

Estudos sôbre a alimentação mineral do ca-
feeiro. II. Absorção do superfosfato radioativo
pelo cafeeiro (*Coffea arabica* L., var. *Bourbon*
Amarelo) em condições de campo (*)

E. MALAVOLTA E L. NEPTUNE MENARD

E. S. A. "Luiz de Queiroz"

W. L. LOTT

IBEC Research Institute, New York — S. Paulo

(*) Trabalho feito com ajuda da Fundação Rockefeller, New York, U. S. A. e do Conselho Nacional de Pesquisas, Rio de Janeiro

1. INTRODUÇÃO.

No Brasil, bem como em outras regiões cafeeiras do globo, os adubos fosfatados são geralmente fornecidos aos pés-de-café aplicando-os em sulcos de 15-30 cm de profundidade, ou em covas ou buracos. O método de aplicação é fundamentado no temor de que as distribuições superficiais poderiam ser insuficientes devido às perdas por fixação, fenômeno que é particularmente intenso em alguns solos tropicais ricos em ferro e alumínio, como é o caso das terras roxas brasileiras (MALAVOLTA & PELLEGRINO, 1954).

Entretanto, ensaios feitos em Puerto Rico com superfosfato marcado mostraram que o cafeeiro absorve uma quantidade maior do fósforo desse fertilizante quando a aplicação se faz na superfície do solo do que quando êle é fornecido em sulcos circulares ou semi-circulares ou em buracos; no primeiro caso, 9-14 por cento do P contido nas fôlhas do cafeeiro vieram do superfosfato; nos outros tipos de aplicação os valores achados não passaram de 3 por cento (BONNET & RIERA, 1954; BONNET et al., 1955). Como êsses fatos experimentais estavam em desacôrdo com o que se pensava geralmente entre nós em matéria de modo de adubação do cafeeiro, os ensaios seguintes foram conduzidos. Procurou-se ainda estudar a influência da cobertura morta ("mulch") na absorção do superfosfato pelo cafeeiro.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. *Ensaio de modo de aplicação.*

O ensaio foi feito com cafeeiros (var. Bourbon amarelo) de um ano e meio de idade, aproximadamente, plantados em terra roxa misturada; cada cova tinha 3 plantas.

O superfosfato foi fornecido na proporção de 150 gramas por pé, adicionado de $H_3P^{32}O_4$ numa atividade total de 5×10^9 contagens por minuto (c.p.m.). A atividade específica do material foi determinada precipitando-se o fósforo contido em alíquotas adequadas como $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$. A Tabela 1 mostra alguns dos resultados obtidos nessas determinações.

Alíquota	Pêso do precipitado (mg)	mg P	c. p. m.	c.p.m./mg P
5 ml	27,0	3,37	16.393	4.857
5 ml	27,6	3,45	16.666	4.830
10 ml	55,2	6,90	32.787	4.751
10 ml	55,1	6,89	33.333	4.839

TABELA 1

Atividade específica do superfosfato marcado

A aplicação foi feita de várias maneiras; a) em sulco circular ("coroa") em volta do pé-de-café; a coroa tinha 17,5 cm de largura e 15 de profundidade; o sulco estava a 35 cm do centro do triângulo formado pelos pés-de-café; b) em sulco semi-circular, com características semelhantes às da corôa; c) em faixa circular e superficial com 25 cm de largura e cuja margem interna passava a 5 cm das plantas; d) em pulverização nas folhagens: foram feitas 3 pulverizações usando-se em cada uma 50 g do superfosfato marcado dissolvidos em 2 litros d'água; à solução era adicionado um adesivo; a superfície do solo foi recoberta com papel grosso para evitar que o excedente das pulverizações caísse ao solo. Quatro repetições foram usadas.

Um mês depois da aplicação, o primeiro e o segundo pares de fôlhas do segundo ramo (a contar da ponta), fôlhas essas formadas depois que a distribuição do superfosfato fôra feita, foram colhidos e sêcos em estufa a 70-80°C; a seguir as fôlhas foram trituradas e incineradas; as cinzas foram retomadas com HCl 1+9; em uma alíquota — depois de filtração e adição de água até um volume certo — era determinado o fósforo pelo método do vanadato; em outra alíquota era sêca e determinava-se então a radioatividade usando um contador com janela de mica. Além de correções para radiação de fundo ("back-ground") e auto absorção ("self absorption"), a perda por desintegração ("decay") era também corrigida usando-se a fórmula $I_0 = I_t \times 6,5$ onde I_0 = contagem real, I_t = contagem observada e 6,5 uma constante calculada levando em conta a meia vida ("half life") do P^{32}

e o tempo decorrido entre a instalação do ensaio e as contagens realizadas.

Com folhas tiradas das plantas pulverizadas com o superfosfato marcado foram feitas radioautografias a fim de verificar se a atividade nelas encontrada era devida a contaminação superficial ou absorção de fato.

2.2. *Ensaio de translocação.*

Para se obter uma indicação mais pormenorizada a respeito da absorção do superfosfato aplicado às folhas, foi feito um ensaio em casa de vegetação usando plantas (2) cultivadas em solução nutritiva. Tais plantas tinham 1 ano de idade e, embora estando há 6 meses em meio no qual não se adicionara P, não apresentavam sintomas de deficiência. A aplicação foi feita diluindo-se o $H_3P^{32}O_4$ com KH_2PO_4 M de modo a fornecer 10^7 c.p.m. por planta e 1 milimol daquele sal; foi feito pincelamento em ambas as faces de uma folha recém amadurecida. Deixou-se a absorção e a translocação terem lugar durante 1 mês.

2.3. *Efeito da cobertura morta.*

Este ensaio foi conduzido em solo do tipo arenito de Bauru, com plantas de 8 anos de idade. O superfosfato, nas doses indicadas em 2.1., foi aplicado na superfície, numa faixa de 70 cm de largura ao redor das plantas, depois de afastada a cobertura morta. Determinou-se apenas a atividade das folhas triturando-as depois de secas e comprimindo o material moído numa prensa de laboratório. Como o que interessava era verificar apenas se havia diferença na absorção entre plantas com cobertura morta e plantas sem essa proteção, no presente experimento foram feitas apenas correções para auto absorção e radiação de fundo.

2.4. *Penetração no solo.*

Como o método traçador é muito mais sensível do que qualquer processo analítico para a determinação do fósforo, nos ensaios 2.1 e 2.3 foram tiradas amostras de solo a diferentes profundidades para ter-se uma idéia da penetração do superfosfato aplicado no perfil. O fósforo das amostras foi extraído com HCl 0,2 N de acordo com a técnica usada por LOTT et al. (1950). A matéria orgânica de uma alíquota foi

destruída com HNO_3 e o resíduo retomado em HCl 1+9. A seguir uma alíquota da solução obtida foi sêca e contada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.

3.1. *Ensaio de modo de aplicação.*

Os resultados obtidos no ensaio destinado a verificar qual a melhor maneira de fornecer o superfosfato ao cafeeiro acham-se resumidos na Tabela 2. Pode-se observar que os dados são bastante uniformes e há diferenças muito grandes entre os tratamentos.

Por êsses motivos julgamos desnecessário fazer a análise estatística, considerando significativas as diferenças observadas.

Podemos observar que, contrariando as práticas usadas tradicionalmente na adubação do cafeeiro — localização pro-

Repetição	Tratamento	c.p.m./mg P	% do P absorvido que veio do super	Média
1	Cobertura	506	10,6	10,2
2	Cobertura	478	10,0	
3	Cobertura	487	10,2	
4	Cobertura	484	10,1	
5	"Corôa"	138	2,9	2,4
6	"Corôa"	118	2,5	
7	"Corôa"	86	1,8	
8	"Corôa"	123	2,6	
9	Semi círculo	81	1,7	1,7
10	("meia lua")	84	1,7	
11	("meia lua")	92	1,9	
12	("meia lua")	75	1,6	
13	Pulverização	1.852	38,8	38,8
14	Pulverização	1.587	33,3	
15	Pulverização	1.677	35,2	
16	Pulverização	2.137	44,8	

TABELA 2

Absorção do superfosfato marcado em função do modo de aplicação

funda do adubo — a aplicação superficial determinou uma absorção bem maior do fósforo aplicado. Note-se ainda que os resultados confirmam muito bem os obtidos em Puerto Rico sendo até da mesma ordem de grandeza. O efeito mais favorável da aplicação superficial quando comparada aos outros dois modos de distribuição no solo se explica em parte pela presença de raízes nas camadas superiores do terreno; por outro lado, aplicando-se o superfosfato no fundo dos sulcos, "corôa" e "meia lua", apenas uma quantidade limitada de raízes deve ter podido absorvê-lo, aquelas em contacto imediato com o material aplicado. O fato de que a absorção verificada quando se forneceu o superfosfato em semi-círculo ser aproximadamente a metade da registrada quando se distribuiu em círculo completo parece confirmar essa hipótese.

O resultado mais interessante que aparece na Tabela 2 é, sem dúvida, o concernente à absorção pelas folhas que mostraram uma atividade específica quase 4 vezes maior do que a notada nas plantas que receberam o fósforo em cobertura. Convem repetir aqui que as folhas analisadas foram formadas depois das pulverizações; houve, portanto, não só uma absorção do material aplicado como também a sua translocação. A distribuição típica do material radioativo nas folhas, revelada pela radioautografia, mostrou que a atividade registrada nas contagens refere-se de fato a fósforo no tecido foliar e não a uma simples contaminação da superfície. Quer dizer, então, que as pulverizações de superfosfato na folha podem se constituir eventualmente num modo eficiente de fornecer fósforo ao cafeeiro.

3.2. *Ensaio de translocação.*

Os dados obtidos no ensaio de translocação aparecem na Tabela 3; êles confirmam o achado do ensaio anterior, isto é, que as folhas do cafeeiro absorvem o radiofósforo e que êste se transloca para os outros órgãos da planta. É interessante notar que as atividades/unidade de peso foram mais altas nos órgãos novos, isto é, o caule e as folhas acima ou opostas àquelas que receberam o fósforo radioativo; isto significa que a translocação foi mais intensa para os tecidos metabolicamente ativos.

Deve-se notar também que a absorção total foi consideravelmente menor do que a observada no ensaio de campo. Tal resultado é, entretanto, facilmente explicável: a absorção do fósforo radioativo foi no caso presente limitada pela super-

fície de exposição ao tratamento, de vez que apenas uma fôlha recebeu material radioativo.

Amostra	c.p.m. no material	c.p.m./g material	P absorvido em % P absorvido
Raizes	11.363	8.800	0,11
Caule abaixo da fôlha tratada	71.428	48.965	0,74
Caule acima	8.064	72.727	0,08
Fôlhas abaixo da fôlha tratada	21.739	13.125	0,24
Fôlhas acima	52.631	38.805	0,55
Fôlha tratada	166.666	664.000	1,61
Fôlha oposta à fôlha tratada	24.390	100.000	0,27
Total	436.281	—	3,60

TABELA 3

Absorção e translocação do radiofósforo aplicado às fôlhas do cafeeiro

3.3. Efeito da cobertura morta.

As contagens das "pastilhas" de fôlhas trituradas deram os resultados que aparecem na Tabela 4.

Repetição	Tratamento	c.p.m.
B 5	Com cobertura morta	968
B 6		1.642
B 7		1.394
B 8		1.259
D 5	Sem cobertura morta	1.535
D 6		742
D 7		1.815
D 8		1.815
B 5-T	Testemunha (*)	25
B 8-T		33
D 5-T		130
D 8-T		26

(*) A radiação de fundo já foi deduzida

TABELA 4

Efeito da cobertura morta na absorção do radiofósforo

Podemos notar que, no caso presente, a cobertura morta não teve influência na absorção do superfosfato pelo cafeeiro. É que, embora as plantas sob esse tratamento tivessem um sistema radicular mais superficial, uma possível diferença em absorção deve ter sido anulada pelas fortes chuvas que caíram durante o decorrer do ensaio. Digna de nota é a atividade encontrada nas folhas das plantas não tratadas; ela deve ser atribuída, provavelmente, ao potássio radioativo contido nas mesmas.

3.4. Penetração no solo.

3.4.1. Terra roxa misturada.

A fim de verificar a penetração do superfosfato nesse tipo de solo foram tiradas amostras a diferentes profundidades em duas das repetições correspondentes ao tratamento "Cobertura" descrito em 2.1. A Tabela 5 nos mostra que o radiofósforo se concentra nitidamente nos 2,5 centímetros superficiais, muito pouco material descendo abaixo de tal camada. Entretanto, a atividade encontrada até 15 cm de profundidade é

Repetição	Profundidade, cm	c.p.m.
1	0,0 — 2,5	5.440
	2,5 — 7,5	470
	7,5 — 15,0	70
2	0,0 — 2,5	22.120
	2,5 — 7,5	370
	7,5 — 15,0	440

TABELA 5

Penetração do radiofósforo na terra roxa misturada

ponderável; essa penetração do fósforo deve também ter contribuído para a notável absorção verificada quando se aplicou superfosfato na superfície do terreno.

3.4.2. Arenito de Bauru.

No experimento de cobertura morta, instalado no arenito de Bauru a penetração do material radioativo no perfil foi, como mostra a Tabela 6, algo mais do que a notada na terra

roxa misturada. O que se explica em virtude de ser uma terra com menor poder de fixar fósforo (teores mais baixos de argila e de sexquióxidos).

Profundidade (cm)	B 5 P	B 5 P	B 8 P	D 8 P (*)
0 — 2,5	98.000	20.500	11.710	170
2,5 — 5,0	25.550	1.280	5.280	0
5,0 — 7,5	6.010	260	1.910	30
7,5 — 10,0	1.010	170	730	60
10,0 — 12,5	40	50	190	40
12,5 — 15,0	70	70	90	0

(*) Não tratada com superfosfato marcado.

TABELA 6

Penetração do radiofósforo no arenito de Bauru

4. RESUMO E CONCLUSÕES.

Com o fim de estudar a melhor maneira de aplicar superfosfato para o cafeeiro em terra roxa misturada, o adubo marcado com P^{32} foi fornecido das seguintes maneiras: (1) na superfície do solo, em uma área circular em torno do pé-de-café; (2) em "corôa" de 15 cm de profundidade; (3) em "meia lua" (semicírculo) também de 15 cm de profundidade; (4) em pulverizações diretamente nas fôlhas. Em todos os casos foram aplicados 150 g de superfosfato radioativo por planta de dois anos e meio de idade, fornecendo-se uma atividade de 5×10^9 c.p.m.

A análise das fôlhas e a determinação da radioatividade nas mesmas mostrou que, do total de fósforo encontrado, as seguintes porcentagens vieram do superfosfato distribuído:

- (1) aplicação superficial 10,2 por cento
- (2) aplicação em "corôa" 2,4 por cento
- (3) aplicação em meia lua 1,7 por cento
- (4) pulverização 38,0 por cento;

vê-se, portanto, que as duas maneiras de aplicação usadas tradicionalmente nas fazendas de café, (2) e (3), são as menos eficientes.

A considerável absorção do fósforo pelas folhas foi confirmada de duas maneiras: em um ensaio conduzido em casa de vegetação, com o cafeeiro cultivado em solução nutritiva, o fósforo radioativo foi aplicado em uma única folha e dela se translocou para tôdas as partes da planta; a radioautografia de folhas das plantas pulverizadas com superfosfato mostrou o padrão de distribuição da radioatividade que é peculiar a material absorvido, não revelando contaminação superficial.

Em um experimento conduzido no arenito de Bauru com cafeeiros de 8 anos de idade, o superfosfato marcado foi fornecido a plantas que estavam recebendo cobertura morta e a plantas sem êsse tratamento. Não se notou nenhuma influência dessa prática na absorção do superfosfato.

A penetração do fósforo na terra roxa misturada e no arenito de Bauru foi estudada, detectando-se atividade até 15 cm — profundidade máxima de que foram tiradas amostras de solo para análise sendo os valores encontrados no segundo tipo de terra geralmente mais altos do que os verificados no primeiro.

5. SUMMARY

In order to find out the best way to supply phosphorus to coffee plants when growing in "terra roxa misturada", a red soil with a high fixing capacity, tagged superphosphate was applied by the following procedures: (1) topdressed in a circular strip around the trees; (2) placed in the bottom of a circular furrow 15 cm deep; (3) placed in a semicircular furrow also 15 cm deep; (4) sprayed directly to the leaves. In each case 150 gms. of ordinary superphosphate tagged with $H_3P^{32}O_4$ to give 5×10^9 c.p.m. were given to the two and half year old coffee plants.

It was found that for the several treatments of the total phosphorus in the leaves the following values, on a per cent basis, came from the applied superphosphates:

(1) topdressed	10.2 per cent,
(2) circular furrow	2.4 per cent,
(3) semicircular furrow	1.7 per cent,
(4) sprayed	38.0 per cent;

one can see, then, that methods (2) and (3) commonly used by the coffee planters are a very inefficient way to supply phosphorus in this type of soil.

The remarkable foliar absorption was checked twice: a water culture experiment was carried out, the radiophosphorus being supplied by brushing it in the upper and lower surfaces of a given leaf; radioactivity was detected all over the plant as a result both of absorption and translocation; on the other hand, leaves collected from the sprayed trees were radioautographed; the radioautographs showed the pattern of distribution of the P^{32} which indicates true absorption rather than a surface contamination.

In another locality, an experiment was carried out with 8 year old plants growing in "arenito de Bauru" which is a sandy soil with much less phosphorus fixing capacity. In this experiment the aim was to compare absorption of tagged superphosphate by trees growing under mulch against plants not receiving this treatment. The uptake of phosphorus was the same for both sets of plants.

In both field experiments soil samples down to 15 cm in the profile were collected and its 0.2 N HCl soluble phosphorus was counted; rather significant values were observed mainly in the upper 5 cm layers.

6. AGRADECIMENTOS.

Agradecimentos são devidos: ao Laboratório de Isótopos, Fac. de Medicina. U.S.P., S. Paulo pelo fornecimento do fósforo radioativo; ao Eng. Agr. Henrique Bergamin F.^o pela montagem dos radioautógrafos.

7. LITERATURA CITADA.

- BONNET, J. A. & A. R. RIERA, 1954 — Radioactive studies with P^{32} in tropical soils and crops of Puerto Rico. Trans. Vth Internatl. Congr. of Soil Science (Leopoldville) 2: 369-375.
- BONNET, J. A., A. R. RIERA & J. ROLDÁN, 1955 — Radioactive studies with P^{32} in tropical soils and crops of Puerto Rico. Soil Scie. Soc. Amer. Proc. 19: 284.
- LOTT, W. L., D. P. SATCHELL & N. S. HALL, 1950 — A tracer-element techniques in the study of root extension. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 55: 27-34.
- MALAVOLA, E. & D. PELLEGRINO, 1954 — Nota sôbre algumas transformações do superfosfato radioativo em terra roxa. Rev. de Agric. (Piracicaba) 29: 317-323.

