

RESPOSTA DA SOJA À ADUBAÇÃO E DISPONIBILIDADE DE POTÁSSIO EM LATOSSOLO ROXO EUTRÓFICO¹

CLÓVIS MANUEL BORKERT, GEDI JORGE SFREDO, JOSÉ RENATO BOUÇAS FARIAS²,
FÁBIO TUTIDA e CLÁUDIO LUIS SPOLADORI³

RESUMO - O cultivo intensivo de soja e trigo, com baixa ou nenhuma adubação de manutenção, esgota a disponibilidade de K no solo no decorrer dos anos, causando redução na produtividade dessas culturas. O objetivo deste trabalho foi estudar a resposta da soja à adubação com K, o efeito residual dessa adubação sobre o rendimento de grãos de soja e sobre os teores de K nas folhas e no solo. Nos anos agrícolas de 1983/84 a 1992/93, foi conduzido um experimento com soja, num Latossolo Roxo eutrófico (LRe). Nos primeiros cinco anos foram aplicadas as doses de zero, 40, 80, 120, 160 e 200 kg/ha/ano de K₂O, no sulco de semeadura e a lanço. Após dez anos de experimentação, concluiu-se que os Latossolos Roxos, de alta fertilidade, mesmo os que apresentam alta disponibilidade de K, não podem ser cultivados por mais de dois anos com soja sem aplicação de K, pois isto limitaria a produtividade. A adubação de manutenção com apenas 80 kg/ha de K₂O num período de cinco anos diminui as reservas do solo. Para manter produtividades de 3.000 a 3.500 kg/ha, a adubação deve ser de 120 kg/ha de K₂O para a soja e de 160 kg/ha/ano de K₂O para a sucessão soja-trigo. Somente a soja com teor de K nas folhas acima de 17,1 g/kg alcançou produtividade em torno de 3.000 kg/ha.

Termos para indexação: adubação potássica, *Glycine max*, efeito residual.

FERTILIZATION RESPONSE AND POTASSIUM AVAILABILITY FOR SOYBEAN IN OXISOL

ABSTRACT - The soil, when intensively cultivated with soybean-wheat double-cropping system during several growing seasons, has the available K (fixed and specifically adsorbed K) reserves depleted after some years of cropping. This causes soil K deficiency for crops and yield reduction. The objective of this work was to study the soybean response to K fertilization, and the residual effect on soybean yields, on leaf and soil K content. The experiment was run with soybean during the growing seasons 1983/84 through 1992/93 in a 'Latossoilo Roxo eutrófico' (Eutroorthox) in Londrina, Paraná State, Brazil. In the first five years rates of zero, 40, 80, 120, 160 and 200 kg/ha/year of K₂O were applied. After ten years of experimentation it was concluded that in the 'Latossoilos Roxos eutróficos' of high fertility, even with high K availability the soybean cannot be cultivated for more than two years without K fertilization, with high probability to have limitations to obtain maximum yields. The K maintenance of 80 kg/ha/year of K₂O is not enough and in five years of double-cropping almost depleted the soil-K. The fertilization should be at least 120 kg/ha of K₂O for soybean and 160 kg/ha/year of K₂O for the soybean-wheat double-cropping system to keep top yields of 3,000 to 3,500 kg/ha. Soybean high yields, over 3,000 kg/ha, were associated with K in the leaf tissue higher than 17.1 g/kg.

Index terms: *Glycine max*, residual effect, broadcast fertilization.

INTRODUÇÃO

Os Latossolos Roxos eutróficos possuem alta disponibilidade de K, geralmente acima de 0,40 cmol/dm³. Por isso, no início da exploração agrícola intensiva desses solos, não havia resposta à adubação potássica. Palhano et al. (1983), estudando a adubação potássica na cultura da soja em solos

¹ Aceito para publicação em 16 de abril de 1997.

Parcialmente financiado pela POTAFÓS, mediante contrato de cooperação nº 10200-85/145-B, Embrapa-CNPSO/POTAFOS.

² Eng. Agr., Dr., Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Soja (CNPSO), Caixa Postal 231, CEP 86001-970 Londrina, PR. Bolsista do CNPq. E-mail: borkert@cnpsa.embrapa.br

³ Eng. Agr., Estagiário da Embrapa-CNPSO. Bolsista do CNPq.

do Paraná, não encontraram resposta à aplicação desse nutriente em três Latossolos Roxos eutróficos, que apresentavam, respectivamente, disponibilidade de K de: 0,43; 0,44 e 0,60 cmol/dm^3 .

No Brasil já foram realizados muitos trabalhos em casa de vegetação e em vasos com o objetivo de avaliar a capacidade de suprimento de K dos solos (Mielniczuk & Selbach, 1978; Faria & Pereira, 1987; Nachtigall & Vahl, 1991) e melhor entender o processo de disponibilidade de K (Rosolem et al., 1993). Da mesma forma, em experimentos conduzidos a campo foram estudados doses e métodos de aplicação de K para a cultura da soja em solo arenoso (Oliveira et al., 1992), onde houve resposta à adubação potássica. Há também resultados experimentais de efeito residual após três anos da aplicação de adubo potássico em Latossolo Roxo distrófico e em Podzólico Vermelho Amarelo, sem resposta no rendimento de grãos de soja e no teor de potássio nas folhas (Mascarenhas et al., 1970, 1981).

Entre os relatos de pesquisa, nos Latossolos Roxos do Paraná, e mesmo nos outros estados do Sul do Brasil, não se encontram trabalhos de longa duração que mostrem aumento na produtividade da soja com adubação de K e seu efeito residual. Nesses trabalhos o efeito residual à adubação de K é estudado no máximo até três anos (Borkert et al., 1975; Palhano et al., 1983).

Nos estados da Região Sul do Brasil é possível, devido ao clima e à boa distribuição de chuvas, o cultivo sucessivo, no mesmo ano, de trigo e de soja. Assim, a grande maioria dos agricultores, quando os preços desses produtos são favoráveis, pratica o cultivo de soja e trigo de forma intensiva por muitos anos, sem rotação. Esse procedimento tende a alterar o equilíbrio e a disponibilidade relativa de K do solo, especialmente quando a manutenção da fertilidade do solo, com adubação química, é negligenciada. Em média, a soja retira por meio dos grãos 24 kg de K por tonelada produzida (Borkert, 1986), o que significa uma grande quantidade de K subtraída do solo e que precisa ser repostada. O trigo, comparado à soja, retira bem menos, em torno de 2 a 6 kg de K por tonelada de grãos (Schrenk, 1964, citado por Siqueira, 1988).

Este trabalho tem os objetivos de estudar a resposta da soja à adubação com K, aplicada no sulco

de semeadura e a lanço, e o efeito residual dessa adubação sobre o rendimento de grãos e teores de K em folhas de soja, e de monitorar a disponibilidade de K ao longo dos anos.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido durante dez anos agrícolas (1983/84 a 1992/93), em um Latossolo Roxo eutrófico (LRe₂), com horizonte A moderado, textura argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo suave ondulado, com declives de 3 a 6% (Embrapa, 1984), no município de Londrina, no campo experimental da Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Soja (CNPSo).

Foi utilizado o delineamento em blocos ao acaso, com arranjo fatorial dos tratamentos 6x2, em parcelas subdivididas, com quatro blocos. Nas parcelas principais, foram avaliadas as doses de K, e o modo de aplicação, em subparcela. As doses de K₂O aplicadas foram: zero, 40, 80, 120, 160 e 200 kg/ha. Os modos de aplicação foram: adubo potássico aplicado a lanço e no sulco de semeadura abaixo da semente. As doses de K foram aplicadas anualmente nos primeiros cinco anos (1983/84 a 1987/88), sendo esse período denominado de "efeito acumulativo da adubação potássica", no qual foram criados e mantidos teores de K no solo. Nos cinco anos seguintes (1988/89 a 1992/93), a soja foi cultivada somente com o efeito residual da adubação.

A acidez do solo foi corrigida antes das safras 1983/84 e 1989/90 pela aplicação, respectivamente de 5 t/ha e 6 t/ha de calcário. As parcelas receberam adubação de 100 kg/ha de P₂O₅ todos os anos, sendo trocada a fonte em anos alternados; isto é, superfosfato simples por superfosfato triplo. No primeiro e no quinto ano, aplicaram-se os micronutrientes zinco, boro, molibdênio e cobalto na forma de óxidos silicatados. Os resultados da análise inicial do solo da camada de 0-20 cm, encontram-se na Tabela 1 e atestam as condições químicas de alta fertilidade desse solo. A Fig. 1 mostra que a disponibilidade natural de K era muito alta (0,47 cmol/dm^3).

No inverno de 1985 foi cultivado girassol, nos de 1989 e 1990, aveia-preta, e nos demais, trigo. Esses dados não serão discutidos neste trabalho.

Em todos os anos as sementes de soja receberam inoculações de *Bradyrhizobium japonicum*. A cultivar de soja semeada nos primeiros cinco anos foi a Paraná. Nos dois primeiros anos do efeito residual foi semeada a cultivar Ocepar-9 SS-1, e nos três últimos anos, a BR-16.

Durante todo o ciclo, a soja foi protegida do ataque de pragas pela aplicação de baculovírus e inseticidas especí-

TABELA 1. Análises químicas do Latossolo Roxo eutrófico de Londrina, PR, em duas profundidades de amostragem, antes de cada cultivo, nos anos de 1983 a 1992. Médias de 48 parcelas.

Prof. de Amost. (cm)	pH	Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Sat. Al (%)	M.O. (g/dm ³)	P (mg/kg)
(cmol _c /dm ³)								
1983								
0-20	6,21 ¹	0,00	-	7,32	1,85	0,00	29,50	22,60
1984								
0-20	6,35 ¹	0,00	-	7,32	1,85	0,00	29,50	22,58
1985 a 1987 ²								
0-20	4,98 ²	0,02	4,80	6,00	1,47	0,24	30,30	25,23
20-40	4,85 ²	0,06	5,12	4,63	1,34	1,18	23,70	14,12
1988								
0-20	4,57 ²	0,12	6,30	4,76	1,71	1,79	18,00	20,03
20-40	4,46 ²	0,22	6,11	3,80	1,63	4,14	13,30	8,35
1989 a 1992 ²								
0-20	5,27 ²	0,00	4,44	4,98	2,20	0,10	14,80	25,14
20-40	4,86 ²	0,08	5,11	3,98	1,63	1,45	11,70	8,13

¹pH em H₂O.

²pH em CaCl₂.

³Médias dos resultados repetidos ou muito próximos nas análises anuais no período abrangido.

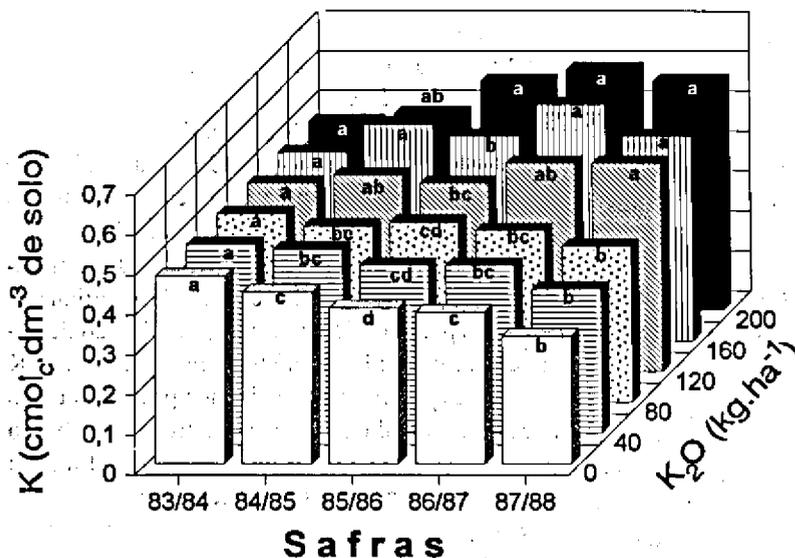


FIG.1. Efeito acumulativo da adubação potássica e do cultivo de soja sobre a disponibilidade de K-trocável na profundidade de 0-20 cm em um Latossolo Roxo eutrófico. Doses aplicadas anualmente, antes da semeadura da soja. Barras com letras iguais na mesma safra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

ficos. As plantas daninhas, em alguns anos, foram controladas por herbicidas antes da semeadura e, após, por capina manual, sempre que necessário.

A coleta de amostras de solo foi efetuada aproximadamente um mês antes da semeadura. Nos primeiros dois anos, até 1984, as amostras só foram tomadas à profundidade de 0-20 cm. De 1985 em diante, foram coletadas também nas profundidades de 20-40 cm, e todas analisadas de acordo com os métodos descritos em Embrapa (1979). Logo após a amostragem de solo, as parcelas foram preparadas com aplicação dos tratamentos e de adubo comum a todas elas. Desde a incorporação do calcário, no início do

experimento, com exceção do ano de 1989, quando se aplicou calcário novamente, o experimento não foi arado nem gradeado, para evitar a contaminação de parcelas vizinhas e a compactação do solo com o tráfego de máquinas pesadas. A incorporação dos adubos espalhados a lanço foi feita com escarificador.

A amostragem de tecido vegetal, para avaliar o estado nutricional da soja, aconteceu no início da floração, tomando-se 30 folhas por parcela, das terceiras e quartas folhas trifolioladas, contadas do topo para baixo, que são as consideradas maduras e fisiologicamente ativas no início da floração. As análises de tecido vegetal foram efetuadas no Laboratório de Análises Químicas de Solo e Tecido Vegetal - LAQSTV, da Embrapa-CNPSO, seguindo o método da digestão nitroperclórica e leitura no espectrofotômetro de absorção atômica para Ca, Mg e micronutrientes. O K foi determinado por fotometria de chama, o P e o N, pelo método espectrofotométrico.

Os balanços hídricos decendiais das dez safras (1983/84 a 1992/93) foram calculados pelo método de Thornthwaite & Mather (1955) e representados graficamente.

Foi efetuada a análise da variância dos dados e aplicação do teste de Duncan a 5% de probabilidade para a comparação entre médias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como nos dez anos de condução do experimento não observaram-se diferenças entre a aplicação do K no sulco de semeadura e a lanço, todos os dados apresentados e discutidos são de médias obtidas nessas duas subparcelas. Esses dados serão abordados em duas seções separadas: inicialmente, os primeiros cinco anos, onde foram aplicadas anualmente nas parcelas as doses de K, e na segunda, o acompanhamento do efeito residual das doses aplicadas.

Efeito acumulativo da aplicação de doses de cloreto de potássio

Os resultados das análises químicas das amostras de solo coletadas antes de cada cultivo, com exceção do K, de pouca ou nenhuma variabilidade entre os tratamentos, mostram que nos primeiros cinco anos o solo não apresentou problemas de acidez e que a disponibilidade de fósforo, na camada de 0-20 cm, sempre esteve acima de 20 mg/kg (Tabela 1).

O monitoramento da concentração dos nutrientes nas folhas de soja na floração (Tabelas 2 e 3),

efetuado anualmente, mostra que a soja cultivada nas parcelas experimentais não revelou problemas nutricionais. Na safra 1984/85, os teores de N e Cu estiveram pouco abaixo dos considerados suficientes para a soja, ou seja, N de 40 a 55 g/kg e Cu de 10 a 30 mg/kg (Embrapa, 1996).

As doses de K_2O tiveram efeito negativo sobre os teores de Ca e de Mg (Tabela 2), o que não aconteceu nos outros nutrientes e, por isso, foram usadas as médias das seis doses em cada ano (Tabela 3).

O LRd tem naturalmente disponibilidade de potássio entre 0,40 a 0,50 cmol_c/dm³. Esses teores, na camada de 0-20 cm do solo, foram gradativamente diminuindo na parcela testemunha e também nos tratamentos 40 e 80 kg/ha/ano de K_2O (Fig. 1). Rosolem et al. (1984) e Rosolem & Nakagawa (1985) também observaram, em um Latossolo Vermelho-Escuro fase arenosa, a necessidade de aplicar doses anuais maiores que 80 kg/ha de K_2O para a manutenção da fertilidade. As doses anuais de 120 e 160 kg/ha de K_2O foram suficientes para manter o teor de K-trocável no solo próximo ao teor inicial, enquanto que a dose elevada de 200 kg/ha/ano de K_2O aumentou a disponibilidade de K-trocável no solo na camada de 0-20 cm. O decréscimo da disponibilidade de K foi mais rápido na camada de 20-40 cm do que na camada de 0-20 cm (Fig. 2). Esta diferença é acentuada pela maior exploração das raízes na camada de 20-40 cm (Vilela & Ritchey, 1985) e pelo retorno dos resíduos culturais, que reciclam o K e auxiliam na manutenção dos teores na camada de 0-20 cm (Ritchey et al., 1987).

Embora tenha havido diminuição da disponibilidade de potássio no solo, esta ainda mantinha-se acima do ponto crítico; portanto, a aplicação de doses crescentes de K não afetou a porcentagem de K acumulado nas folhas de soja, nos primeiros cinco anos de estudo do efeito acumulativo da adubação potássica (Fig. 3). O teor de K nas folhas foi mais afetado pelas condições climáticas.

O balanço hídrico decendial dos primeiros cinco anos (Fig. 4) mostra os períodos em que pode ter havido falta ou excesso de água para as plantas. No estágio de crescimento vegetativo, períodos de seca muito prolongados induzem a soja a aprofundar o sistema radicular, enquanto o excesso de água

TABELA 2. Efeitos acumulativos (1983 a 1987/88) e residual (1988 a 1992/93) de doses de K sobre os teores de Ca e Mg, nas folhas de soja. Médias de dois modos de aplicação de K e de quatro repetições em Latossolo Roxo eutrófico de Londrina, PR.

K ₂ O, (kg/ha)	Ca (g/kg)					Mg (g/kg)				
	83/84	84/85	85/86	86/87	87/88	83/84	84/85	85/86	86/87	87/88
	Efeito acumulativo									
0 ¹	9,8	6,1	5,4	7,1	7,3	4,4	1,9	3,3	3,6	3,7
40	10,9	5,2	5,4	6,9	7,3	4,4	1,7	3,2	3,4	3,7
80	9,9	5,6	5,8	7,1	7,4	4,7	2,1	3,6	3,8	3,8
120	10,7	6,3	5,9	7,2	7,5	4,7	2,0	3,3	3,9	3,6
160	9,8	5,6	6,3	6,9	7,1	4,5	1,8	3,7	3,3	3,7
200	10,0	4,7	5,8	6,5	7,1	4,5	1,6	3,3	3,7	3,7
	88/89	89/90	90/91	91/92	92/93	88/89	89/90	90/91	91/92	92/93
	Efeito residual									
0 ²	5,4	8,7	9,8	9,5	13,0	2,7	3,7	5,0	6,0	6,3
40	5,6	8,4	8,1	8,8	12,8	2,3	3,3	4,2	5,3	6,1
80	4,8	9,4	8,7	7,8	12,2	2,5	3,2	4,5	5,2	6,6
20	5,4	8,6	7,2	7,9	10,1	2,2	2,9	3,3	4,4	5,2
160	5,0	7,7	6,3	6,8	8,2	2,4	2,9	2,9	4,2	4,3
200	4,8	9,6	6,1	7,2	8,4	2,1	2,9	2,9	4,0	4,0

¹ Doses anuais aplicadas na forma de cloreto de potássio somente até a safra 1987/88.

² Doses aplicadas durante os primeiros cinco anos.

TABELA 3. Efeitos acumulativo e residual do K sobre os teores de alguns nutrientes nas folhas da soja. Médias de dois modos de aplicação; de seis doses de K e de quatro repetições, nas safras de 1983/84 a 1992/93 em Latossolo Roxo eutrófico de Londrina, PR.

Safra	N	P	Zn	Mn	Fe	Cu
	(g/kg)			(mg/kg)		
	Efeito acumulativo					
1983/84	46,3	4,0	48	129	307	9,8
1984/85	31,7	2,6	37	167	320	6,6
1985/86	56,1	5,0	58	146	176	10,4
1986/87	53,7	4,3	50	200	296	10,0
1987/88	49,5	3,8	49	145	267	10,7
	Efeito residual					
1988/89	26,1	1,0	33	169	467	5,0
1989/90	53,7	4,1	46	145	139	10,0
1990/91	42,2	2,5	40	113	375	12,0
1991/92	55,5	4,3	44	140	247	14,0
1992/93	46,8	2,3	37	131	381	11,0

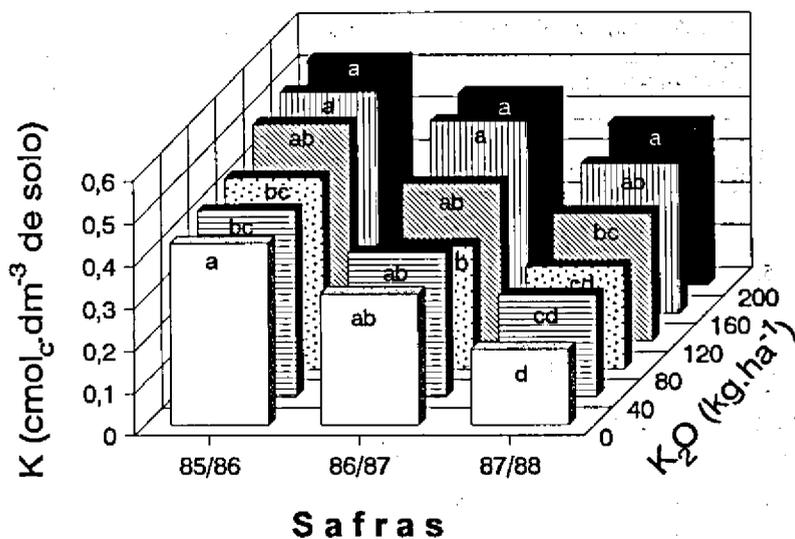


FIG. 2. Efeito acumulativo da adubação potássica e do cultivo de soja sobre a disponibilidade de K-trocável na profundidade de 20-40 cm em um Latossolo Roxo eutrófico. Doses aplicadas anualmente, antes da semeadura da soja. Barras com letras iguais na mesma safra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

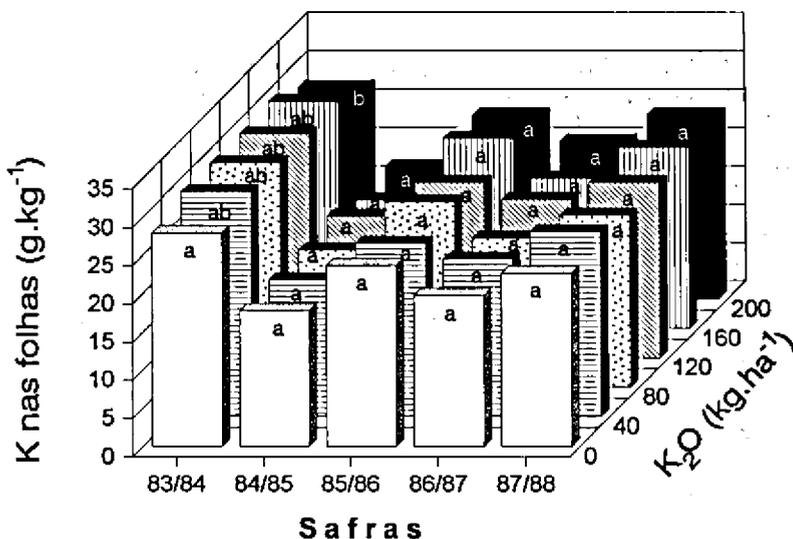


FIG. 3. Efeito acumulativo da adubação potássica sobre o teor de K nas folhas de soja madura e fisiologicamente ativas no início da floração. Doses aplicadas anualmente, antes da semeadura da soja. Barras com letras iguais na mesma safra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

estimula o crescimento do sistema radicular na superfície (Reicosky & Heatherly, 1990). O movimento de íons na solução do solo em direção às raízes e aos pêlos radiculares se processa por fluxo de massa e difusão (Barber, 1995). Quando em períodos prolongados de seca, onde há diminuição significativa da solução do solo, esses processos tornam-se lentos ou quase param inibindo o movimento em direção às raízes, e conseqüentemente, a absorção dos nutrientes, com prejuízo da produtividade. Como nas safras 1984/85 e 1986/87 houve excesso de chuva no período de crescimento vegetativo, seguido de seca na floração (Fig. 4), a absorção de K (Fig. 3) e a de P (Tabela 3), muito dependentes da difusão para serem absorvidos, foram afetadas, o que contribuiu para a menor produtividade (Fig. 5). O efeito da seca na redução do teor de K na planta (Fig. 3) bem como nas sementes de soja (Fig. 6) ficou mais evidente no ano agrícola 1986/87.

Por outro lado, quando há estresse hídrico prolongado durante todo o período de crescimento vegetativo há o aprofundamento do sistema radicular com maior exploração de volume de solo e maior superfície radicular, então, a seca que poderia limitar a absorção de nutrien-

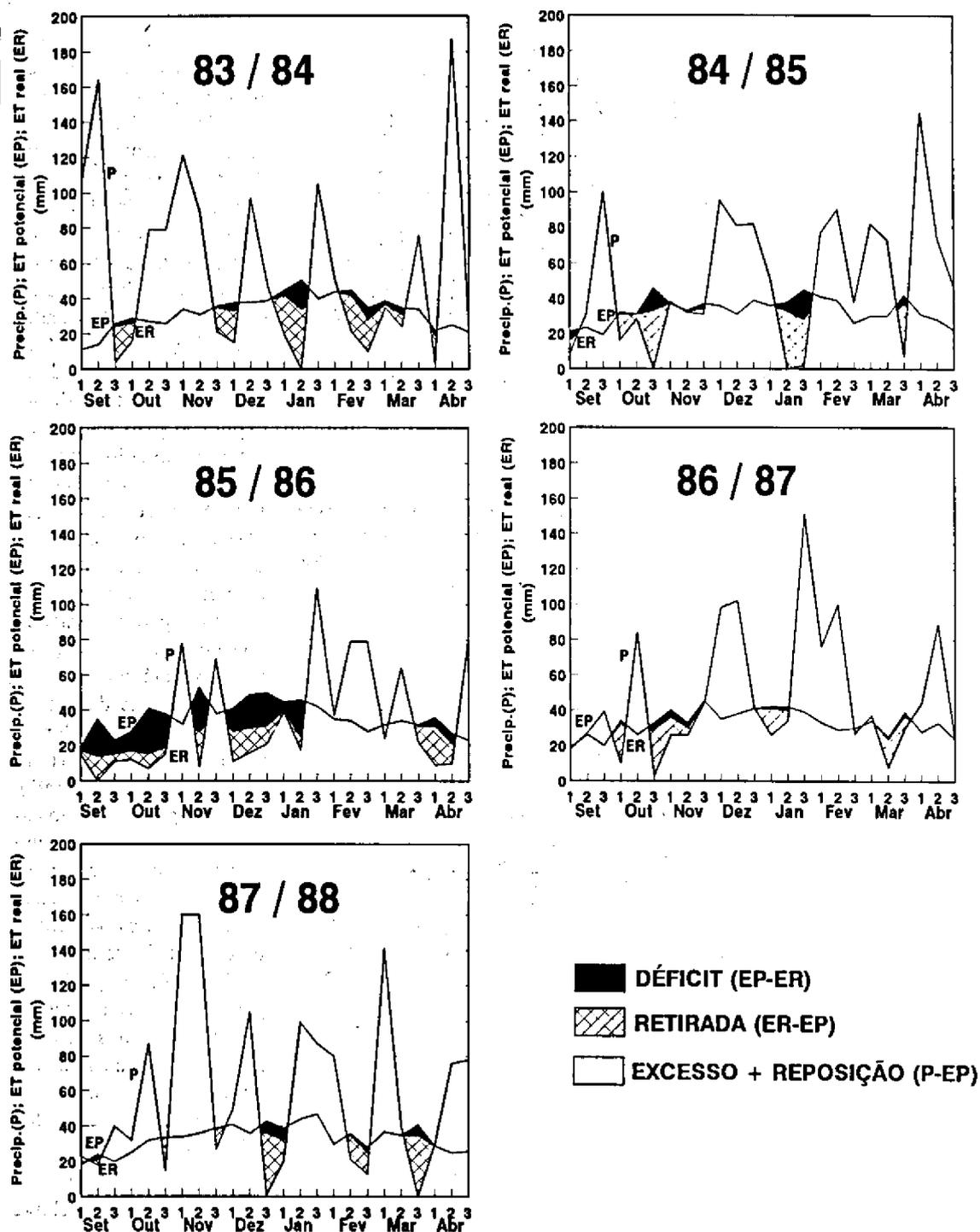


FIG. 4. Balanços hídricos decenciais no local do experimento dos primeiros 5 anos de efeito acumulativo da adubação potássica.

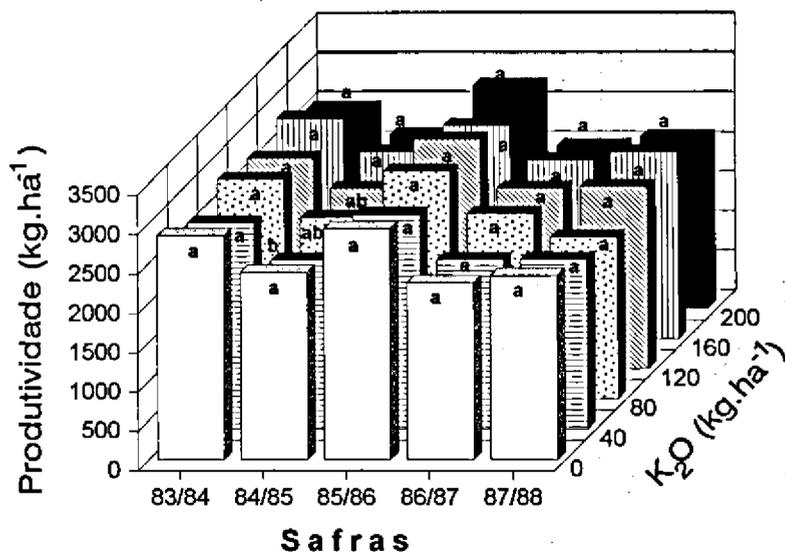


FIG. 5. Efeito acumulativo da adubação potássica sobre a produtividade de soja cultivada em Latossolo Roxo eutrófico. Doses aplicadas anualmente, antes da semeadura da soja. Barras com letras iguais na mesma safra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

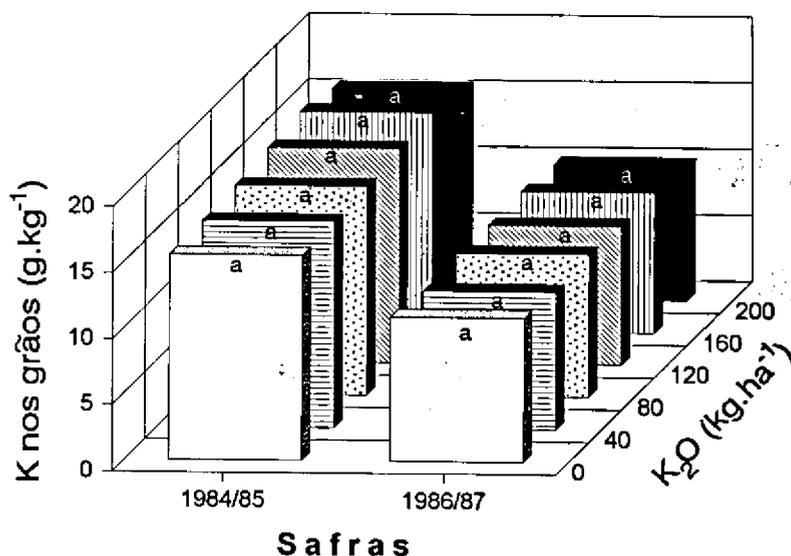


FIG. 6. Efeito acumulativo da adubação potássica sobre o teor de K nas sementes de soja. Doses aplicadas anualmente, antes da semeadura da soja. Barras com letras iguais, na mesma safra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

tes, acaba tornando-se uma vantagem com o reinício das chuvas e com a água suficiente desde o início da floração até a formação das vagens e enchimento total dos grãos (Fig. 4), como ocorreu na safra 1985/86. Nesse caso, o período de seca não chega a ter influência a ponto de diminuir a concentração de nutrientes no tecido (Fig. 3 e Tabela 3) nem a produtividade (Fig. 5). Tal fato pode ser explicado pelo retorno da umidade no solo ainda no período que antecede a floração, que cria condições ideais para uma maior difusão e fluxo de massa. Assim, proporcionam às plantas condições para aumentarem a velocidade de absorção e o influxo máximo, e compensar os dias de menor absorção de P e K durante a seca (Borkert & Barber, 1983; Barber, 1995). Essa compensação pelo aumento do influxo máximo na absorção de nutrientes, pode ser suficiente para não reduzir significativamente a produtividade, como na safra 1985/86, em que houve períodos de seca antes da floração seguidos de água suficiente para a cultura até o fim do ciclo, com a maior produtividade média dos primeiros cinco anos.

No ano agrícola 1983/84, com pouca chuva (Fig. 4) e um curto período de déficit hídrico antes

da floração, a absorção de K (Fig. 3) e a produtividade (Fig. 5) não foram afetadas. No último ano do efeito acumulativo da adubação potássica, verificou-se pequena seca antes da floração seguida de boa distribuição de chuvas até o final do ciclo (Fig. 4), sem efeito significativo na absorção de K (Fig. 3) e na produtividade (Fig. 5).

Efeito residual da aplicação de doses de cloreto de potássio

No primeiro ano do efeito residual já havia uma diferença grande entre a disponibilidade de K da parcela testemunha comparada à do tratamento 200 kg/ha/ano de K_2O (Fig. 7). Durante os cinco anos de cultivos sucessivos de soja e trigo sem adubação potássica, a disponibilidade desse nutriente diminuiu de 0,29 para 0,07 $cmol_c/dm^3$ na parcela testemunha, e de 0,60 para 0,19 $cmol_c/dm^3$ no tratamento de maior aplicação de K. Essa rapidez no esgotamento da disponibilidade de K na camada de 0-20 cm desse solo (Fig. 7), também foi acompanhada pela drástica diminuição no teor de K-trocável na camada de 20-40 cm, com o decréscimo da dis-

ponibilidade de K de 0,20 para 0,05 $cmol_c/dm^3$ na parcela testemunha e no tratamento 200 kg/ha/ano de K_2O , de 0,46 para 0,09 $cmol_c/dm^3$ (Fig. 8). Tais dados comprovam que o cultivo soja-trigo, sem a reposição pelo menos do K extraído pelos grãos, esgota rapidamente a disponibilidade, mesmo em solos que possuem teores de K-trocável considerados altos (0,30 a 0,60 $cmol_c/dm^3$). É interessante ressaltar que, a partir do segundo ano de efeito residual (safra 1989/90), o esgotamento do K-trocável ocorreu com maior ênfase e rapidez na camada de solo de 20-40 cm (Figs. 7 e 8).

Também, nos cinco anos de estudo do efeito residual da adubação potássica foi monitorado o estado nutricional da soja (Tabelas 2 e 3), mediante análise dos nutrientes nas folhas no início da floração. No primeiro ano do efeito residual, safra 1988/89, foi observado que todos os nutrientes estavam abaixo do nível considerado bom, de acordo com a tabela de suficiência apresentada por Sfredo et al. (1986). Como no solo tanto a fertilidade em geral (Tabela 1), quanto a disponibilidade de K-trocável

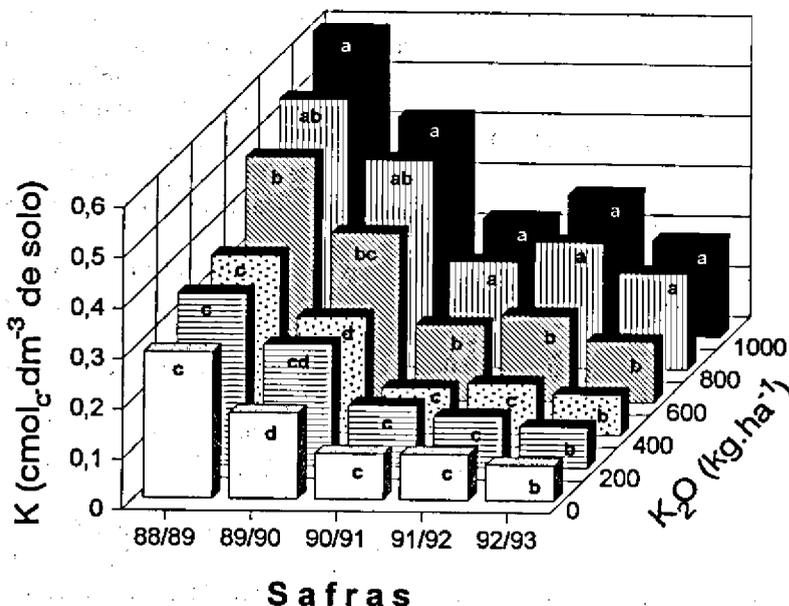


FIG. 7. Efeito residual da adubação potássica e do cultivo de soja sobre a disponibilidade de K-trocável na profundidade de 0-20 cm em um Latossolo Roxo eutrófico. Total de K aplicado nos primeiros 5 anos de efeito acumulativo. Barras com letras iguais na mesma safra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

estavam acima do ponto crítico (Fig. 7), somente a falta prolongada de água antes e na floração poderia explicar o baixo teor de todos os nutrientes nas folhas de soja no início da floração. O gráfico do balanço hídrico decendial da safra 1988/89 (Fig. 9) mostra o longo período de estiagem que se iniciou em 3/11/88 e estendeu-se até 24/12/88, com precipitação inferior a 60 mm. Esse déficit hídrico atingiu o início da floração, quando foram coletadas as amostras de folhas para análise, o que deve ter inibido a absorção máxima e o alcance do nível de suficiência de todos os nutrientes na planta (Tabelas 2 e 3 e Fig. 10). Porém, como após essa data não houve mais limitação de

água no solo (Fig. 9), as plantas devem ter reestabelecido o suprimento de nutrientes por meio da aceleração do influxo máximo (Borkert & Barber, 1983), para o satisfatório enchimento dos grãos sem qualquer limitação de nutrientes. Portanto, a falta de umidade não chegou a afetar seriamente o rendimento de grãos, que atingiu 2.174 kg/ha (Fig. 11), nem o teor de K nas sementes (Fig. 12), embora não permitisse a obtenção de rendimentos máximos. Em anos sem limitações de água, foram obtidas produtividades de 3.300 kg/ha (Fig. 11), como na safra 1992/93.

Nos quatro anos seguintes do efeito residual, nas safras 1989/90 a 1992/93, o teor dos nutrientes nas folhas de soja, com exceção do K, a partir de 1990/91, esteve sempre dentro dos níveis de suficiência (Tabelas 2 e 3) para boa produtividade de soja (Sfredo et al., 1986).

Enquanto a disponibilidade de K-trocável estava acima de $0,15 \text{ cmol/dm}^3$, nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm (Figs. 7 e 8), safra 1989/90, o teor de K nas folhas estava entre 19,8 a 22,7 g/kg de K, portanto, dentro da faixa de suficiência (17,1 a 25,0 g/kg de K) para folhas de soja, estabelecida por Borkert et al. (1993), e apresentada na tabela de níveis críticos (Embrapa, 1996). A partir da safra 1990/91, no terceiro ano do efeito residual da adubação potássica, quando a soja foi semeada após o segundo ano de cultivo de inverno com aveia-preta, verificou-se que a disponibilidade de K baixou para menos de $0,15 \text{ cmol/dm}^3$ nas parcelas testemunha e nas doses 40 e 80 kg/ha/ano de K_2O , com um total de 200 e 400 kg/ha de K_2O aplicado (Figs. 7 e 8), e que o teor de K nas folhas de soja cultivada nestes três tratamentos (zero, 40 e 80 kg/ha/ano de K_2O) foi significativamente menor (Fig. 10). Tal fato foi suficiente para o aparecimento de sintomas visuais de deficiência de K em soja nas parcelas testemu-

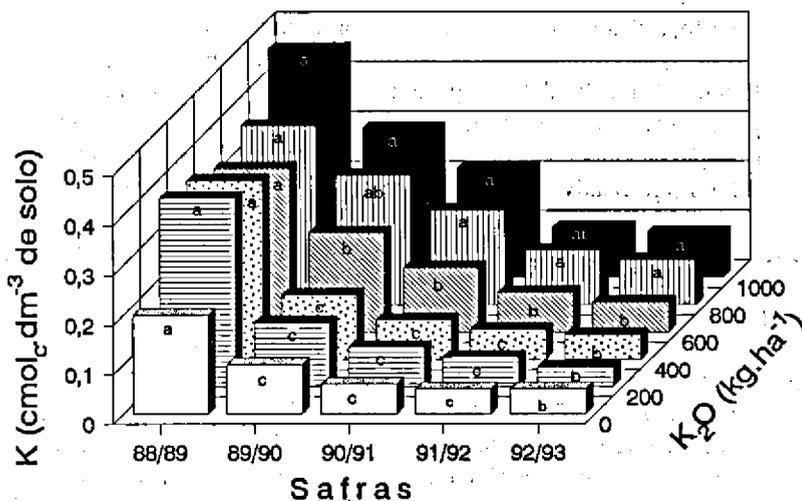


FIG. 8. Efeito residual da adubação potássica e do cultivo de soja sobre a disponibilidade de K-trocável na profundidade de 20-40 cm em um Latossolo Roxo eutrófico.

nha e 40 kg/ha/ano de K_2O , e para a queda significativa de produtividade nesses tratamentos e no tratamento 80 kg/ha/ano de K_2O (Fig. 11). A baixa disponibilidade de K para a soja além de diminuir o teor desse nutriente nas folhas e de causar a queda de produtividade, também diminuiu significativamente seu teor nas sementes (Fig. 12). Borkert et al. (1989) mostraram que deficiência de K causa uma redução na resistência da soja às doenças fúngicas e também na qualidade física, fisiológica e sanitária das sementes.

Nas duas últimas safras (1991/92 e 1992/93) verificou-se a mesma tendência, com redução ainda maior da disponibilidade de K-trocável, tanto na camada de 0-20 cm, como na de 20-40 cm de profundidade do solo (Figs. 7 e 8). Isto aumentou a diferença entre os tratamentos, quanto ao teor de K nas folhas de soja na floração (Fig. 10) e ampliou o número de parcelas que apresentavam sintomas de deficiência de K, do tratamento zero até o de 120 kg/ha/ano de K_2O . Como consequência, máximas produtividades só foram obtidas nas parcelas que no período do efeito acumulativo receberam 800 a 1.000 kg/ha de K_2O (Fig. 11); nas restantes, houve limitação no rendimento de grãos de soja.

No último ano do efeito residual, safra 1992/93, ficou bem definido que a soja cultivada em Latossolo

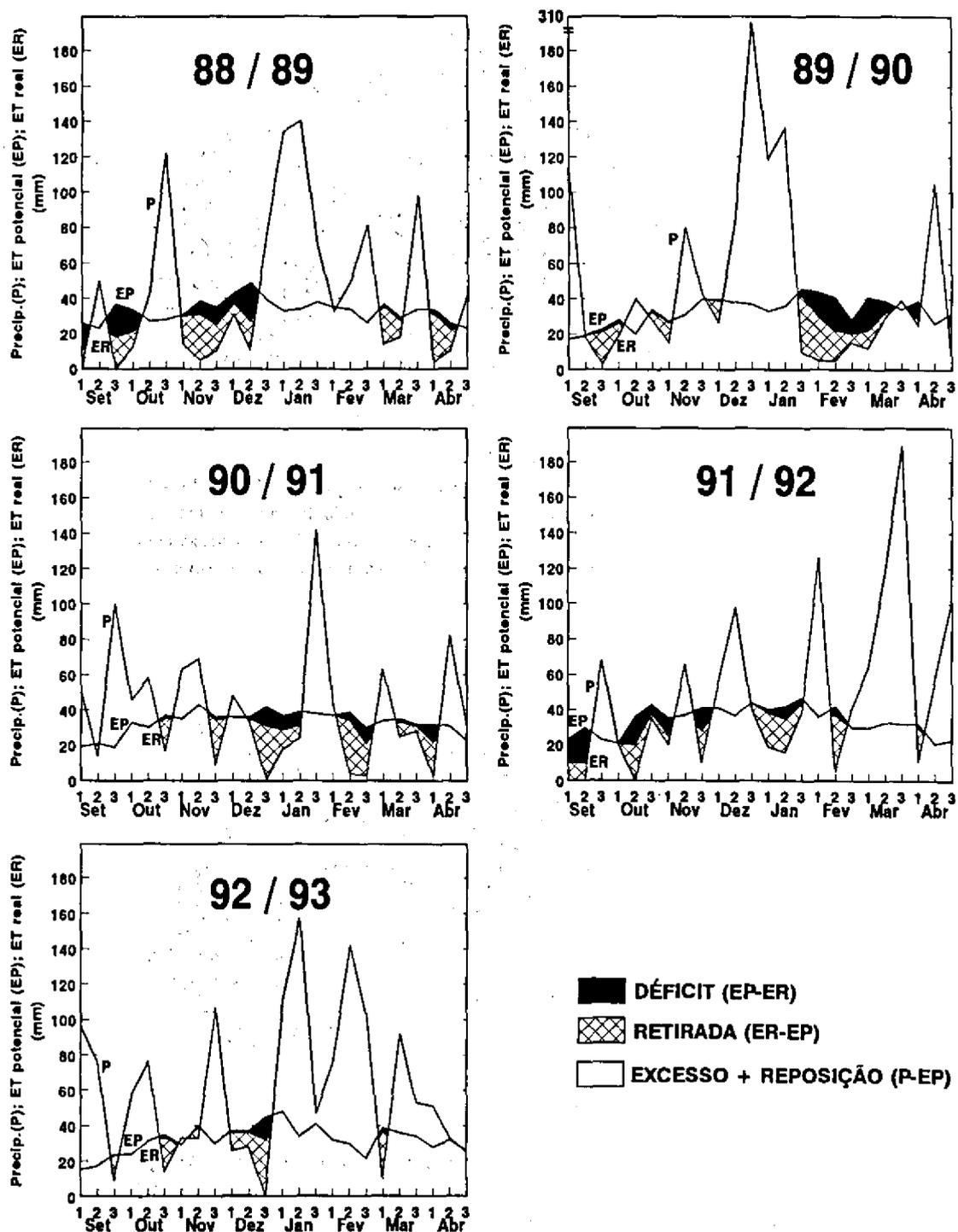


FIG. 9. Balanços hídricos decendiais no local do experimento dos cinco anos de efeito residual da adubação potássica.

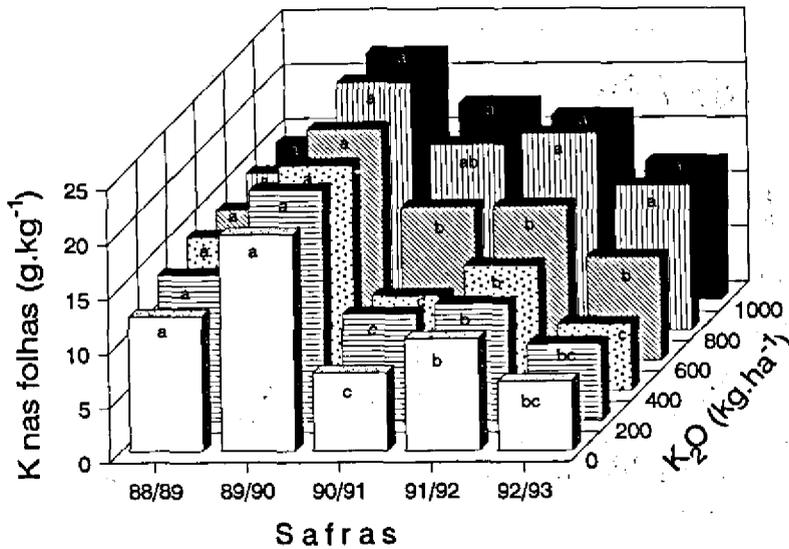


FIG. 10. Efeito residual da adubação potássica sobre o teor de K nas folhas de soja maduras e fisiologicamente ativas no início da floração. Total de K aplicado nos primeiros 5 anos de efeito acumulativo. Barras com letras iguais na mesma safra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

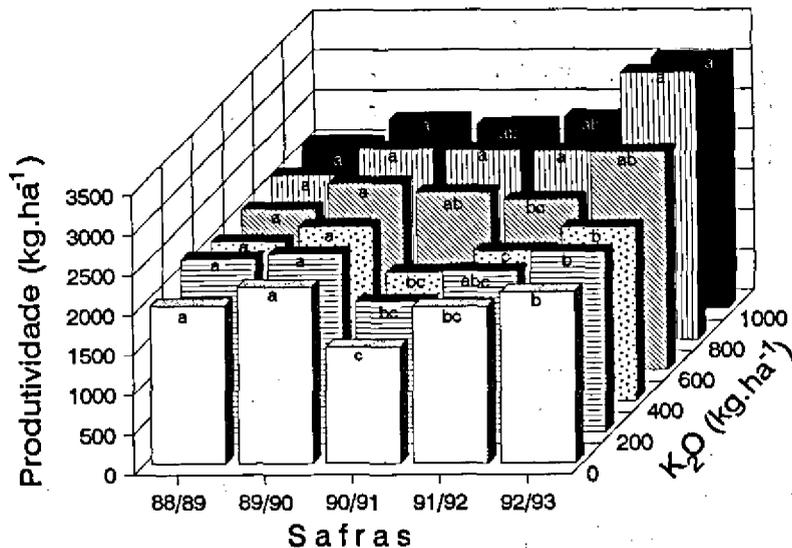


FIG. 11. Efeito residual da adubação potássica sobre a produtividade de soja cultivada em Latossolo Roxo eutrófico. Total de K aplicado nos primeiros 5 anos de efeito acumulativo. Barras com letras iguais na mesma safra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

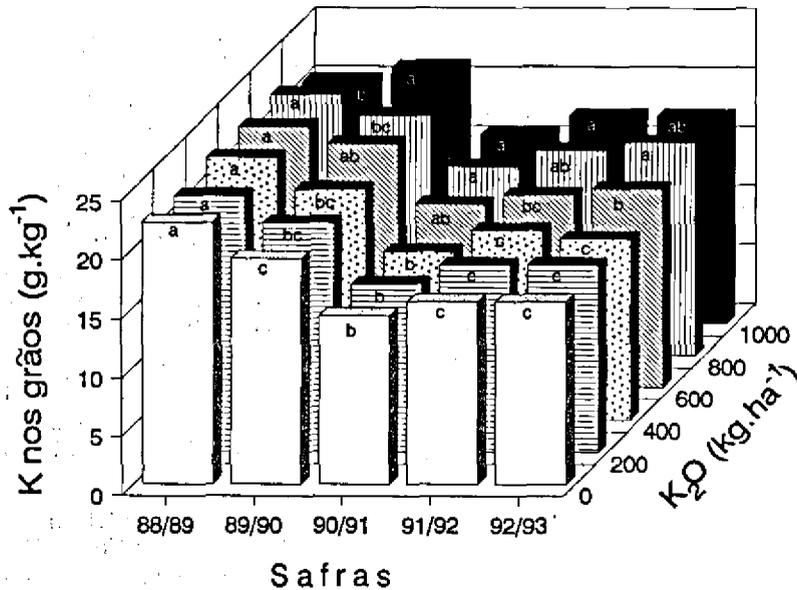


FIG. 12. Efeito residual da adubação potássica sobre o teor de K nas sementes de soja. Total de K aplicado nos primeiros 5 anos de efeito acumulativo. Barras com letras iguais na mesma safra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

Roxo eutrófico, cuja disponibilidade de K-trocável tenha sido esgotada por mau manejo da fertilidade do solo, produzirá sementes com menor teor de K (Fig. 12) e com grandes riscos de terem comprometidas as qualidades física, fisiológica e sanitária quando este baixar de 15,0 g/kg de K, como já observado por Borkert et al. (1989).

CONCLUSÕES

1. A aplicação de 80 kg/ha/ano de K₂O é insuficiente para manter altas produtividades da sucessão soja-trigo, quando se tem expectativa de produtividades na faixa de 3.000 a 3.500 kg/ha de soja.

2. Alta produtividade de soja está associada à alta porcentagem de K nas folhas de soja na floração.

3. As concentrações de nutrientes nas folhas de soja na floração somente podem ser utilizadas para interpretar a condição do estado nutricional da soja quando, durante o crescimento vegetativo, não tiver ocorrido seca prolongada que possa ter interferido na movimentação dos nutrientes no solo e na absorção de íons pela planta.

4. Sem a limitação de seca no período de crescimento vegetativo da soja, teores de K nas folhas

durante a floração, menores que 12,5 g/kg, estão associados a sintomas severos de deficiência e à queda na produtividade.

AGRADECIMENTOS

Ao pesquisador João Batista Palhano, *in memoriam*, pela valiosa participação no início da condução deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- BARBER, S.A. Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach. 2.ed. New York: John Wiley & Sons, 1995. 414p.
- BORKERT, C.M. Extração de nutrientes pela soja. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 14., 1986, Chapecó. Anais... Chapecó: EMPASC/Embrapa-CNPSo, 1986. p.164-165.
- BORKERT, C.M.; BARBER, S.A. Effect of supplying P to portion of the soybean root system on root growth and P uptake kinetics. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v.6, n.10, p.895-910, 1983.
- BORKERT, C.M.; FRANÇA NETO, J. de B.; HENNING, A.A. Potassium fertilization reduces seed infection

- by *Phomopsis* sp. and improves seed quality. In: **WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE**, 4., 1989, Buenos Aires. **Proceedings...** Buenos Aires: Asociacion Argentina de la Soja, 1989. p.2265-2275.
- BORKERT, C.M.; SILVA, D.N da; SFREDO, G.J. Calibração de potássio nas folhas de soja em latossolo roxo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, n.2, p.227-230, 1993.
- BORKERT, C.M.; SIQUEIRA, O.J.F. de; KOCHHANN, R.A.; BARTZ, H.R.; SCHOLLES, D.; MARTINI, J.A. Considerações sobre a disponibilidade de potássio em alguns solos do planalto riograndense, em relação ao K aplicado ao solo e ao sistema de cultivo trigo e soja. In: **REUNIÃO CONJUNTA DE PESQUISA DE SOJA**, 3., 1975, Porto Alegre. Soja: Resultados de pesquisa obtidos em Passo Fundo em 1974/75. Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 1975. v.2, p.47-56.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja (Londrina, PR). **Recomendações técnicas para a cultura da soja no Paraná 1996/97**. Londrina: Embrapa-CNPSo, 1996. 187p.(Embrapa-CNPSo. Documentos, 97).
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Levantamentos de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná**. Londrina: Embrapa-SNLCS/SUDESUL/IAPAR, 1984. t.1. (Embrapa-SNLCS. Boletim Técnico, 27).
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro, 1979. v.1.
- FARIA, C.M.B. de; PEREIRA, J.R. Capacidade de suprimento de potássio de cinco solos do submédio São Francisco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.22, n.7, p.673-679, jul. 1987.
- MASCARENHAS, H.A.A.; MIYASAKA, S.; IGUE, T.; FREIRE, E.S. Adubação de soja. VIII. Efeito de doses crescentes de calcário, fósforo e potássio em solo Podzólico Vermelho-Amarelo, variação Piracicaba. **Bragantia**, Campinas, v.29, n.8, p.81-89, 1970.
- MASCARENHAS, H.A.A.; VALADARES, J.M.A. da S.; ROTTA, C.L.; BULISANI, E.A. Adubação potássica na produção de soja, nos teores de potássio nas folhas e na disponibilidade de potássio em latossolo roxo distrófico de cerrado. **Bragantia**, Campinas, v.40, n.12, p.125-134, 1981.
- MIELNICZUK, J.; SELBACH, P.A. Capacidade de suprimento de potássio de seis solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.2, n.2, p.115-120, 1978.
- NACHTIGALL, G.R.; VAHL, L.C. Capacidade de suprimento de potássio dos solos da região sul do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, n.1, p.37-42, 1991.
- OLIVEIRA, F.A. de; SILVA, J.J.S. e; VILELA, L.; SOUSA, D.M.G. de. Doses e métodos de aplicação de potássio na soja em solos dos cerrados da Bahia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.27, n.11, p.1485-1495, nov. 1992.
- PALHANO, J.B.; MUZZILI, O.; IGUE, K.; GARCIA, A.; SFREDO, G.J. Adubação fosfatada e potássica em cultura de soja no estado do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.18, n.4, p.357-362, abr. 1983.
- REICOSKY, D.C.; HEATHERLY, L.G. Soybean. In: STEWART, B.A.; NIELSEN, D.R. **Irrigation of agricultural crops**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1990. p.639-674. (Agronomy, 30).
- RITCHEY, K.D.; CERKAUSKAS, R.F.; SILVA, J.E. da; VILELA, L. Residual effects of potassium and magnesium on soybean yield and on disease incidence in a Cerrado Dark-Red latosol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.22, n.8, p.825-832, ago. 1987.
- ROSOLEM, C.A.; BESSA, A.M.; PEREIRA, H.F.M. Dinâmica do potássio no solo e nutrição potássica da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, n.9, p.1045-1054, set.1993.
- ROSOLEM, C.A.; NAKAGAWA, J. Potassium uptake by soybean as affected by exchangeable potassium in soil. **Communications in Soil Science Plant Analysis**, New York, v.16, n.7, p.707-726, 1985.
- ROSOLEM, C.A.; NAKAGAWA, J.; MACHADO, J.R. Adubação potássica da soja em Latossolo Vermelho-Escuro fase arenosa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.19, n.11, p.1319-1326, nov. 1984.
- SFREDO, G.J.; LANTMANN, A.F.; CAMPO, R.J.; BORKERT, C.M. Soja: nutrição mineral, adubação e calagem. Londrina: Embrapa-CNPSo, 1986. 51p. (Embrapa-CNPSo. Documentos, 17).
- SIQUEIRA, O.J.F. de. **Adubação foliar em trigo**. Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 1988. 48p. (Embrapa-CNPT. Documentos, 10).
- THORNTHWAITTE, C.W.; MATHER, J.R. The water balance. **Publications in Climatology**, Centerton, NJ, v.8, n.1, p.1-104, 1955.
- VILELA, L.; RITCHEY, K.D. Potassium in intensive cropping systems on highly weathered soils. In: MUNSON, R.D. (Ed.). **Potassium in Agriculture**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1985. p.1155-1175.