

ESTUDOS SÔBRE A ALIMENTAÇÃO MINERAL DO CAFEEIRO. XX.
EFEITO DA VARIAÇÃO DE pH NO DESENVOLVIMENTO E COMPOSIÇÃO QUÍMICA
DO CAFEEIRO (*Coffea arabica* L., var. *Mundo Novo*)
CULTIVADO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA¹

H.V. de Amorim²

L.C. Scoton³

H.P. Haag²

E. Malavolta²

RESUMO

Plantas jovens de *Coffea arabica* L., var. *Mundo Novo* foram cultivadas em solução nutritiva, sob o efeito de diferentes variações de pH (4,0 a 7,5) do substrato, a fim de se constatar o desenvolvimento e composição mineral.

A melhor faixa de pH para o crescimento em altura, número de fôlhas, peso da matéria fresca e seca é de 4,0 a 6,0.

A quantidade total de todos os macronutrientes absorvidos pelo cafeeiro diminui à medida que o pH se eleva.

INTRODUÇÃO

Quando se fala em efeito do pH no crescimento da planta, há que distinguir entre a ação direta dos iônios hidrogênios e o seu papel indireto, evidenciado através das mudanças que provoca na disponibilidade dos elementos essenciais existentes no solo.

O efeito mais direto do pH sobre o cafeeiro foi inicialmente estudado por CAMARGO et al. (1929), cultivando a variedade *Bourbon* em solução nutritiva variando o pH de 4,2 a 7,2. Concluíram os referidos autores que a faixa de pH mais apropriada para o cafeeiro seria a de 4,2 a 5,1. Recentemente CARVAJAL

¹ Entregue para publicação em 21/10/1968. Trabalho subvencionado pelo Instituto Brasileiro do Café.

² Departamento de Química - E.S.A. "Luiz de Queiroz".

³ Bolsista em 1965 da Fundação de Amparo à Pesquisa do Est. de São Paulo, na Cadeira de Matem. e Estat. da ESALQ.

et al. (1963) cultivaram cafeeiros em solução nutritiva variando o pH de 4,0 a 7,5 com intervalos de meia unidade e concluíram que a faixa de pH melhor para o cafeeiro é de 6,5 - 7,5.

O objetivo do presente trabalho foi o de estudar, sob condições controladas, o efeito da variação de pH do substrato no desenvolvimento e composição mineral do cafeeiro, em vista dos dados contraditórios encontrados na literatura.

MATERIAL E MÉTODOS

Utilizou-se mudas de *Coffea arabica* L., var. *Mundo Novo* de três meses de idade, que foram transplantadas dos laminados para tanques de fôlha de Flandres pintados internamente com neutrol 45 de 35 litros de capacidade cada um.

A solução nutritiva foi a de HOAGLAND & ARNON (1950) diluída a 1/3. Os micronutrientes foram fornecidos nas concentrações recomendadas por HOAGLAND & ARNON (1950), com exceção do ferro que foi fornecido sob forma de quelado de ferro.

O esquema estatístico foi inteiramente casualizado com 8 repetições para cada tratamento. Cada tratamento tinha à sua disposição 35 litros de solução nutritiva. Os valores de pH variavam de 4,0 a 7,5 com intervalos de meia unidade. As soluções nutritivas foram trocadas quinzenalmente e arejadas durante 12 horas ao dia.

O pH foi ajustado uma vez ao dia nos dois primeiros meses e duas vezes a partir do terceiro mês mediante a adição de HCl 0,1 N ou NaOH 0,1 N.

Mensalmente, media-se a altura das plantas a partir do colo, o número de fôlhas e o peso fresco das plantas.

As plantas foram colhidas 140 dias após o início do ensaio separando-se as fôlhas, caule e raízes. O material foi pesado e seco em estufa a 75°C, moído e analisado para nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre.

O nitrogênio foi determinado pelo método de micro Kjeldahl (MALAVOLTA, 1957); o fósforo com o vanadato (LOTT et al., 1956), o potássio por fotometria de chama no Beckman, modelo B; o cálcio pela titulação do oxalato de cálcio com permanganato de potássio (MALAVOLTA & COURY, 1954); o magnésio pelo amarelo de tiazol (DORSDOFF & NEARPASS, 1948) e o enxofre

por gravimetria (TOTH et al., 1948).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aspecto geral das plantas

As plantas que vegetavam nas soluções nutritivas com pH de 4,0 a 6,0 se apresentavam de aspecto normal; fôlhas verde escuras, sem manchas. Do pH 6,5 a 7,5 as plantas apresentavam-se com as fôlhas inferiores cloróticas, clorose que se aumentava com os valores mais elevados de pH. Entre o pH 5,5 a 7,5 as raízes apresentavam-se com coloração pardacenta que evoluía até a necrose no pH 7,5.

Pêso fresco (g)

No início do ensaio as plantas possuíam um pêso fresco médio de 3,6 g. Após 30 dias já notava-se uma diferença significativa entre os diversos valores de pH. No final do ensaio notava-se duas faixas distintas quanto ao pêso fresco das plantas; uma de pH 4,0 a 6,0 e a outra de pH 6,0 a 7,5, como se observa no Gráfico 1.

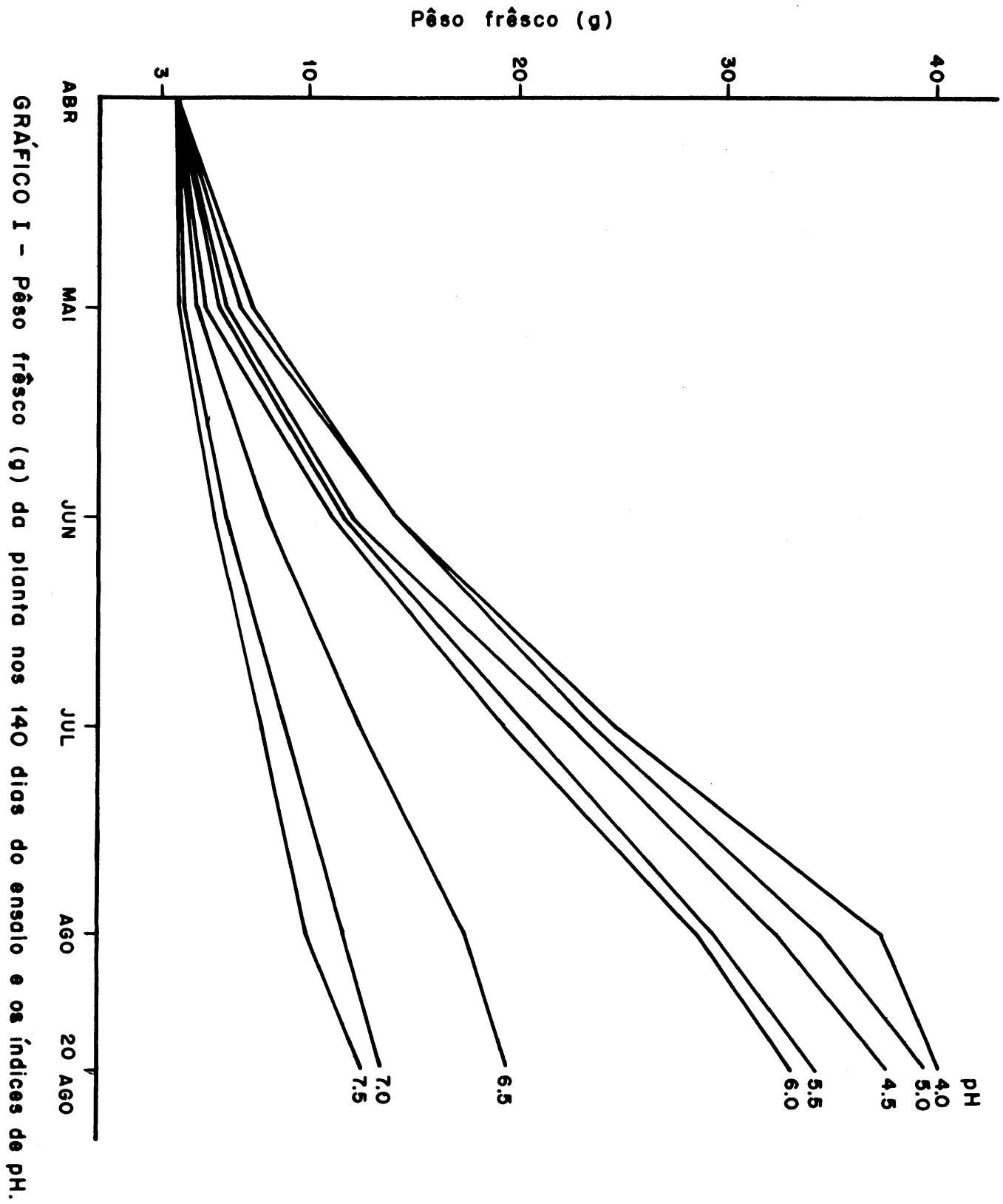
Nas cinco medições tomadas, observou-se que o pêso fresco obedecia a uma tendência linear significativa ao nível de 1%, que decrescia à medida que aumentava o pH.

Essas mesmas conclusões podem ser estendidas para o número de fôlhas.

Altura da planta (cm)

No início do experimento a altura média das plantas era de 11,4 cm. Após o primeiro mês os valores médios variavam de 15 cm no pH 4,0 até 12 cm no pH 7,0, seguindo uma tendência linear significativa ao nível de 1%, havendo duas faixas distintas de pH, uma de 4,0 a 6,0 com um desenvolvimento em altura maior e a faixa de pH 6,5 a 7,5 de crescimento menor, como se observa no Gráfico 2.

A partir do segundo mês até o fim do ensaio observou-se na altura das plantas uma tendência quadrática, significativa ao nível de 1%.



Pêso Sêco

O pêso sêco das fôlhas, caule e das raízes foram maiores na faixa de pH de 4,0 a 6,0. Entre êsses tratamentos não houve diferença significativa. Na faixa de pH 6,5 a 7,5 o pêso sêco foi sensivelmente menor, apresentando diferença significativa com os tratamentos da outra faixa de pH como se observa pelo exame do Gráfico 3.

Porcentagem de matéria sêca

A porcentagem de matéria sêca das raízes e do caule não variou com os tratamentos. Nas fôlhas, à medida que aumentava o pH observou-se uma diminuição no teor de matéria sêca, sendo esta diferença estatisticamente significativa ao nível de 1%.

Na planta inteira, a porcentagem de matéria sêca manteve-se constante até o pH 6,0, sendo que nos valores mais elevados de pH houve uma diminuição significativa, como se observa no Gráfico 4.

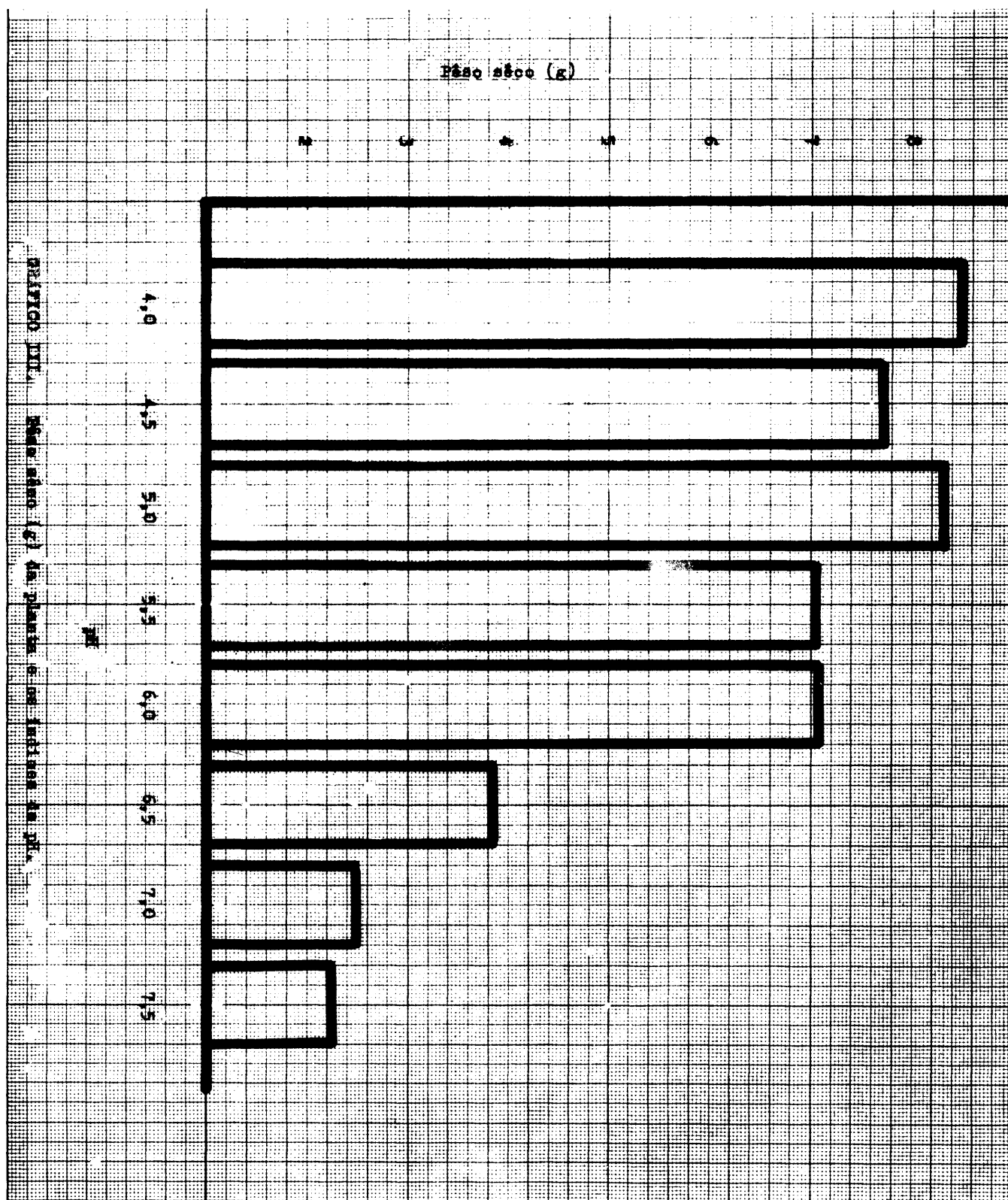
Composição mineral

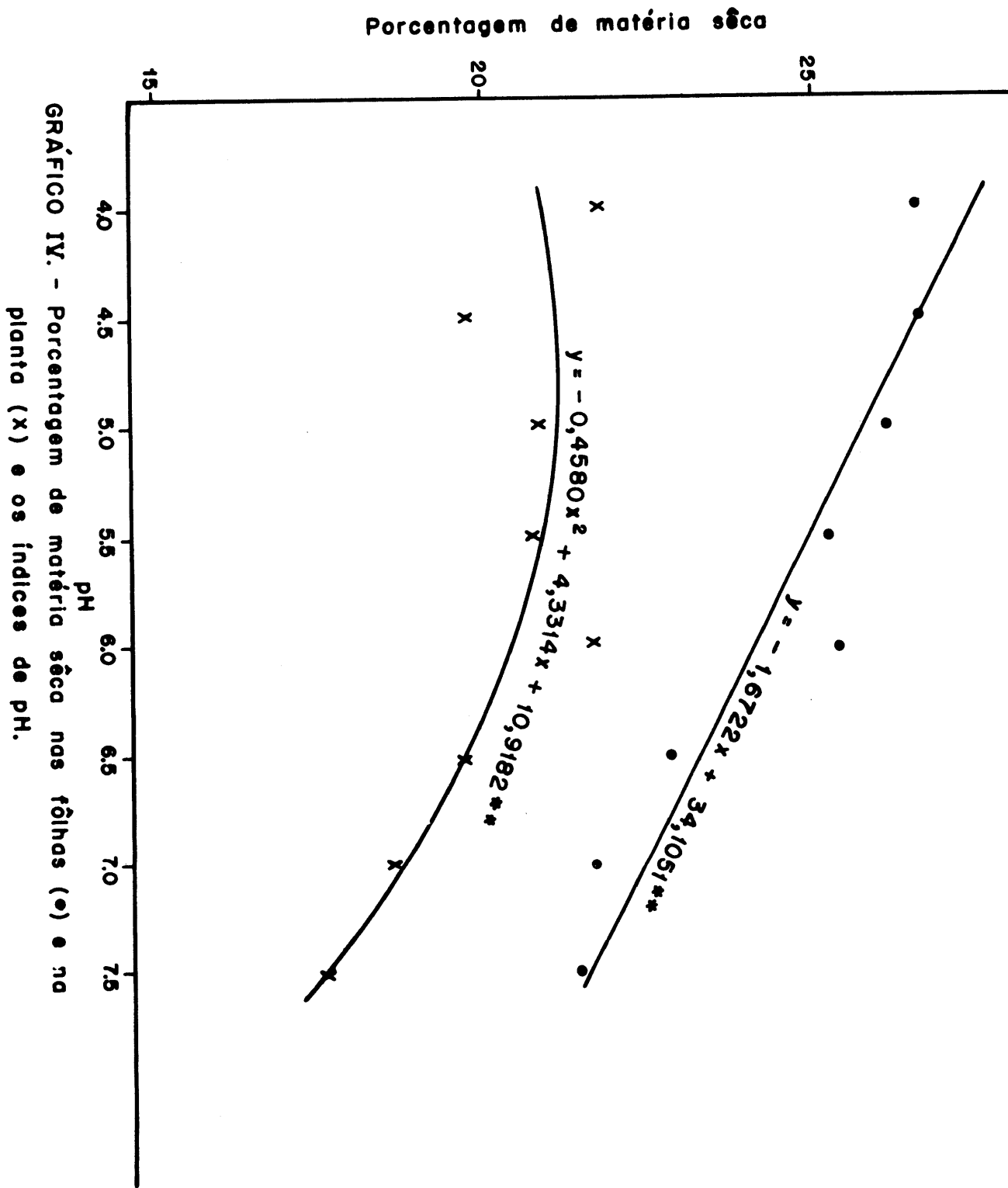
Os teores em porcentagem dos macronutrientes em função da matéria sêca encontram-se no Quadro 1.

O teor de nitrogênio nas fôlhas e nas raízes decresceu nos valores mais elevados de pH. Êste fato possivelmente esteja ligado à absorção do fósforo, sendo que nos tratamentos onde houve decréscimo na absorção do fósforo observou-se uma diminuição no desenvolvimento da planta e nos teores de nitrogênio. Fenômeno semelhante foi constatado por HAAG & MALAVOLTA (1960), em cafeeiro e por LOUE (1961) e AMORIM et al., (1964) em cacau-eiro.

A diminuição do teor de nitrogênio das plantas nos níveis de pH mais elevados possivelmente se deve também ao efeito da competição iônica entre NO_3^- e OH^- . Fato semelhante foi constatado em milho por HONERT & HOOYMAUS (1955), citados por SUTCLIFFE (1962, pág. 54).

O teor de fósforo nas fôlhas, no caule e nas raízes decresceu uniformemente à medida que o pH da solução aumentava. Conforme HONERT (1933) citado por SUTCLIFFE (1962, pág. 54) e HAGEN & HOPKINS (1955) o pH do substrato interfere nas formas disponíveis do fósforo. A forma absorvida com maior intensidade





QUADRO 1. Porcentagem de N, P, K, Ca, Mg e S encontrada nos diversos órgãos em função dos níveis de pH. Média de 8 repetições.

pH	FÓLHAS						CAULE						RAIZ					
	N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
	g/100 g mat. seca																	
4,0	3,46	0,30	3,19	1,46	0,31	0,33	1,41	0,34	2,77	0,44	0,19	0,17	2,76	0,49	3,27	0,37	0,30	0,63
4,5	3,44	0,34	3,01	1,87	0,35	0,32	1,41	0,34	2,49	0,43	0,22	0,19	2,73	0,36	3,70	0,59	0,34	0,61
5,0	3,31	0,27	2,95	1,69	0,35	0,32	1,31	0,32	2,42	0,44	0,26	0,19	2,71	0,34	3,49	0,58	0,35	0,67
5,5	3,23	0,26	2,95	1,51	0,34	0,30	1,26	0,27	2,25	0,37	0,21	0,15	2,37	0,29	3,27	0,54	0,38	0,67
6,0	3,32	0,25	3,03	1,54	0,32	0,27	1,27	0,24	2,67	0,40	0,21	0,19	2,49	0,20	2,82	0,64	0,36	0,56
6,5	3,17	0,24	3,09	1,48	0,34	0,27	1,29	0,21	2,58	0,45	0,23	0,17	1,98	0,14	1,90	0,64	0,36	0,43
7,0	2,87	0,22	3,15	1,41	0,35	0,26	1,26	0,14	1,36	0,49	0,24	0,20	1,92	0,13	2,28	0,55	0,35	0,39
7,5	2,78	0,23	2,92	1,44	0,36	0,27	1,20	0,11	1,60	0,45	0,22	0,16	1,91	0,12	2,65	0,56	0,36	0,40
T	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
R	L ^{NS}	L ^{NS}	L ^{NS}	L ^{NS}	L ^{NS}	L ^{NS}	L ^{NS}	L ^{NS}	L ^{NS}	L ^{NS}	L ^{NS}	L ^{NS}	L ^{NS}	L ^{NS}	L ^{NS}	L ^{NS}	L ^{NS}	L ^{NS}
dms 5%	0,37	0,07	0,20	0,03	0,05	0,04	0,04	0,59	0,06	0,06	0,06	0,06	0,43	0,09	0,91	0,17	0,03	0,06
dms 1%	0,45	0,08	0,22	0,04	0,06	0,05	0,05	0,72	0,08	0,08	0,08	0,08	0,53	0,11	1,16	0,21	0,04	0,08
C.V. %	2,55	5,82	3,31	2,47	1,01	3,24	3,81	4,07	6,15	6,18	6,30	9,77	4,06	7,20	7,36	6,92	2,09	2,53

T - Tratamentos
R - Regressão
L - Tendência linear
Q - Tendência quadrática
C - Tendência cúbica
NS - Significativo a 5%
NS - Significativo a 1%
N.S. - Não significativo

pelas plantas é a H_2PO_4^- . A proporção deste anion diminui com o aumento do pH, como se pode observar no Quadro 2.

QUADRO 2 - Espécies de ions fosfatados em níveis diversos de pH como % de fósforo total (HAGEN & HOPKINS, 1955).

Espécies de ions	pH					
	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0
H_2PO_4^-	98,6	99,2	93,8	60,3	13,3	1,5
HPO_4^-	0,06	0,06	6,1	39,2	86,7	98,5

Possivelmente este foi o fato que determinou a menor absorção do fósforo pelas plantas cultivadas em níveis de pH mais elevados. Além de outros fatores que poderiam influir provavelmente houve uma competição entre o OH^- e as formas H_2PO_4^- e HPO_4^- .

O teor de potássio nas folhas não foi influenciado pelos diferentes níveis de pH. No caule, houve efeito significativo apenas nos níveis de pH 7,0 e 7,5. Nas raízes o teor de potássio manteve-se constante até o pH 5,5, sendo que nos demais níveis os teores de potássio sofreram sensível redução.

Foi baixo o teor de cálcio encontrado nas folhas e nas raízes no pH 4,0. O teor mais elevado de cálcio nas folhas verificou-se no pH 4,5 sendo que decresce até o pH 7,5. Nas raízes os teores de cálcio permanecem constantes e foram significativamente maiores do que no pH 4,0. ARNON et al., (1942) observaram que para tomateiro, alface e grama bermuda a absorção de cálcio no pH 4,0 foi bem menor do que nos níveis de pH mais elevados. CARVAJAL et al. (1963) observaram que a absorção de cálcio pelo cafeeiro se elevava nos níveis de pH 7,0 e 7,5.

A absorção do magnésio foi afetada pelo pH 4,0. Nos demais níveis de pH os teores de magnésio permaneceram constantes. Fato idêntico foi observado por ARNON et al. (1942) em tomateiro e alface.

O teor de enxofre nas folhas foi pouco afetado pelo aumento de pH. Nas raízes observou-se um decréscimo acentuado

nos teores de enxôfre à medida que o pH se elevava.

A soma dos teores de (N+P+S) nas fôlhas, elementos que são absorvidos como ânions diminui mais acentuadamente que a soma de (K+Ca+Mg), à medida que o pH se eleva. A componente linear foi significativa a 1%. A soma dos teores de (K+Ca+Mg) teve pequena variação e os dados obedeceram a uma tendência linear significativa a 1%.

A relação $\frac{K+Ca+Mg}{N+P+S}$ aumentou linearmente à medida que o pH do substrato se elevava (Gráfico 5). Isto parece indicar que houve uma competição entre os ânions NO_3^- , SO_4^{2-} , $H_2PO_4^-$ e o íon OH^- . Para todos os elementos observou-se uma diminuição na absorção total de N, P, K e S segue uma tendência linear. Para o magnésio e para o cálcio a tendência foi quadrática, como se observa no Quadro 3.

QUADRO 3 - Miligramas de N, P, K, Ca, Mg e S absorvidos pelas plantas em função dos diversos valores de pH. Média de 8 plantas.

pH	N	P	K	Ca	Mg	S
4,0	238	31	272	79	24	31
4,5	208	26	229	87	23	27
5,0	211	25	239	87	26	29
5,5	171	19	197	66	22	23
6,0	179	17	206	70	21	22
6,5	93	8	104	39	12	12
7,0	71	5	59	24	9	7
7,5	53	4	56	20	8	6
T						
R	L**	L**	L**	Q***	Q**	L**
dms 5%	54	5	67	22	5	7
C.V.	15,06	13,33	16,76	15,45	12,22	14,82

Na absorção total dos macronutrientes houve uma queda brusca, de aproximadamente 90% das plantas que vegetavam na solução com pH 6,5 em relação àquelas que cresciam em pH 6,0.

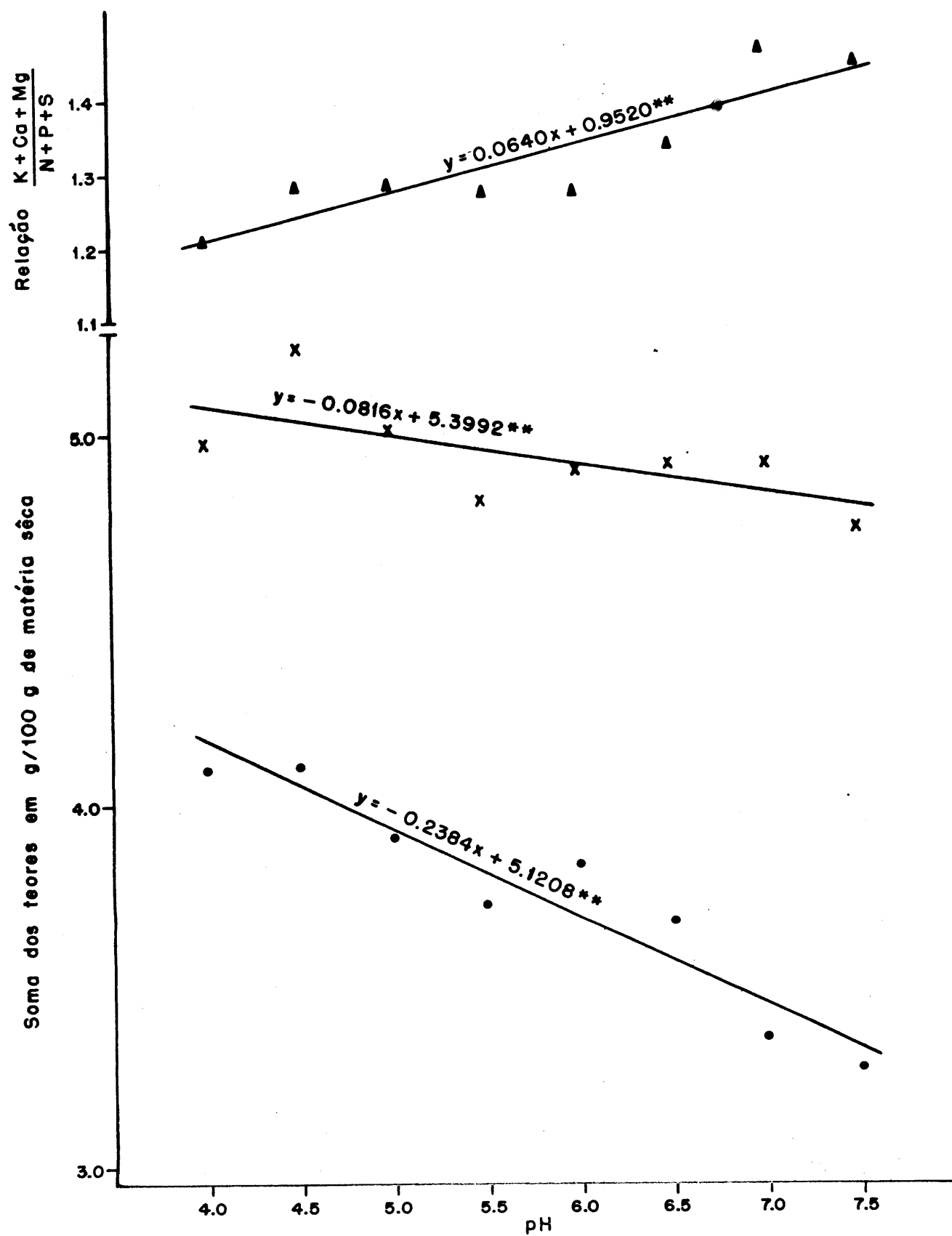


GRÁFICO V - Soma dos teores percentuais de K+Ca+Mg (x) e N+P+S (•), relação $\frac{K+Ca+Mg}{N+P+S}$ (Δ) nas folhas e os índices de pH.

CONCLUSÕES

a) A melhor faixa de pH para o crescimento em altura, número de folhas, peso fresco e seco foi de 4,0 a 6,0.

b) A porcentagem de matéria seca das folhas diminui à medida que o pH da solução se elevava. O pH não influencia a porcentagem de matéria seca da raiz e do caule.

c) A quantidade total de todos os macronutrientes absorvidos pelas plantas diminuiu à medida que o pH se elevava.

d) Nas folhas os teores de N, P, Ca e S diminuíram com o aumento de pH. O K não foi influenciado e o Mg sofreu pequena redução no pH 4,0. No caule, somente os teores de P e de K diminuíram com o aumento do pH. Nas raízes, os teores de N, P, K e S diminuíram com o aumento do pH. O teor de Mg foi menor no pH 4,0 e superior e constante nos demais níveis de pH. Os teores de Ca nos diversos tratamentos foram irregulares.

e) A relação $\frac{K+Ca+Mg}{N+P+S}$ aumentou linearmente à medida que o pH se elevava.

SUMMARY

Young coffee trees were grown in nutrient solution at different pH values, from pH 4,0 to pH 7,5 at 0,5 pH units of interval.

After 140 days the plants were harvested and the main conclusions are the following:

1. The best range of pH for high, number of leaves fresh and dry weight of the plants were: pH 4,0 to pH 6,0.

2. There were a decrease in dry weight percentage of the leaves with increase of the pH solution.

3. With the increase of the pH there was a decrease in macronutrients content in the plants.

4. At higher levels of pH there was a percentual decrease in N, P, Ca and S in the leaves. At pH 4,0 did not effect K content, but there was a slight decrease in Mg content.

5. There was a linear relation between pH and the

$\frac{K+Ca+Mg}{N+P+S}$ ratio.

LITERATURA CITADA

- AMORIM, H.V. de, L.C. SCOTON, H.P. HAAG & E. MALAVOLTA, 1964. Efeitos de diferentes níveis de N, P e K sobre cacauzeiros jovens (*Theobroma cacao* L.) em solução nutritiva. Anais da E.S.A. "Luiz de Queiroz", XXV (no prelo).
- ARNON, D.I., W.E. FRATZKE & L.M. JOHNSON, 1942. Hydrogen ion concentration on growth of higher plants under by higher plants. *Plant Physiology* 17: 525-539.
- CAMARGO, T. de, R. BOLLIGER & P.C. de MELLO, 1937. Fisiologia Vegetal. Sobre a influência da concentração em ions hidrogênio do meio de cultura sobre o desenvolvimento do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). Instituto Agrônomo de Campinas, Boletim Técnico nº 3, Campinas, S.P.
- CARVAJAL, J.F., C.A. LOPES & A. ACEVEDO, 1963. Efecto del pH del substrato en el crecimiento y absorción del café. *Rev. Biol. Trop.* 11: 141-155.
- DORSDOFF, M. & D.C. NEARPASS, 1948. Quantitative microdetermination of magnesium in plant tissue and soil extracts. *Analytical Chemistry* 20: 673-674.
- HAAG, H.P. & E. MALAVOLTA, 1960. Estudos sobre a alimentação mineral do cafeeiro. III. Efeito das deficiências dos macro nutrientes no crescimento e na composição química do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) var. bourbon (B.Rodr.) Choussy cultivado em solução nutritiva. *Revista da Agricultura* 35: 273-289.
- HAGEN, C.E. & H.T. HOPKINS, 1955. Ionic species in orthophosphate absorption by barley roots, *Plant Physiology* 30: 193-199.
- HOAGLAND, D.R. & D.I. ARNON, 1950. The water culture method for growing plants without soil. *Calif. Agr., Exp., Sta. Berkeley, Calif., Cir.* 347.

- HONERT, T.H. Van Den, J.J.M. HOOYMANS, 1955. Experiments on the relation between water absorption and mineral uptake by plant roots. *Acta Bot. Neerl.* 4:139-155.
- LOTT, W.L., J.P. NERY, J.R. GALLO & J.C. MEDCALF, 1956. A técnica de análise foliar aplicada ao cafeeiro. Instituto Agrônômico de Campinas, Boletim nº 79, Campinas. S.P.
- LOUË, A., 1961. Estudo das carências e deficiências minerais do cacau. *Fertilité* nº 14: 5-41.
- MALAVOLTA, E., 1957. Práticas de Química Orgânica e Biológica. Centro Acadêmico "Luiz de Queiroz", Piracicaba. S.P.
- MALAVOLTA, E. & T.COURY, 1954. Apostila de Prática de Química Agrícola, Centro Acadêmico "Luiz de Queiroz", Piracicaba S.P.
- SUTCLIFFE, J.F., 1962. Mineral salts absorption in plants. Pergamon Press, New York, USA.
- TOTH, S.J., A.L. PRINCE, A. WALLACE & D.S. EKKELSEN, 1948. Rapid quantitative determination of eight mineral elements in plant tissue by a systematic procedure involving use of a flame photometer, *Soil Science* 66:459-466.

