-75	21,63	12,42	65,95	argila	1,3
"	B2	75-120	21,29	11,96	66,75	argila	1,3
"	B3/C	120-220	20,82	13,68	65,50	argila	1,2
Quebra Dente	Ap	0-25	76,0	19,1	4,9	areia	1,6
"	A2	25-85	80,1	15,1	4,8	areia	1,6
"	A3/B1	85-95	65,0	16,2	18,8	barro	1,8
"	B2	95-185	66,4	17,3	16,3	barro	1,8
"	B3/C	185-255	64,6	16,9	18,5	barro	1,8
Formigueiro	Ap	0-25	74,0	12,1	13,9	barro	1,4
"	A2g	25-40	68,1	12,2	19,7	barro	1,6
"	A3/B1g	40-70	59,9	13,8	26,3	barro	1,5
"	B2h	70-120	54,9	7,1	38,0	argila	1,5
"	B3/Cg	120-140	72,1	12,8	15,1	barro	1,6

Quadro 2 - Características químicas dos solos estudados (Segundo RANZANI et al., 20,21)

Série	Horizonte	pH água 1:1	g/100 de terra			e.mg/100g terra					T devido a argila	V%
			C	Mat. org.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> livre	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	H <sup>+</sup>	T		
Bairrinho	Ap	6,0	1,52	2,16	2,20	8,87	1,60	0,26	1,21	11,94	33,86	89,9
"	A3/B1	6,1	0,73	1,25	2,00	11,12	1,78	0,11	1,43	14,44	25,03	90,1
"	B2	6,0	0,55	0,94	3,00	10,54	1,79	0,11	1,96	15,40	28,73	86,4
"	B3/C	6,1	0,37	0,63	3,90	9,42	1,46	0,09	1,36	12,33	25,62	89,0
Tracema	Ap	5,1	1,37	2,35	21,06	1,70	0,20	0,03	6,56	8,69	8,39	23,0
"	A3/B1	5,0	1,21	2,08	20,88	0,90	0,10	0,02	7,20	8,26	9,09	12,8
"	B2	4,8	1,09	1,87	20,02	0,40	0,00	0,04	6,36	6,93	6,82	8,2
"	B3/C	5,1	0,82	1,41	21,42	0,20	0,00	0,03	4,68	5,04	5,03	7,1
Quebra Dente	Ap	5,3	0,33	1,68	0,60	2,91	0,38	0,14	2,45	5,88	5,86	58,3
"	A2	5,8	0,14	0,24	0,50	0,93	0,13	0,08	1,04	2,18	3,95	52,3
"	A3/B1	6,4	0,17	0,29	0,50	1,66	0,27	0,08	1,25	3,26	14,64	61,7
"	B2	6,0	0,20	0,34	1,30	1,31	0,13	0,07	1,69	3,20	16,80	47,2
"	B3/C	5,1	0,12	0,20	1,30	0,79	0,23	0,07	1,69	2,78	13,83	39,4
Formigueiro	Ap	4,4	1,11	1,91	0,90	0,74	0,08	0,05	1,57	2,44	4,08	35,7
"	A2g	4,5	0,95	1,63	1,40	0,82	0,03	0,05	1,69	2,59	5,21	54,8
"	A3/B1g	4,4	0,95	1,63	1,30	0,88	0,02	0,06	2,96	3,92	9,16	24,5
"	B2h	4,4	1,64	2,81	0,70	0,43	0,05	0,03	7,28	7,79	13,35	6,5
"	B3/Cg	4,5	0,61	1,05	0,80	0,13	0,15	0,04	1,13	2,15	7,70	14,9

paredes duplas, entre as quais foi mantida uma camada de água, de 4 cm de espessura em temperatura aproximadamente igual à do calorímetro.

O calorímetro possui uma tampa apropriada, cuja face interna é metálica e polida e a externa, de madeira revestida com feltro. Através de aberturas existentes nessa tampa passam um termômetro Fuess com precisão de  $0,01^{\circ}\text{C}$  e a haste de um agitador mecânico. O vaso calorimétrico se apoia em cones de cortiça. O calorímetro é assim construído para impedir, na medida do possível, trocas de calor com o ambiente. A sua capacidade calorífica quando carregado com 3 litros de água foi de  $102 \text{ cal}/^{\circ}\text{C}$  (REICHARDT, 23).

b - Câmara para aquecimento de amostras de solo

A fim de aquecer as amostras de solos para a determinação de seu calor específico, utilizou-se um banho-maria cilíndrico de alumínio, com 30 cm de altura e 38 cm de diâmetro. A tampa desse recipiente possui cinco orifícios de 7,8 cm de diâmetro onde se alojam os cilindros metálicos destinados a receber as amostras de terra. Na parte central desta tampa há ainda um suporte contendo uma resistência elétrica para aquecimento do banho e um orifício para saída do vapor d'água (REICHARDT et al., 23).

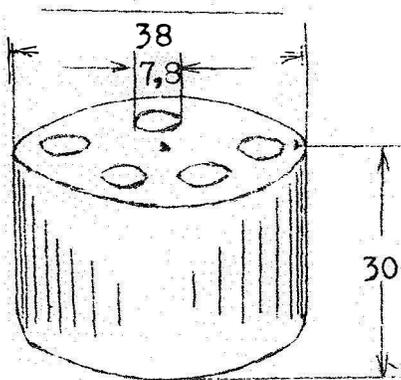


Fig. nº 1

c - Recipientes para as amostras do solo

As amostras foram colocadas entre dois recipientes concêntricos de forma cilíndrica, de alumínio, apresentando 7,5 cm de diâmetro, 2,5 de diâmetro interno, por 25 cm de altura (REICHARDT et al., 23).

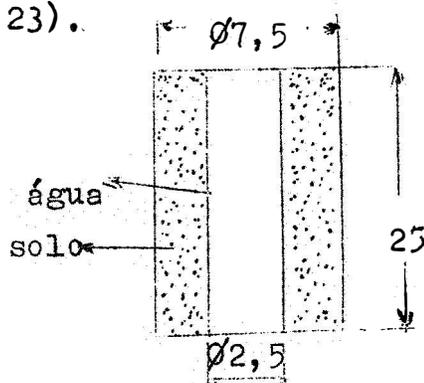


Fig. nº 2

d - Banho de temperatura controlável

Empregou-se um tanque de temperatura controlável da "Fischer Scientific, Chicago, U.S.A.", que consta de uma caixa metálica de 10 x 45 x 30 cm, com capacidade para 12 amostras de terra em cada determinação. Esse tanque é dotado de um sistema de circulação forçada para a água e de um termostato. As leituras das temperaturas foram feitas com o auxílio de um termômetro Fuess com precisão de 0,01°C.

### 3.2 - Método

#### 3.2.1 - Delineamento experimental

As determinações do calor específico e de umedecimento foram feitas com cinco repetições e os resultados analisados estatisticamente, segundo delineamentos inteiramente casualizados.

#### a - Análise da variância

Inicialmente, foram feitas duas análises da variância, uma para o calor específico e outra para o calor de umedecimento, com o objetivo de comparar as variações destas duas propriedades térmicas entre solos, horizontes de um mesmo solo e entre os horizontes de mesma natureza em solos diferentes. Neste delineamento não foram incluídos os horizontes A<sub>2</sub> pertencentes às séries Formigueiro e Quebra Dente.

Os valores de calor específico e de umedecimento, das séries apresentando horizonte A<sub>2</sub>, foram analisados através de dois delineamentos inteiramente casualizados. As variações estudadas foram idênticas às acima referidas.

A variação das propriedades térmicas, das várias classes texturais, foi estudada através dos mesmos modelos estatísticos. As classes texturais utilizadas são generalizadas: areia, limo e argila (RANZANI, 18).

As comparações de médias foram efetuadas pelo teste de Tukey. Os limites de F, na análise da variância, significativos aos níveis de 5% e 1% de probabilidade, estão representados por um e dois asterísticos, respectivamente (PIMENTEL GOMES, 16).

#### b - Correlações

Para o calor de umedecimento, além das análises acima citadas, foram efetuadas algumas análises de correlação entre esta propriedade térmica e capacidade de dupla troca catiônica, teor de cálcio e de magnésio trocáveis e teor de matéria orgânica. A significância do coeficiente de correlação "r"

foi indicada utilizando-se o teste "t" com N-2 graus de liberdade (PIMENTEL GOMES, 16).

### 3.2.2 - Amostragem do solo

As amostras foram obtidas seguindo-se as recomendações usuais. Em cada unidade taxônomica, após a exposição do perfil e identificação dos horizontes, foram coletados 10 kg de terra. Foram escolhidos os seguintes horizontes:  $A_p$ ,  $A_2$ ,  $A_3/B_1$ , B e  $B_3/C$  para as séries Quebra Dente e Formigueiro e,  $A_p$ ,  $A_3/B_1$ ,  $B_2$  e  $B_3/C$  para as séries Bairrinho e Iracema. As amostras de solo foram preparadas no laboratório de acordo com as recomendações de RANZANI e KIEHL (20).

### 3.2.3 - Determinação do calor de umedecimento do solo

A determinação do calor de umedecimento de um solo, representado pela quantidade de calor libertada por unidade de massa, durante o processo de umedecimento total, foi efetuada baseando-se principalmente nos trabalhos de KERSTEN (12).

As amostras de terra foram secadas em estufa a  $105-110^{\circ}\text{C}$  até peso constante e resfriadas em dessecador. Subamostras de 450-500g foram colocadas em recipientes de alumínio, vedados com parafina e mantidos imersos no tanque de temperatura controlada durante 16 h, para que o solo atingisse equilíbrio térmico. Cerca de 3.000g de água foram colocadas no calorímetro a uma temperatura tão próxima quanto possível daquela das amostras de terra. As leituras de temperatura no calorímetro foram registradas de minuto em minuto durante os pri

meiros 11 minutos. Neste intervalo de tempo geralmente ocorre uma variação constante e contínua da temperatura, devida a trocas de calor entre o ambiente e o calorímetro, em virtude deste último ser apenas teoricamente adiabático.

As amostras foram retiradas do tanque de temperatura controlável e colocadas no calorímetro exatamente no 12<sup>o</sup> minuto. As leituras de temperatura continuaram a ser feitas de minuto em minuto até o 25<sup>o</sup> minuto, tempo considerado suficiente para que fôsse atingido o equilíbrio térmico entre o calorímetro e o solo. Depois do 25<sup>o</sup> minuto, as leituras foram tomadas de cinco em cinco minutos até o 45<sup>o</sup> ou 60<sup>o</sup> minuto. Neste último período verificou-se uma variação constante e contínua da temperatura, em consequência das trocas de calor entre o calorímetro e o meio (REICHARDT, 24).

O calor de umedecimento foi calculado da seguinte maneira:

$$Q_u = \frac{(m_a + E) (T_f - T_i)}{m_s} - c \cdot (T_s - T_i) \dots \dots \dots (1)$$

onde:

$Q_u$  = calor de umedecimento do solo, em cal/g

$m_a$  = massa de água, em g

$E$  = equivalente em água do calorímetro, em cal/°C

$m_s$  = massa do solo, em g

$T_f$  = temperatura de equilíbrio, em °C

$T_i$  = temperatura do calorímetro, em °C

$T_s$  = temperatura do solo, em °C

$c$  = calor específico do solo, em cal/g°C.

A utilização da equação (1) apresenta uma dificuldade, qual seja a de ser necessário conhecer o calor específico  $c$  do solo. Todavia as técnicas calorimétricas para estas determinações implicam em que:

$$\frac{(m_a + E) (T_f - T_i)}{m_s} \gg c \cdot (T_s - T_i)$$

Este fato nos permite resolver a equação (1) substituindo o valor  $c$  por 0,2 cal/g°C, como demonstrado por REICHARDT et al. (23). Acresce notar ainda, como salientam êsses autores que os erros introduzidos com esta substituição são muito menores do que os erros experimentais e, nestas condições, a seguinte equação foi utilizada para o cálculo do calor de umedecimento:

$$Q_u = \frac{(m_a + E) (T_f - T_i)}{m_s}$$

#### 3.2.4 - Determinação do calor específico do solo

A determinação do calor específico de um solo representado numéricamente pela quantidade de calor que, conferida a uma certa quantidade de massa unitária da substância, determina uma elevação unitária de temperatura, foi feita como recomenda KERSTEN (12). Sendo o calor específico uma função da temperatura, deve-se notar neste trabalho, que o processo de medida desta propriedade dá apenas um valor médio, no intervalo de temperatura de  $T_f$  a  $T_i$ .

Amostras de 450-500g de terra são levadas à estufa a 105-110°C até peso constante, colocadas em recipientes cilíndricos de alumínio e colocadas no banho-maria, com água

em ebulição durante 6 h. tempo suficiente para o solo atingir o equilíbrio térmico (REICHARDT et al., 23). São colocadas 3.000g de água no calorímetro, seguindo-se daí por diante, a mesma marcha adotada para a determinação do calor de umedecimento.

O calor específico do solo pode ser determinado da seguinte maneira:

$$c = \frac{(m_a + E) (T_f - T_i)}{m_s (T_s - T_f)} - \frac{Q_u}{T_s - T_f} \dots\dots (3)$$

A equação (3) permite calcular o calor específico médio do solo devidamente corrigido levando-se em conta a influência do seu calor de umedecimento.

### 3.2.5 - Determinação da temperatura ( $T_i$ ) do calorímetro, da temperatura ( $T_f$ ) de equilíbrio e da temperatura ( $T_s$ ) do solo

Para a determinação das duas primeiras temperaturas,  $T_i$  e  $T_f$ , foi empregado o método gráfico, idealizado por KERSTEN (12). No eixo das abcissas, representou-se o tempo ( $t$ ) referido em minuto e em ordenadas, a temperatura ( $T$ ) em graus centígrados. As leituras das temperaturas e dos tempos, antes e depois de colocar cada amostra de terra no calorímetro, foram transportadas para um gráfico, semelhante ao apresentado na figura 3. Para a determinação da temperatura do calorímetro e temperatura de equilíbrio, foi escolhido o valor ( $t$ ) correspondente ao 13º minuto, o qual representa aproximadamente 60% da variação térmica total. Por êsse ponto, traçou-se uma

linha paralela ao eixo das temperaturas. Prolongando-se a reta definida pelo 11º minuto até encontrar a reta do 13º minuto, ter-se-á, na intersecção, o ponto que corresponde à temperatura ( $T_i$ ) do calorímetro.

A temperatura de equilíbrio ( $T_f$ ) é também determinada pela intersecção das duas retas: a do 13º minuto com aquela definida pelos 30º e 50º minutos.

Para o cálculo do calor específico, além das temperaturas ( $T_i$ ) e ( $T_f$ ), há necessidade do conhecimento da temperatura ( $T_s$ ) do solo ou seja, a temperatura de ebulição da água. O valor médio encontrado para esta temperatura, no intervalo de 710 mm Hg ( $98,106^\circ\text{C}$ ) e 720 mm Hg ( $98,493^\circ\text{C}$ ) foi de  $98,3^\circ\text{C}$ .

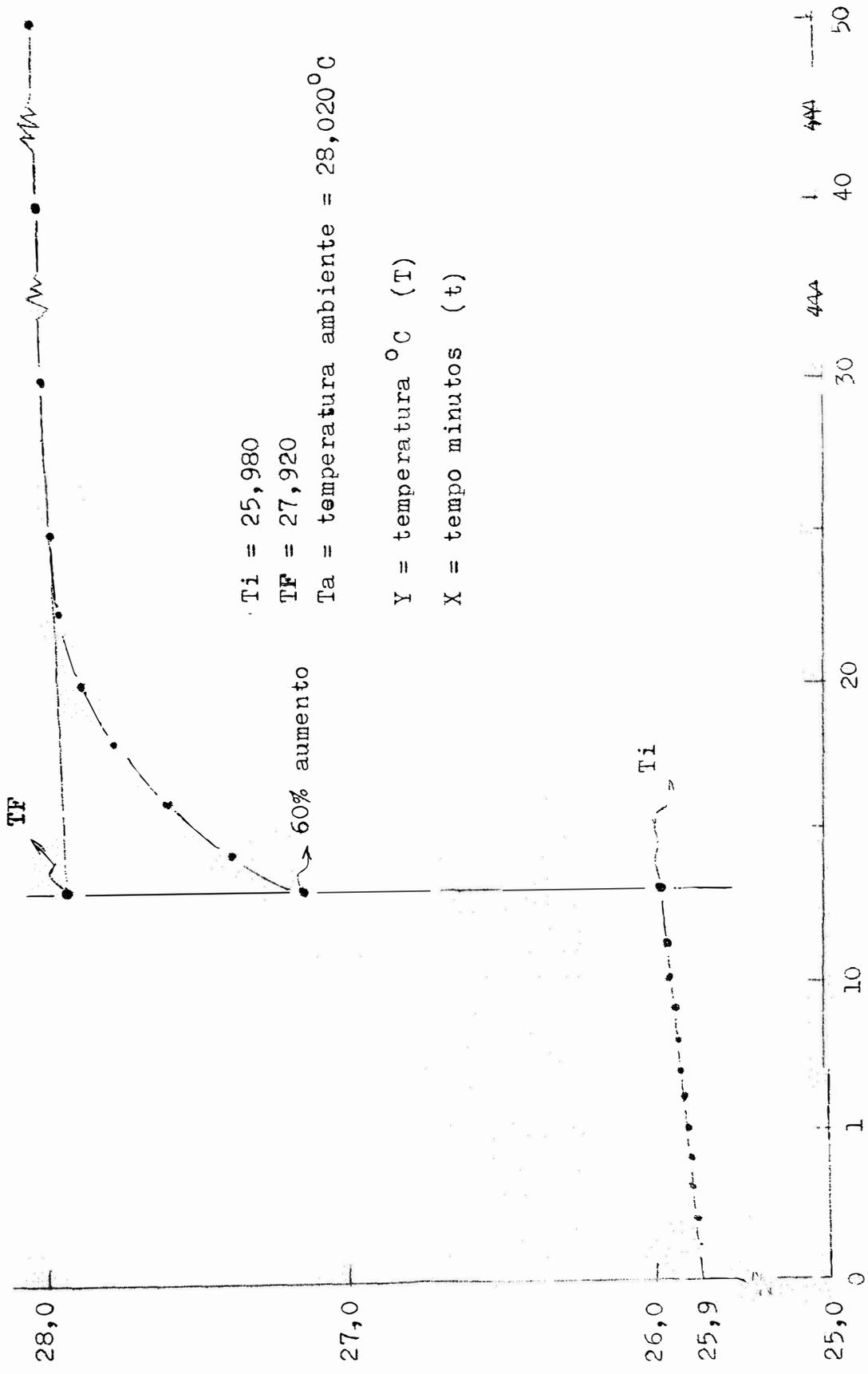


Fig. 3 - Determinação da temperatura do calorímetro ( $T_i$ ) e da temperatura de equilíbrio ( $T_f$ ).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

##### 4.1 - Calor específico do solo

##### 4.1.1 - Variação do calor específico de acôrdo com a natureza do solo

Os dados analíticos referentes ao calor específico dos solos estudados, encontram-se no Quadro 3.

Quadro 3 - Valores do calor específico em amostras dos horizontes das séries: Bairrinho, Iracema, Quebra Dente e Formigueiro.

Séries de solos	Horizontes	Calor específico (cal/g <sup>o</sup> C)					
		1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	médias (m)
Bairrinho	Ap	0,187	0,182	0,149	0,180	0,183	0,1762
"	A <sub>3</sub> /B <sub>1</sub>	0,172	0,185	0,180	0,188	0,180	0,1810
"	B <sub>2</sub>	0,207	0,189	0,212	0,204	0,221	0,2066
"	B <sub>3</sub> /C	0,188	0,183	0,194	0,198	0,188	0,1902
Iracema	Ap	0,175	0,180	0,171	0,162	0,177	0,1730
"	A <sub>3</sub> /B <sub>1</sub>	0,177	0,174	0,168	0,182	0,171	0,1744
"	B <sub>2</sub>	0,175	0,168	0,176	0,174	0,178	0,1742
"	B <sub>3</sub> /C	0,166	0,138	0,171	0,172	0,172	0,1638
Quebra Dente	Ap	0,146	0,159	0,144	0,141	0,148	0,1476
"	A <sub>2</sub>	0,149	0,152	0,141	0,143	0,155	0,1480
"	A <sub>3</sub> /B <sub>1</sub>	0,155	0,157	0,168	0,162	0,170	0,1624
"	B <sub>2</sub>	0,166	0,155	0,165	0,164	0,156	0,1612
"	B <sub>3</sub> /C	0,167	0,154	0,162	0,166	0,103	0,1504
Formigueiro	Ap	0,178	0,177	0,169	0,171	0,150	0,1690
"	A <sub>2g</sub>	0,166	0,172	0,173	0,146	0,160	0,1624
"	A <sub>3</sub> /B <sub>1g</sub>	0,156	0,176	0,171	0,173	0,174	0,1700
"	B <sub>2h</sub>	0,166	0,168	0,164	0,175	0,175	0,1696
"	B <sub>3</sub> /C <sub>g</sub>	0,175	0,169	0,164	0,170	0,168	0,1692

Os resultados do calor específico nos horizontes ( $A_p$ ,  $A_2$  e  $A_3/B_1$ ) variam de 0,1810 a 0,1476 cal/g<sup>o</sup>C, apresentando os horizontes da série Bairrinho, os resultados mais elevados, seguidos pelas séries Iracema, Formigueiro e Quebra Dente. Os horizontes B ( $B_2$  e  $B_3$ ) apresentaram variações do calor específico desde 0,2066 a 0,1504 cal/g<sup>o</sup>C, sendo que os horizontes da série Bairrinho, também neste caso, apresentaram os valores mais altos. A série Iracema colocou-se em segundo lugar seguida pelos valores das séries Formigueiro e Quebra Dente (Quadro 3).

Uma distribuição da variação do calor específico nos diversos perfis de solo pode ser vista na figura 4. Observa-se que os resultados mais elevados de calor específico foram apresentados pelas séries Bairrinho e Iracema e os mais baixos, pelas séries Formigueiro e Quebra Dente. Esta propriedade térmica do solo normalmente apresenta os menores valores nos horizontes superficiais, aumentando com a profundidade e atingindo um máximo no horizonte  $A_3/B_1$  ou no  $B_2$ , para decrescer logo em seguida.

Confrontando-se os teores de argila desses solos, indicados no Quadro 1, verifica-se que o calor específico se liga à quantidade de argila separado do solo, pois o seu teor normalmente cresce com a profundidade, diminuindo logo após o horizonte  $B_2$ . Os teores de argila dos horizontes pertencentes à série Iracema são mais elevados do que aqueles apresentados pelos horizontes da série Bairrinho; mas os resultados de calor específico desta última, são superiores aos da série Iracema (Quadro 3). Este fato nos leva a sugerir que, não apenas a

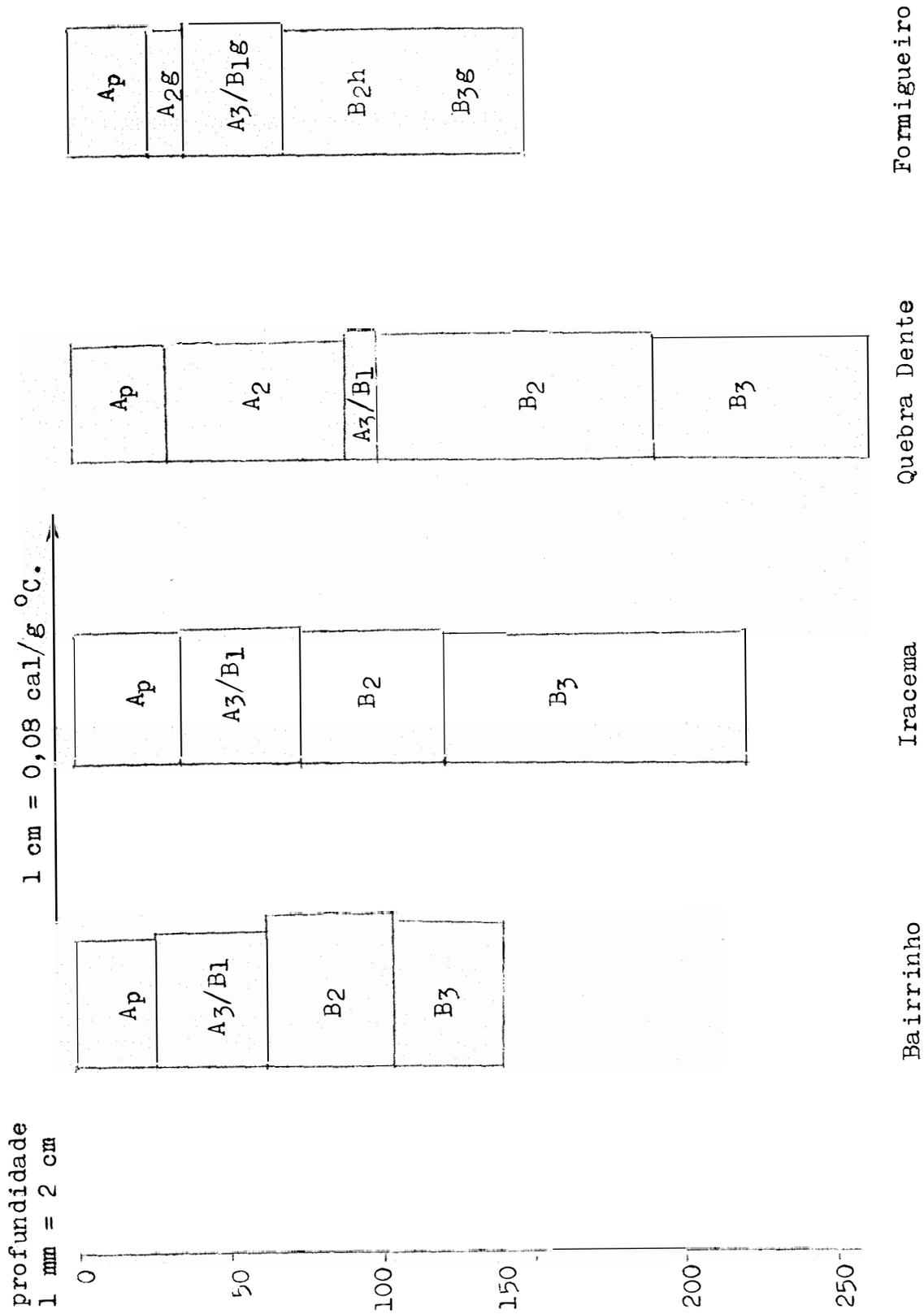


Fig. 4 - Variação do calor específico com a profundidade do solo.

quantidade, mas provavelmente a natureza do material coloidal deva ser considerada, sendo provavelmente, o material coloidal da série Bairrinho muito mais ativo do que o da série Iracema. Se nos basearmos nas sugestões de GRIM (10), para estimar a provável natureza do complexo coloidal inorgânico desses dois solos (Quadro 2), verifica-se que, a capacidade de dupla troca catiônica da argila excede, em todos os horizontes da série Bairrinho o valor de 15 e.mg/100g; é portanto bastante provável a existência de argilas de grade 2:1 nesse solo. Já para a série Iracema, devido aos valores serem inferiores a 15 e.mg/100g, predominam argilas de grade 1:1, que são menos ativas.

Pode-se observar, através do Quadro 4 da análise da variância dos resultados obtidos referentes ao calor específico, que este apresenta uma variação altamente significativa ao nível de 1% de probabilidade, para os diferentes solos e horizontes estudados. A interação solo-horizonte mostrou-se também significativa apenas ao nível de 5% de probabilidade. O Quadro 5 fornece informações sobre os contrastes desta análise da variância. Entre os solos, observam-se contrastes não significativos, entre os dados das séries Iracema e Formigueiro, entre Bairrinho e Iracema e entre Quebra Dente e Formigueiro. Confrontando-se os teores de argila destas séries (Quadro 1), nota-se que ocorre uma grande diferença nesses valores, sendo mais elevados para a série Iracema. Este fato nos leva também a sugerir aqui que, a natureza da fração argila deva ser considerada, sendo mais ativa para as séries Bairrinho e Formigueiro. Trata-se de solos subordinados a processos de gênese dife

rentes e, provavelmente, apresentando fração argila de constituição diferente.

Quadro 4 - Análise da variância dos resultados obtidos referentes ao calor específico

Causa de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Solos	3	0,0110	0,003667	31,61**
Horizontes	3	0,0015	0,000500	4,31**
Interação solo- - horizonte	9	0,0024	0,000267	2,30*
(Tratamento)	(15)	(0,0149)		
Resíduo	64	0,0074	0,000116	
Total	79	0,0223		

No estudo das interações solo-horizonte, foram observados apenas dois contrastes significativos que ocorrem, entre os horizontes do perfil de solo da série Bairrinho. O primeiro contraste ( $\hat{m}_{A_3/B_1} - \hat{m}_{A_p}$ ) poderia ser atribuído à grande diferença que se observa, no conteúdo de argila desses horizontes (Quadro 1); quanto ao segundo ( $\hat{m}_{B_2} - \hat{m}_{A_3/B_1}$ ) contudo, não se poderia explicar com base no teor de argila, pois é semelhante para os dois horizontes. Ainda com base na sugestão de GRIM (10), verifica-se que a dupla troca

Quadro 5 - Médias dos valores do calor específico dos solos, dos horizontes e interação solo-horizonte

Efeito		Solos			
		Bairrinho	Iracema	Quebra Dente	Formigueiro
Isolado		0,1885	0,1714	0,1554	0,1695
D.M.S. (Tukey): 5% 0,016, 1% 0,027					
Efeito		Horizontes			
		Ap	A <sub>3</sub> /B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub> /C
Isolado		0,1665	0,1720	0,1779	0,1684
D.M.S. (Tukey): 5% = 0,016, 1% = 0,027					
Inte- ração		Solos			
		Bairrinho	Iracema	Quebra Dente	Formigueiro
Horizonte	Ap	0,1762	0,1730	0,1476	0,1690
	A <sub>3</sub> /B <sub>1</sub>	0,1810	0,1744	0,1624	0,1700
	B <sub>2</sub>	0,2066	0,1742	0,1612	0,1696
	B <sub>3</sub>	0,1902	0,1638	0,1504	0,1692
D.M.S. (Tukey): 5% = 0,024, 1% = 0,028 C.V. = 6,3%					

catiônica para a fração argila é mais elevada, no horizonte B<sub>2</sub> que no A<sub>3</sub>/B<sub>1</sub>, decorrendo daí uma possível explicação do contraste acima mencionado.

Os demais contrastes significativos da interação solo-horizonte, podem ser relacionados com os teores de argila apresentados pelos horizontes estudados.

A análise da variância dos dados obtidos referentes ao calor específico das séries Quebra Dente e Formigueiro (solos que apresentam horizontes A<sub>2</sub>), é apresentada no Quadro 6. O resultado significativo entre os solos liga-se também ao teor da fração coloidal destes, como indica o Quadro 1.

Devido a inexistência de contrastes significativos entre os horizontes de uma mesma série, com exceção da série Bairrinho, foi possível tomar como valor representativo do calor específico para as séries Quebra Dente, Formigueiro e Iracema, o valor médio dos horizontes que as constituem. Os calores específicos médios destas séries com os respectivos erros padrões da média são:

Série Quebra Dente	: 0,153 ± 0,0022 cal/g <sup>o</sup> C
Série Formigueiro	: 0,161 ± 0,0022 cal/g <sup>o</sup> C
Série Iracema	: 0,172 ± 0,0024 cal/g <sup>o</sup> C

#### 4.1.2 - Variação do calor específico de acordo com a classe textural do solo

É sugerido por diversos autores, entre os

Quadro 6 - Análise da variância dos dados obtidos referentes ao calor específico dos perfis com horizonte A2

Causa de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Solos	1	0,0025	0,002500	20,325**
Horizontes	4	0,0009	0,000225	1,829
Interação solo-horizonte	4	0,0004	0,000100	0,813
(Tratamento)	(9)	0,0038		
Resíduo	40	0,0049	0,0001225	
Total	49	0,0087		

quais PATTEN (15), MITSCHERLICH (13), BOUYOUCOS (6), KERSTEN (12) e REICHARDT et al. (23), que o calor específico varia de acôrdo com a textura do solo. Devido a êste fato os valores desta propriedade térmica dos horizontes das quatro série estudadas, foram reunidos de acôrdo com as classes texturais generalizadas do solo, a saber: areia, barro e argila. No quadro 7 são apresentados os resultados da análise da variância dos dados obtidos. Verifica-se nesta análise que há variação significativa nos valores de calor específico entre a classe textural e dentro da argila e barro.

Quadro 7 - Análise da variância dos dados de calor específico grupados segundo a classe textural generalizada do solc.

Causa de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Classe textural	2	0,009169	0,004584	41,30**
argila	7	0,006454	0,000922	8,31**
barro	7	0,002126	0,000304	2,74**
areia	1	0,000001	0,000001	0,009
(Tratamento)	(17)	(0,017749)	(0,001044)	(9,41**)
Resíduo	72	0,007957	0,000111	
Total	89	0,025706		

A diferença mínima significativa para as classes texturais argila e barro a 5 e 1% de probabilidade foram 0,020 e 0,024 respectivamente. Os contrastes significativos entre e dentro destas classes texturais podem ser atribuídos à variação no conteúdo da fração argila (Quadro 1) e à natureza dos minerais de argila que compõem estas duas frações. Verifica-se ainda, que não há diferença significativa do calor específico dentro da classe textural areia. Isto provavelmente se deva à pequena quantidade de material coloidal apresentado por esta classe textural.

Observa-se através dos Quadros 1 e 3 que as

texturas mais grosseiras apresentam os valores mais baixos de calor específico, enquanto que as mais finas apresentam-no mais altos, resultados êstes concordantes com os obtidos pelos autores acima citados.

#### 4.2 - Calor de umedecimento do solo

##### 4.2.1 - Variação do calor de umedecimento de acôrdo com a natureza do solo.

Os dados analíticos referentes ao calor de umedecimento das séries estudadas encontram-se no Quadro 8.

Os valores do calor de umedecimento nos horizontes A ( $A_p$ ,  $A_2$  e  $A_3/B_1$ ) variam de 0,507 a 4,594 cal/g, apresentando os horizontes da série Bairrinho os resultados mais elevados e os da série Quebra Dente, os mais baixos. Nos horizontes B ( $B_2$  e  $B_3/C$ ) os valores do calor de umedecimento variam de 0,716 a 4,175 cal/g, apresentando os horizontes da série Bairrinho, os dados mais elevados e os da série Quebra Dente os mais baixo (Quadro 8).

A distribuição do calor de umedecimento, nos quatro perfis de solos, pode ser observada através da figura 5. Verifica-se que os resultados desta propriedade térmica normalmente atingem um máximo no horizonte  $A_3/B_1$  ou no  $B_2$ , para decrescer logo em seguida. Confrontando-se os teores de argila dêstes solos (Quadro 1), verifica-se que o calor de umedecimento se liga ao conteúdo de argila, pois êste normal -

Quadro 8 - Valores do calor de umedecimento em amostras dos horizontes das séries: Bairrinho, Iracema, Quebra Dente e Formigueiro

Séries de solos	Horizontes	Calor de umedecimento (cal/g)					
		1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	média (m)
Bairrinho	Ap	3,075	2,912	3,690	3,076	3,070	3,165
"	A3/B1	4,719	4,434	4,740	4,359	4,719	4,594
"	B2	4,229	4,436	3,995	4,216	3,998	4,175
"	B3/C	3,041	3,378	3,800	3,649	3,605	3,495
Iracema	Ap	2,741	2,749	2,602	2,668	2,621	2,676
"	A3/B1	2,664	2,463	2,513	2,491	2,510	2,528
"	B2	2,436	2,889	2,508	2,798	2,931	2,712
"	B3/C	2,741	2,749	2,602	2,668	2,621	2,676
Quebra Dente	Ap	0,796	0,971	0,725	0,800	0,702	0,799
"	A2	0,347	0,543	0,575	0,599	0,389	0,507
"	A3/B1	1,074	1,070	0,931	0,964	0,959	1,000
"	B2	1,246	1,180	1,110	1,253	1,335	1,225
"	B3/C	0,748	0,760	0,767	0,720	0,584	0,716
Formigueiro	Ap	0,719	0,892	0,985	0,700	0,760	0,811
"	A2g	1,090	0,995	1,124	0,839	1,133	1,036
"	A3/B1g	0,969	1,021	1,140	0,838	1,002	0,994
"	B2h	1,216	1,315	1,389	1,201	1,168	1,258
"	B3/Cg	0,882	1,072	1,065	1,159	0,973	1,030

mente aumenta com a profundidade. Resultados semelhantes a estes foram obtidos por MITSCHERLICH (13), ANDERSON (1) e KAPP (11).

Ainda no Quadro 1, observa-se que o conteúdo de argila dos horizontes pertencentes à série Iracema, são mais elevados do que aqueles apresentados pelos horizontes da

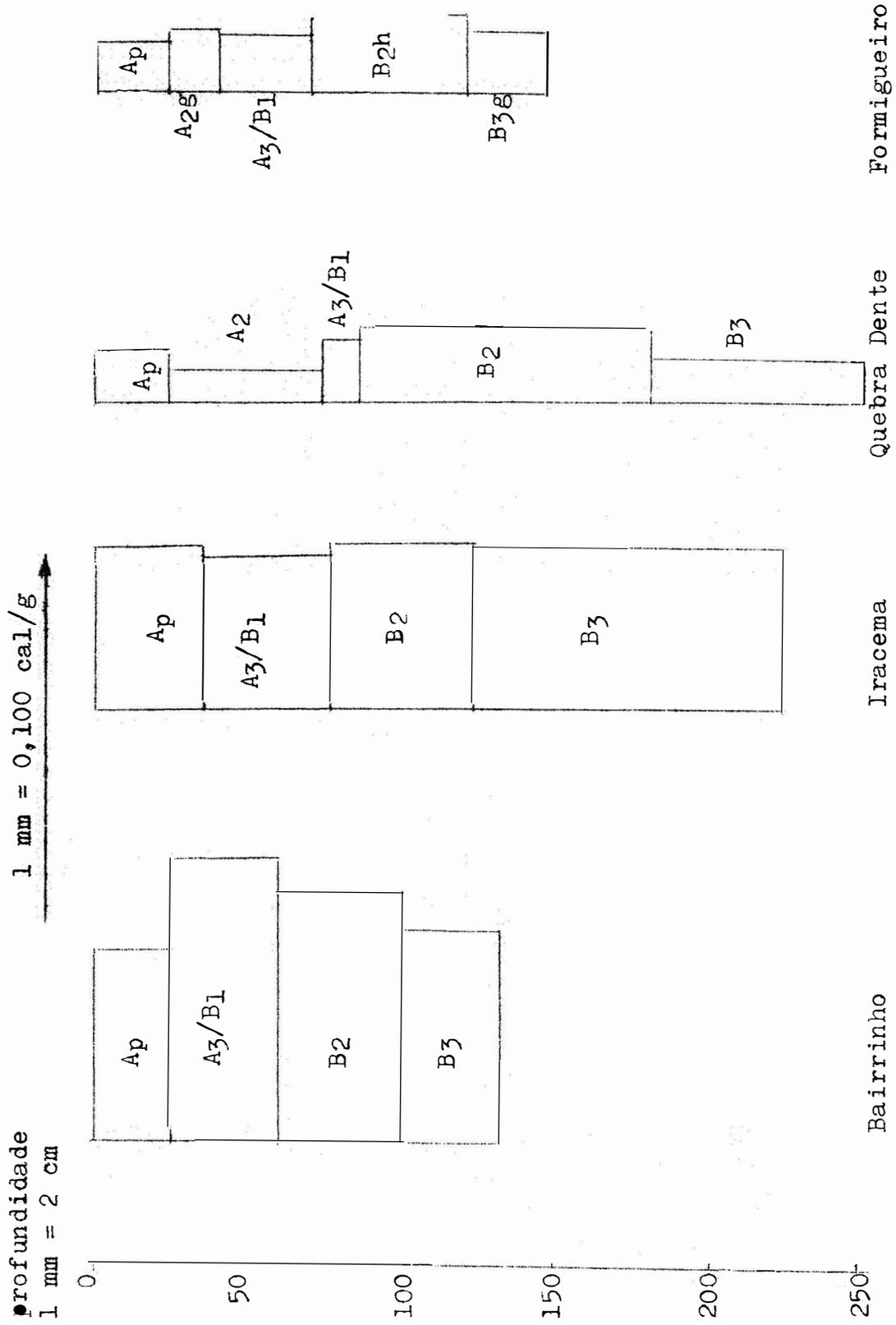


Fig. 5 - Variação do calor de umedecimento com a profundidade do solo.

série Bairrinho; mas os valores de calor de umedecimento desta última série são muito maiores do que os da série Iracema (Quadro 8). Este fato sugere que não apenas a quantidade mas, a natureza do material coloidal, deve ser considerada. A fração argila da série Bairrinho é provavelmente mais ativa do que aquela da série Iracema, como tendem sugerir os resultados de dupla troca catiônica estimados segundo GRIM (10). Estes resultados concordam com os trabalhos realizados por MITSCHERLICH (13), ANDERSON (1) e GRIM (10).

Os resultados da análise da variância referentes ao calor de umedecimento, apresentados no Quadro 9, indicam variações significativas ao nível de 1% de probabilidade para os diferentes solos, horizontes e interações solo-horizonte. Os contrastes desta análise da variância podem ser observados no Quadro 10. Entre os solos, o único contraste não significativo é oferecido pelos resultados das séries Quebra Dente e Formigueiro, e isso se deve ao fato de não serem considerados nesta análise, os valores dos horizontes A<sub>2</sub> e A<sub>2g</sub>. Na análise da variância, apresentada no Quadro 11, estes dois horizontes foram incluídos e o resultado entre solos foi altamente significativo ao nível de 1% de probabilidade.

No estudo das interações (Quadro 10), verificou-se que os valores do calor de umedecimento entre os horizontes da série Iracema não variam significativamente. Este fato pode ser em parte explicado pela não variação acentuada nos teores de argila desses horizontes (Quadro 1). Devido à

Quadro 9 - Análise da variância dos resultados obtidos referentes ao calor de umedecimento

Causa de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Solos	3	118,08	39,3600	1.626,45**
Horizontes	3	3,22	1,0733	44,35**
Interação solo- horizontes	9	4,43	0,4922	20,34**
(Tratamento)	(15)	(125,73)	-	
Resíduo	64	1,55	0,0242	
Total	79	127,28		

inexistência de contrastes significativos entre os horizontes desta série, tomou-se como dado representativo do calor de umedecimento o valor médio:  $2,648 \pm 0,033$  cal/g.

#### 4.2.2 - Variação do calor de umedecimento de acordo com a textura do solo

Muitos autores, entre os quais MITSCHERLICH (13), ANDERSON (1), KAPF (11), KERSTEN (12), RAZOUK et al. (22), verificaram que o calor de umedecimento varia segundo a textura do solo. Devido a este fato, os calores de umedecimento dos horizontes dos solos estudados, foram agrupados de acordo com as classes texturais generalizadas.

O Quadro 12 apresenta os resultados desta análise da variância. Observa-se que há variação significativa ao nível de 1% de probabilidade entre e dentro das classes tex

Quadro 10 - Médias dos valores do calor de umedecimento dos solos, dos horizontes e interação solo-horizonte

Efeito		Solos			
		Bairrinho	Iracema	Quebra Dente	Formigueiro
Isolado		3,857	2,648	0,935	1,023
D.M.S. (Tukey) : 5% = 0,130 , 1% = 0,160					
Efeito		Horizontes			
		Ap	A <sub>3</sub> /B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub> /C
Isolado		1,863	2,279	2,342	1,979
D.M.S. (Tukey) : 5% = 0,130 , 1% = 0,160					
Inte- ração		Solos			
		Bairrinho	Iracema	Quebra Dente	Formigueiro
Horizonte	Ap	3,165	2,676	0,798	0,811
	A <sub>3</sub> /B <sub>1</sub>	4,594	2,528	0,999	0,994
	B <sub>2</sub>	4,175	2,712	1,225	1,258
	B <sub>3</sub> /C	3,495	2,676	0,716	1,030
D.M.S. (Tukey) : 5% = 0,352 , 1% = 0,406 C.V. = 7,8					

turais. A variação significativa do calor de umedecimento, dentro e entre as classes texturais argila e barro, pode ser atribuída, principalmente ao conteúdo e natureza da argila.

Quadro 11 - Análise da variância dos dados de calor de umedecimento obtidos para as séries Quebra Dente e Formigueiro

Causa de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Solos	1	0,4049	0,4049	39,3107**
Horizontes	4	1,4783	0,3696	35,8835**
Interação solo-horizonte	4	0,5896	0,1474	14,3106**
(Tratamento)	(9)	(2,4728)		
Resíduo	40	0,4130	0,0103	
Total	49	2,8858		

Quadro 12 - Análise da variância dos dados referentes ao calor de umedecimento reunidos segundo as classes texturais.

Causa de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.
Classes texturais	2	82,091	41,0450	1.779,277**
argila	7	38,575	5,5107	238,879**
barro	7	21,832	3,1188	135,194**
areia	1	0,237	0,237	10,273**
(Tratamento)	(17)	(142,735)	(8,39617)	(363,958**)
Resíduo	72	1,661	0,023069	
Total	89	144,396		

O calor de umedecimento dos horizontes  $A_p$  e  $A_2$  da série Quebra Dente, pertencentes à classe textural a - reia (Quadro 12), apresentam diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidade, apesar de apresentarem pouca diferença no conteúdo de argila (4,9% e 4,8% respectivamente para o  $A_2$  e  $A_p$ ). Considerando que a natureza da fração argila seja a mesma para estes horizontes, pois pertencem a um mesmo solo e que a diferença de 0,1% no teor de argila não seja significativa, tudo leva a crer que, além do teor e natureza da fração argila, outros fatores influem sobre o valor do calor de umedecimento. O Quadro 2 mostra que o horizonte  $A_p$ , comparado com o  $A_2$ , apresenta maiores teores de  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $H^+$  e  $K^+$ . É bastante provável que este maior conteúdo de bases seja responsável pela diferença observada no valor do calor de umedecimento. O mesmo poderia ser dito para os horizontes  $A_3/E_1$  e  $B_2$  da série Bairrinho. Estes horizontes apresentam o mesmo teor da fração argila, mas os valores do calor de umedecimento diferem significativamente. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Gile (WADSWORTH, 25), PURI (17), PATE (14), ANDERSON (2), RAZOUK et al., (22) e Janert (GRIM, 10).

A diferença significativa para as classes texturais argila e barro ao nível de 5 e 1% de probabilidade é de 0,301 e 0,335 respectivamente.

#### 4.2.3 - Estudos de algumas correlações

Diversas correlações foram examinadas afim de

se estabelecerem possíveis relações entre o calor de umedecimento e algumas propriedades do solo. As correlações estudadas são as que se seguem:

a - Calor de umedecimento e dupla troca catiônica

Diversos autores, entre os quais ANDERSON e MATTSON (3), supõem que o calor de umedecimento se relacione à dupla troca catiônica do solo. Estes dados encontram-se nos Quadros 2 e 9. A dupla troca catiônica é expressa em mg/100g de terra fina e o calor de umedecimento em cal/g.

A análise de correlação mostrou um coeficiente  $r = 0,921$  para todos os dados examinados e o valor para o teste "t" com N-2 graus de liberdade foi da ordem de  $9,443^{**}$ .

b - Calor de umedecimento e teor de cálcio e de

Muitos autores, entre os quais PURI (17), ANDERSON (2) e PATE (14), verificaram que os solos ricos em catiônicos bivalentes apresentavam maiores valores de calor de umedecimento do que os solos ricos em catiônicos monovalentes. Para Janert (GRIM, 10) e ANDERSON (2), os solos que apresentam maior teor de  $Ca^{++}$  possuem maior valor de calor de umedecimento. Por sua vez BERNEL e DOWLER (5) obtiveram resultados que mostraram haver maior influência do  $Mg^{++}$  nos valores de calor de umedecimento.

A análise de correlação mostrou um coeficiente "r" igual a 0,797 e 0,774 e os valores do teste "t" com N-2

graus de liberdade foram de 5,13\*\* e 4,91\*\*, respectivamente, para o  $\text{Ca}^{++}$  e o  $\text{Mg}^{++}$ .

c - Calor de umedecimento e teor de matéria orgânica

Os teores de matéria orgânica ( $\text{C} \% \times 1,724$ ), assim como os valores do calor de umedecimento, encontram-se nos Quadros 2 e 9. A análise mostrou um valor de 0,183 para o coeficiente de correlação e 0,746 para o teste "t", valor êste não significativo.

## 5 - CONCLUSÕES

Nas condições em que o experimento fôï realizado e para os métodos e materiais empregados, os dados obtidos, analisados e interpretados estatisticamente, permitiram que se chegasse às seguintes conclusões:

- a - o calor específico variou de acôrdõ com a natureza genética dos solos: a série Bairrinho apresentou o maior valor de calor específico, enquanto o menor valor foi apresentado pela série Quebra Dente;
- b - entre os horizontes das séries Iracema, Formigueiro e Quebra Dente não houve diferenças significativas no valor do calor específico;
- c - o calor específico variou de acôrdõ com a textura do solo; os menores valores foram apresentados pelas texturas grosseiras enquanto que os maiores, pelas texturas finas;
- d - o calor específico depende não apenas do conteúdo de argila, mas possivelmente também, da natureza dos minerais que constituem essa fração;
- e - o calor de umedecimento variou de acôrdõ com a natureza genética dos solos: a série Bairrinho apresentou o maior valor de calor de umedecimento, sendo o menor valor apresentado pela série Quebra Dente;
- f - exceto para a série Iracema, houve diferenças significativas no valor do calor de umedecimento entre os horizontes das séries Bairrinho, Formigueiro e Quebra Dente;

- g - o calor de umedecimento variou com a classe textural do solo; foi menor para as texturas grosseiras e maior para as texturas finas;
- h - o teor de argila e possivelmente a natureza desta, influenciou nos valores do calor de umedecimento;
- i - foram observadas correlações entre o calor de umedecimento e: dupla troca catiônica, teores de cálcio e magnésio trocáveis do solo.

+

+

+

## 6 - RESUMO

O presente trabalho, teve por finalidade principal a de obter dados sôbre o comportamento do calor específico e de umedecimento em solo de regiões subtropicais. Para os ensaios, escolheram-se os horizontes pertencentes a quatro solos genéticamente diferentes, localizados na região de Piracicaba. Êstes solos foram designados por séries: Iracema, Quebra Dente, Formigueiro e Bairrinho (RANZANI et al., 20,21). Estas séries de solos representam respectivamente os Grandes Grupos: Latosol Roxo, Podzólico Vermelho Amarelo - variação Laras, Podzol Hidromórfico e Mediterrânico Vermelho Amarelo (COMISSÃO DE SOLOS, 8).

Foram tomadas amostras de cada um dos horizontes das séries, junto aos próprios locais que serviram de estudos para identificação dêstes solos. Neste material, procedeu-se à determinação de calor específico e de umedecimento seguindo, principalmente as recomendações de KERSTEN (12).

As principais conclusões obtidas foram as seguintes:

a - os valores de calor específico e de umedecimento, dependem da natureza genética dos solos: a série Bairrinho apresentou os maiores valores de calor específico e de umedecimento: 0,1885 cal/g<sup>o</sup>C e 3 857 cal/g respectivamente, a série Quebra Dente, por outro lado, apresentou os menores valores: 0,1554 cal/g<sup>o</sup>C e 0,937 cal/g respectivamente;

b - os valores do calor específico e de umedecimento variam de acôrdo com as classes texturais generalizadas dos solos. O valor é maior para as texturas finas e menor para as grosseiras;

c - foram observadas correlações entre o calor de umedecimento e: dupla troca catiônica, teores de  $\text{Ca}^{++}$  e  $\text{Mg}^{++}$  trocáveis do solo.

7 - BIBLIOGRAFIA CITADA

- 1 - ANDERSON, M.S. The heat of wetting of soil colloids. Journal of Agr. Res. Vol. 28, 1924.
- 2 - \_\_\_\_\_ The influence of substituted cations on the properties of soil colloids. Journal Agr. Res., Vol. 38. 1929
- 3 - \_\_\_\_\_ and S. MATTSON. Properties of soil colloids material. U.S. Dept. Agr. Bull. 1926.
- 4 - BAVER, L.S. Soil Physics. Third Ed. John Wiley & Sons, Inc. New York. 1956.
- 5 - BERNAL, J.D. and R.H. FOWLER. A theory of water and ionic solution with particular reference to hydrogen. J. Chem. Phys. 1: 515. 1933.
- 6 - BOUYOUCOS, G. The heat of wetting as a means of estimating the colloidal material in soils. Soil Sci: 19, 153-161. 1925.
- 7 - BOWERS, S.A., and R.J. HANKS. Specific heat capacity of soils and minerals as determined with radiation calorimeter. Soil Sci: 94 , 392-396. 1962.

- 8 - COMISSÃO DE SOLOS DO CNEPA. Levantamento de Re -  
conhecimento de Solos do Estado de São Paulo.  
Rio de Janeiro, Centro Nacional de Ensino e  
Pesquisas Agronômicas, Boletim 12. 1960.
- 9 - DOROFEEFF, A. Curso de Solos. Escola Superior de  
Agronomia de Minas Gerais, Viçosa, 1952.
- 10 - GRIM, E.R. Clay mineralogy. New York. Toronto -  
London. McGraw Hill Book Company, Inc. 1953.
- 11 - KAPP, K.C. The aproximative size of soil parti -  
cles at which the heat of wetting is manifes-  
ted. Soil Sci: 29, 404-412, 1930.
- 12 - KERSTEN, S.M. Thermal properties of soil. Bulle-  
tin of the University of Minnesota. Institu-  
te of Tecnology. Bull. 28, 1949.
- 13 - MITSCHERLICH, E.A. Bodenkude fur Land-und Forst-  
wirte. 364 p. illus. Berlin, 1905.
- 14 - PATE, W.N. The influence of the amount and nature  
of the replaceable bases upon the of wetting  
of soils and colloids. Soil Sci.: 20, 329 -  
335. 1925.
- 15 - PATTEN, H.E. Heat transference in soils. U.S.  
Dept. Agr. Bur. Soils Bul. 59, 54 p. illus.  
1909.

- 16 - PIMENTEL GOMES, F. Curso de estatística experi -  
mental. Publicação da E.S.A. "Luiz de Quei -  
roz", 2ª ed. 1963.
- 17 - PURI, A.N. Soil. Their phisycs and chemistry.  
Reinhold Publising Corp. New York, U.S.A.  
1949.
- 18 - RANZANI, G. Manual de Levantamento de Solos. Edi -  
tora da Universidade de São Paulo. 1965.
- 19 - \_\_\_\_\_ e E. J. KIEHL. Prática de Solos. 13ª  
Cadeira. E.S.A. "Luiz de Queiroz". Ed. Centro  
Acadêmico "Luiz de Queiroz". Piracicaba ,  
1959.
- 20 - \_\_\_\_\_, O. FREIRE e T. KINJO. Carta de Solos  
do Município de Piracicaba. Centro de Estu -  
dos de Solos. E.S.A. "Luiz de Queiroz" | mi -  
meografado 1966.
- 21 - \_\_\_\_\_, O. FREIRE, T. KINJO, G. V. FRANÇA ,  
Z. Z. MARCOS e J.L.I. DEMATTE. Car -  
ta de Solos do Município de Iracemópolis. XII  
Congresso Brasileiro de Ciência do Solos. Bra -  
sília. 1967.
- 22 - RAZOUK, R. I., S. K. TOBIA e T. A. ELBASSIOUNY. Ef -  
fect of exchangeable of cations on heat of  
wetting of soils. Soil Sci: 90, 1960.

- 23 - REICHARDT, K., E. SALATI, O. FREIRE e D. CRUCIANI.  
Propriedades térmicas de alguns solos do Estado de São Paulo. Anais do 2º Congresso Latino Americano e 10º Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Piracicaba, julho, 1965.
- 24 - \_\_\_\_\_ Práticas de calorimetria. Revista "O Solo", nº 1, 1963.
- 25 - WADSWORTH, H.A. Some factors influencing the heat of wetting of soils. Soil Sci: 47. 1939