

# ABSORÇÃO DE P, K, Mg, Ca e S POR ARROZ INFLUENCIADA PELA DEFICIÊNCIA HÍDRICA, VERMICULITA E CULTIVAR<sup>1</sup>

LUIS FERNANDO STONE<sup>2</sup>

RESUMO-Foram estudados os efeitos de quatro lâminas d'água e de dois tratamentos de vermiculita na absorção de P, K, Mg, Ca e S pelas cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.): IAC 47, IRAT 13 e IET 1444. Utilizaram-se amostras da camada de 0 cm - 20 cm de um Latossolo Vermelho-Escuro. As diferentes lâminas d'água foram aplicadas diariamente, do início da fase reprodutiva até a colheita, e corresponderam a 55%, 70%, 85% e 100% da evapotranspiração máxima. A incorporação de vermiculita ao solo aumentou a absorção de P, K e Mg, diminuiu a de Ca e não afetou a de S. A deficiência hídrica não afetou a absorção de Mg, Ca e S, mas reduziu a de P e K. As cultivares estudadas diferiram quanto à absorção de nutrientes. A distribuição, na planta, dos nutrientes absorvidos, variou com a intensidade do estresse hídrico, com o nutriente considerado e com a cultivar.

Termos para indexação: lâminas d'água, evapotranspiração, nutrientes, Latossolo Vermelho-Escuro, água do solo.

## RICE UPTAKE OF P, K, Mg, Ca AND S AS INFLUENCED BY WATER STRESS, VERMICULITE AND CULTIVAR

ABSTRACT - The effects of four irrigation levels and two vermiculite treatments on the P, K, Mg, Ca and S uptake by rice (*Oryza sativa* L.) cultivars IAC 47, IRAT 13 and IET 1444 were measured in a greenhouse experiment using soil surface samples (0 cm - 20 cm) of a Dark-Red Latosol (Haplustox). The treatments included the irrigation levels corresponding to 55%, 70%, 85% and 100% of maximum evapotranspiration with and without vermiculite incorporation in the soil at 10% concentration on volume basis. The irrigation treatments were administered daily from the beginning of the reproductive phase until harvesting. The incorporation of vermiculite into the soil increased P, K and Mg uptake and decreased Ca. However, it did not affect S uptake. Water stress decreased P and K uptake but did not affect Mg, Ca and S. There were differences among the cultivars concerning nutrient uptake. The distribution of absorbed nutrients in the plant varied with water stress intensity, nutrient and cultivar.

Index terms: ground-water levels, evapotranspiration, nutrients, Dark-Red Latosol, soil water.

## INTRODUÇÃO

A maioria das lavouras de arroz de sequeiro do Brasil localiza-se na região dos Cerrados. Os solos desta região apresentam baixa fertilidade natural e alta percentagem de saturação de alumínio. A análise de 518 amostras de solo da região indicou que 85%, 90% e 96% delas apresentavam baixos teores de K, Mg e Ca, respectivamente; além disto, 92% apresentavam menos do que 2 ppm de P, valor que é igual a 20% do nível crítico sugerido para estes solos (Lopes & Cox 1977).

Durante a estação chuvosa, quando o arroz é cultivado, é comum a ocorrência de estiagens (veranicos) de duas a três semanas, que causam decréscimos na produtividade da cultura. A deficiên-

cia hídrica também afeta a absorção de nutrientes (Ponnamperuma 1975, Viets Junior 1972).

Uma das alternativas para diminuir os efeitos do veranico é a seleção de cultivares mais tolerantes ao estresse hídrico; outra opção é o uso de vermiculita expandida. Dada a sua alta capacidade de troca catiônica e de retenção de água, espera-se que adicionada ao solo promova aumento na disponibilidade de nutrientes e de água.

O objetivo deste trabalho foi verificar como a deficiência hídrica e a adição de vermiculita ao solo afetam a absorção de P, K, Mg, Ca e S, em diferentes cultivares de arroz.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), em Piracicaba, SP, em vasos com o fundo fechado, capacidade de 8 litros, com 5 kg de solo e com três plantas de arroz. Foi usado o Latossolo Vermelho-Escuro coletado no município de Goiânia, GO, à profundidade de

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 4 de novembro de 1985.

<sup>2</sup> Eng. - Agr., Dr., EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAP), Caixa Postal 179, CEP 74000, Goiânia, GO.

0 cm - 20 cm. A análise química apresentou o seguinte resultado: pH 5,7,  $PO_4^{3-}$  0,07 meq/100 ml,  $Ca^{2+}$  3,21 meq/100 ml,  $Mg^{2+}$  0,76 meq/100 ml,  $K^+$  0,25 meq/100 e  $Al^{3+}$  0,12 meq/100 ml.

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 2 x 3 x 4, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram da combinação de dois níveis de vermiculita, sem e com adição de 10% em volume ao solo, com três cultivares de arroz, IAC 47, IRAT 13 e IET 1444, e com quatro lâminas d'água correspondentes a 55%, 70%, 85% e 100% da evapotranspiração máxima (ETm), determinada de acordo com Stone et al. (1984).

As lâminas d'água foram aplicadas diariamente, do início da fase reprodutiva até a colheita. A primeira irrigação foi feita para elevar a umidade inicial do solo até o valor correspondente a -0,1 atm. A quantidade de água adicionada durante a fase vegetativa correspondeu à perda pela ETm. Em dias de demanda evaporativa muito alta, foram feitas duas irrigações por dia, para evitar que, no tratamento onde a lâmina d'água correspondia a 100% da ETm, o potencial matricial da água do solo descesse abaixo de -0,3 atm.

A vermiculita utilizada foi a EUCATEX, tipo Superfina, com densidade global igual a 0,131 g.cm<sup>-3</sup> e com granulometria 100% em peneira de 2 mm. A análise química apresentou o seguinte resultado:  $Ca^{2+}$  20,8 meq/100 g,  $Mg^{2+}$  56,7 meq/100 g,  $K^+$  0,54 meq/100 g,  $Na^+$  0,06 meq/100 g,  $Al^{3+} + H^+$  1,25 meq/100 g, Mn 2,5 ppm e CTC 79,4 meq/100 g.

Cada vaso recebeu 100 ppm de N, 150 ppm de P, 150 ppm de K e 5 ppm de Zn, na forma de sulfato de amônio, superfosfato simples, sulfato de potássio e sulfato de zinco, respectivamente.

Após a colheita foram separados as raízes, as folhas, os colmos e os grãos. As raízes foram lavadas e, após, todo o material foi secado a 60°C e analisado o seu conteúdo de P, K, Mg, Ca e S. O P, Ca e Mg foram determinados com um espectrômetro de emissão atômica de plasma induzido de argônio, o K, com um espectrômetro de absorção atômica, e o S, através da fotometria de chama. Todos os elementos foram determinados no extrato da digestão nitro-perclórica das amostras.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os tratamentos de lâmina d'água afetaram a absorção de P e K, a qual foi reduzida em condições de deficiência hídrica, mas não afetaram a absorção de Mg, Ca e S (Tabelas 1 e 2). A concentração na planta

TABELA 1. Médias do teor e da quantidade de P, K e Mg absorvida por três cultivares de arroz irrigados com diferentes lâminas d'água, sem e com adição de vermiculita ao solo.

Lâminas d'água (% da ETm <sup>1</sup> )	Fósforo			Potássio			Magnésio		
	IAC 47	IRAT 13	IET 1444	IAC 47	IRAT 13	IET 1444	IAC 47	IRAT 13	IET 1444
	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média
55	0,10 B	0,09 cB	0,15 A	1,08	1,07	1,28	0,37 aA	0,37 aA	0,24 aB
70	0,10 C	0,11 bB	0,15 A	1,11	1,11	1,22	0,31 bA	0,30 bA	0,24 aB
85	0,10 B	0,11 bB	0,14 A	1,06	1,06	1,22	0,29 bA	0,25 cB	0,20 bC
100	0,11 C	0,13 aB	0,14 A	1,11	1,01	1,17	0,25 cA	0,24 cA	0,19 bB
S/verm. <sup>2</sup>	0,09	0,11	0,14	1,04	1,00	1,19	0,25	0,24	0,18
Média C/verm. <sup>2</sup>	0,11	0,11	0,15	1,14	1,12	1,25	0,36	0,34	0,26
Média	0,10 C	0,11 B	0,15 A	1,09 B	1,06 B	1,22 A	0,30 A	0,29 A	0,22 B
55	65,8 dB	57,2 cB	93,6 bA	703,3 cAB	659,2 bB	801,2 bA	238,5 A	227,2 A	153,9 B
70	72,5 cB	79,8 bB	106,0 aA	831,2 b	802,7 b	867,5 ab	235,8 A	216,1 B	172,7 C
85	87,1 bB	89,4 bB	107,9 aA	883,2 b	861,8 a	916,1 a	245,0 A	205,4 B	154,8 C
100	104,9 a	113,4 a	112,6 a	1,022,0 aA	868,8 aB	906,1 aB	235,4 A	207,5 B	146,5 C
S/verm.	77,4	81,8	103,4	804,3	747,6	847,2	188,3	178,3	128,7
Média C/verm.	87,7	88,1	106,7	915,6	848,7	898,3	287,0	249,8	185,2
Média	82,6 B	85,0 B	105,0 A	859,9 A	798,1 B	872,7 A	237,7 A	214,1 B	157,0 C
Teor - CV (%)	9,0	9,8	9,8	9,4	9,8	9,8	8,3	8,3	7,8
Quantidade - CV (%)	9,2	9,2	9,8	9,8	9,8	9,8	8,3	8,3	7,8

Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey, letras minúsculas para comparação na vertical e maiúsculas para comparação na horizontal.

<sup>1</sup> ETm = evapotranspiração máxima, mm;

<sup>2</sup> C/verm. = adição de vermiculita (10% em volume) ao solo.

TABELA 2. Médias de teor e da quantidade de Ca e S absorvida por três cultivares do arroz irrigadas com diferentes lâminas d'água, sem e com adição de vermiculita ao solo.

	Lâminas d'água (% da ETm <sup>1</sup> )	Cálcio				Enxófre			
		IAC 47	IRAT 13	IET 1444	Média	IAC 47	IRAT 13	IET 1444	Média
Teor (%)	55	0,45 aA	0,44 aAB	0,40 abB	0,43 a	0,34	0,32	0,41	0,36 a
	70	0,38 bB	0,35 bB	0,43 aA	0,39 b	0,28	0,28	0,36	0,31 b
	85	0,34 bcAB	0,31 bB	0,37 bcA	0,34 c	0,26	0,26	0,33	0,28 c
	100	0,32 c	0,31 b	0,35 c	0,33 c	0,27	0,25	0,32	0,28 c
	S/verm.	0,41	0,39	0,41	0,40 a	0,29	0,28	0,36	0,31
Média C/verm. <sup>2</sup>	Média	0,34	0,32	0,36	0,26 b	0,29	0,28	0,35	0,31
	Média	0,37 AB	0,35 B	0,39 A		0,29 B	0,28 B	0,35 A	
	55	291,7 A	271,3 AB	263,9 B	275,6	219,3 B	197,1 C	256,2 A	224,2
Quantidade absorvida (mg/vaso)	70	284,9 A	254,0 A	302,0 A	280,3	211,0 B	204,1 B	256,9 A	224,0
	85	281,8 A	248,5 B	276,0 A	268,8	216,7 B	210,2 B	247,0 A	224,6
	100	296,0 A	266,4 B	271,8 B	278,1	248,7 A	217,9 B	246,4 A	237,6
	S/verm.	309,8	283,9	294,5	296,1 a	219,0	207,1	251,4	225,8
	Média C/verm.	267,4	236,2	262,4	255,3 b	228,9	207,5	251,8	229,4
Média	288,6 A	260,0 B	278,4 A		223,9 B	207,3 C	251,6 A		
Teor - CV (%)			9,6				7,4		
Quantidade - CV (%)			6,2				7,3		

Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey; letras minúsculas para comparação na vertical e maiúsculas para comparação na horizontal.

<sup>1</sup> ETm = evapotranspiração máxima, mm;

<sup>2</sup> C/verm. = adição de vermiculita (10% em volume) ao solo.

destes três últimos nutrientes, entretanto, aumentou, de maneira geral, com o decréscimo das lâminas d'água. Já o teor de P e K praticamente não se alterou com os diferentes tratamentos de lâmina d'água.

A absorção de P e K foi menor no tratamento com a menor lâmina d'água, embora para a cv. IET 1444 a absorção de K não tenha diferido significativamente da observada em outros tratamentos. A redução na absorção de P e K em virtude do estresse hídrico também foi observada por Karlen et al. (1982a, b) e Mederski & Wilson (1960). A difusão é o principal processo no fornecimento de P e K para as raízes (Malavolta 1980) e é afetada pelo aumento da tensão hídrica, porque a secagem do solo reduz a espessura dos filmes de água e a área da seção transversal efetiva para a difusão (Viets Junior 1972). Olsen et al. (1965) verificaram que o coeficiente de difusão para o fosfato decresceu cerca de oito vezes, quando o conteúdo de água do solo foi reduzido à metade. Place & Barber (1964) verificaram que o coeficiente de difusão aparente do Rb, usado como traçador para o K, depende do conteúdo de água do solo.

Observando-se as quantidades de P e K absorvidas nos tratamentos com a maior e a menor lâmina d'água, verifica-se que houve uma redução de

37,3% e 31,2% para a cv. IAC 47, de 49,6% e 24,1% para a IRAT 13 e de 16,9% e 11,6%, para a IET 1444.

O teor de P das cvs. IAC 47 e IET 1444 e o de K de todas as cultivares não foram afetados pelos tratamentos de lâmina d'água. Como o estresse hídrico reduziu o rendimento total de matéria seca (Tabela 3), isto significa que a absorção foi reduzida na mesma proporção que o crescimento. Já o teor de P da cv. IRAT 13 diminuiu com a redução das lâminas d'água, sugerindo que a absorção de P desta cultivar foi mais reduzida que o seu crescimento, em condições de déficit-hídrico.

O principal mecanismo de fornecimento de Mg e Ca às raízes é o fluxo de massa, embora a interceptação radicular também tenha importância significativa (Malavolta 1980, Tisdale & Nelson 1975). Neste experimento, o estresse hídrico provocou um aumento no rendimento de matéria seca das raízes (Tabela 3), o que significa maior densidade e/ou comprimento de raízes. Desta maneira, provavelmente o estresse hídrico favoreceu o mecanismo de interceptação radicular. Por outro lado, a taxa de fluxo de massa decresce com a redução do conteúdo de água do solo (Ponnamperuma 1975). Assim, com o incremento do estresse hídrico deve

TABELA 3. Rendimentos médios de matéria seca de três cultivares de arroz irrigadas com diferentes lâminas d'água, sem e com adição de vermiculita ao solo.

Lâminas d'água (% da ETm <sup>1</sup> )	Rendimento de matéria seca (mg/vaso)							
	Raízes				Total			
	IAC 47	IRAT 13	IET 1444	Média	IAC 47	IRAT 13	IET 1444	Média
55	19,51 aA	20,36 aA	9,71 abB	16,53 a	65,15 d	61,60 d	62,66 c	63,14 d
70	15,98 bA	14,88 bA	10,14 aB	13,66 b	74,67 c	72,16 c	70,92 b	72,58 c
85	15,07 bA	14,18 bA	7,54 bcB	12,26 c	83,44 bA	80,85 bA	75,47 aB	79,92 b
100	14,80 bA	14,00 bA	6,91 cB	11,90 c	91,93 aA	86,28 aB	77,65 aC	85,29 a
S/verm.	16,15	15,69	8,82	13,55	77,29	74,74	71,26	72,76 b
Média C/verm. <sup>2</sup>	16,54	16,02	8,33	13,63	80,31	75,71	72,09	76,04 a
Média	16,34 A	15,86 A	8,57 B		78,80 A	75,22 B	71,68 C	
CV (%)	13,4				4,4			

Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey; letras minúsculas para comparação na vertical e maiúsculas para comparação na horizontal.

<sup>1</sup> ETm = evapotranspiração máxima, mm;

<sup>2</sup> C/verm. = adição de vermiculita (10% em volume ao solo).

ter diminuído a importância do fluxo de massa e aumentado a da interceptação radicular no fornecimento de Mg e Ca às raízes, e a absorção destes nutrientes não foi afetada pelo estresse hídrico. Jenne et al. (1958) observaram que a absorção de Ca é muito pouco afetada pelo estresse hídrico. Karlen et al. (1982a) verificaram, em soja, que a absorção de Mg e Ca só foi reduzida quando as plantas sofreram um estresse hídrico muito severo.

O S também é fornecido às raízes principalmente por fluxo de massa (Malavolta 1980), o que significa que a quantidade que atinge as raízes depende do fluxo de água no solo e da concentração deste elemento na solução do solo. Como todos os adubos, com exceção do fosfato, foram fornecidos na forma de sulfato, a concentração de S na solução do solo deveria ser alta. Assim, apesar de o fluxo de água no solo diminuir, com a deficiência hídrica, a absorção de S não foi afetada.

Os teores de Mg, Ca e S, de maneira geral, foram maiores com as menores lâminas d'água. Como o estresse hídrico não afetou a absorção destes nutrientes, isto se deve ao efeito de concentração, já que o rendimento de matéria seca foi reduzido pelo estresse hídrico.

A adição de vermiculita ao solo aumentou a absorção de P, K e Mg, reduziu a absorção de Ca e não afetou a de S. Os mesmos efeitos se verificaram para os teores destes nutrientes na planta. O aumento na quantidade de P, K e Mg absorvida foi igual a 8%, 11% e 46%, respectivamente. O aumento na absorção de Mg foi causado pelo incremento da sua concentração na solução do solo, por ser elevado o seu teor na vermiculita. Como o fluxo de massa é o principal processo de transporte do Mg para as raízes (Barber et al. 1963, Malavolta 1980), a quantidade que atinge as raízes é proporcional à sua concentração na solução do solo. Portanto, um aumento nesta concentração incrementa, dentro de certos limites, a absorção de Mg e o seu teor na planta. O aumento na absorção e, conseqüentemente, do teor de P, pode estar relacionado com o aumento na concentração de Mg na solução do solo. Malavolta (1980) afirma que a absorção de P é fortemente influenciada pela concentração de Mg no meio, com efeito sinérgico. A causa da maior absorção de K nos tratamentos com vermiculita pode ter sido o incremento do K trocável do solo, em virtude da presença deste elemento na constituição da vermiculita. Por outro lado, a redução

(14%) na absorção de Ca, na presença de vermiculita, foi devida, provavelmente, ao antagonismo existente entre o Ca e o Mg, como relatam Epstein (1975) e Malavolta (1980). Gross & Jung (1981) observaram que aumentando a saturação de Mg da CTC acima de 13% ocorreu uma redução no teor de Ca de várias gramíneas. Após a colheita do experimento, a saturação de Mg foi igual a 5,4% e 16,1%, nos tratamentos sem e com vermiculita, respectivamente (Tabela 4). A ausência de efeito da adição de vermiculita sobre a absorção de S pode ser explicada pelo fato de que aquele mineral não apresenta S na sua constituição, e os demais elementos presentes na vermiculita não afetam a absorção deste nutriente.

Houve diferença significativa entre as cultivares com relação à absorção dos nutrientes. Elas se comportaram de maneira distinta, dependendo do nutriente considerado. A cv. IET 1444 apresentou maior teor de P, K, Ca e S e menor de Mg, do que as outras. No caso do Ca, ela não diferiu significativamente da IAC 47. Em termos de quantidade absorvida, aquela cultivar apresentou maior absorção de P e S e menor de Mg do que as outras. A absorção de K e Ca foi igual para as cultivares IAC 47 e IET 1444, que absorveram estes nutrientes em maior quantidade que a cv. IRAT 13. Vários autores (Fageria 1982, Fageria & Barbosa Filho 1982, Malavolta & Crocomo 1982) têm mostrado que existem diferenças varietais na absorção de nutrientes.

Observou-se que a distribuição dos nutrientes absorvidos, na planta, variou de acordo com o nutriente considerado, com a intensidade do estresse

TABELA 4. Percentagem de saturação de Mg<sup>2+</sup> nos tratamentos sem e com adição de vermiculita.

Tratamentos	Mg <sup>2+</sup>	CTC	% Mg <sup>2+</sup> <sup>1</sup>
	meq/100 ml solo		
S/verm.	0,57	10,60	5,4
C/verm. <sup>2</sup>	1,91	11,89	16,1

<sup>1</sup> % Mg<sup>2+</sup> = percentagem de saturação de Mg<sup>2+</sup> calculada pela fórmula % Mg<sup>2+</sup> = 100 Mg<sup>2+</sup>/CTC.

<sup>2</sup> C/verm. = adição de vermiculita (10% em volume) ao solo.

hídrico e, em menor grau, com a cultivar (Fig. 1 a 5). Em todos os tratamentos de lâminas d'água, a maior proporção do K e Ca absorvidos ficou nos colmos e nas folhas, respectivamente. Já o Mg e o S absorvidos ficaram, na sua maior parte, nos colmos, no caso das cvs. IAC 47 e IET 1444 e, nas folhas, no caso da IRAT 13. Por sua vez, a maior proporção do P absorvido ficou nos grãos, na ausência de deficiência hídrica, mas diminuiu com a intensificação do estresse hídrico e, no tratamento com a menor lâmina d'água, a maior parte do P absorvido ficou nos colmos.

Em decorrência da redução na produção de grãos e do aumento no rendimento de matéria seca

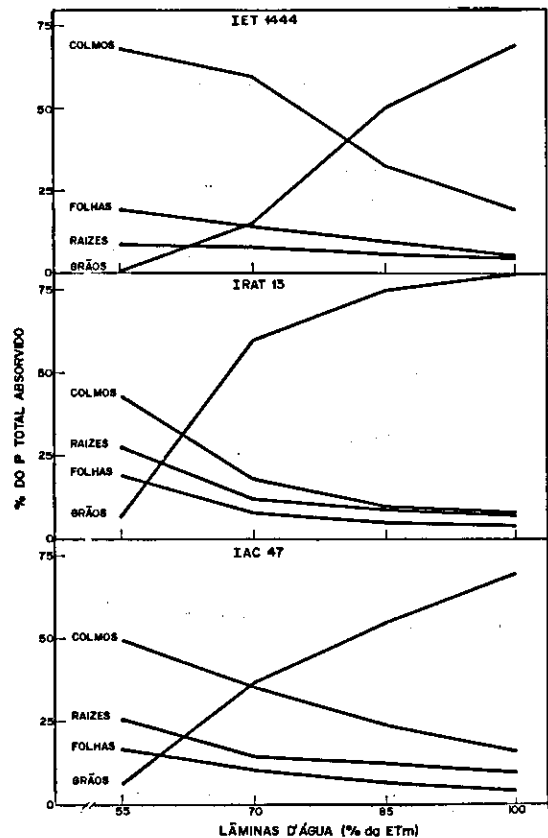


FIG. 1. Distribuição do fósforo absorvido nas plantas de três cultivares de arroz em função de lâminas d'água correspondentes a percentagens da evapotranspiração máxima (ETm).

das raízes, a quantidade de nutrientes que ficou nos grãos diminuiu e a que ficou nas raízes aumentou com o incremento do estresse hídrico. De maneira geral, nas folhas, a deficiência hídrica aumentou a quantidade relativa de P, K e S e teve pouco efeito sobre a quantidade de Mg e Ca. A quantidade relativa dos nutrientes no colmo, por sua vez, foi afetada de forma diversa pela deficiência hídrica, de acordo com o nutriente considerado. Assim, a quantidade de P, Mg e S (cvs. IET 1444 e IRAT 13) aumentou e a de K e Ca (cvs. IRAT 13 e IAC 47) diminuiu com o aumento do estresse hídrico.

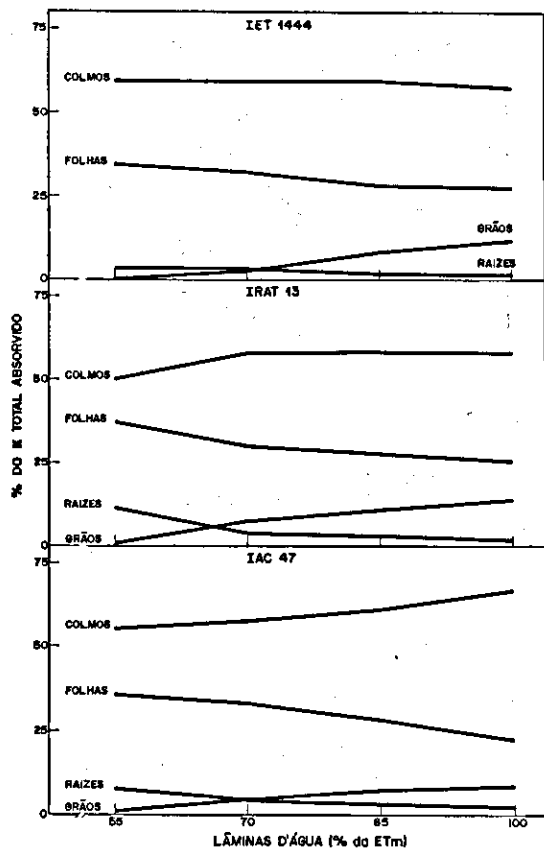


FIG. 2. Distribuição do potássio absorvido nas plantas de três cultivares de arroz em função de lâminas d'água correspondentes a percentagens da evapotranspiração máxima (ETm).

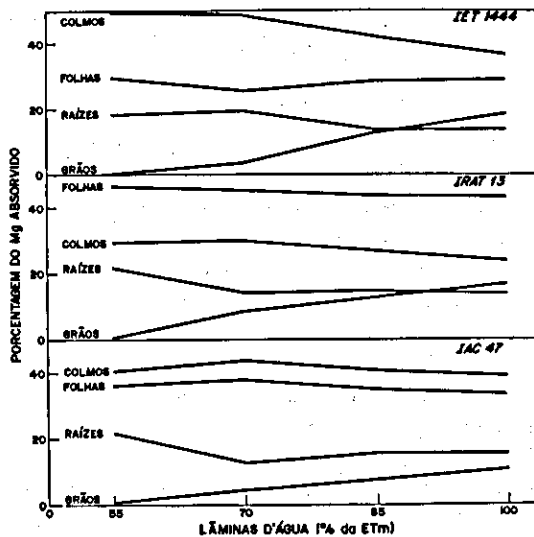


FIG. 3. Distribuição do magnésio absorvido nas plantas de três cultivares de arroz em função de lâminas d'água correspondentes a percentagens da evapotranspiração máxima (ETm).

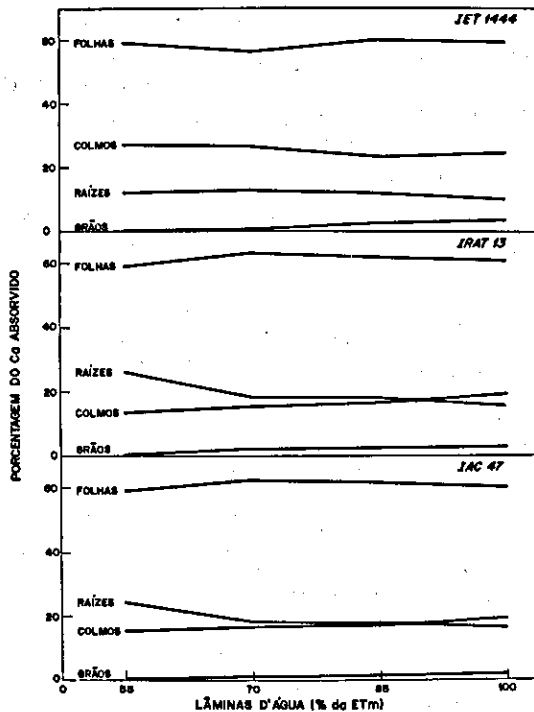


FIG. 4. Distribuição do cálcio absorvido nas plantas de três cultivares de arroz em função de lâminas d'água correspondentes a percentagens da evapotranspiração máxima (ETm).

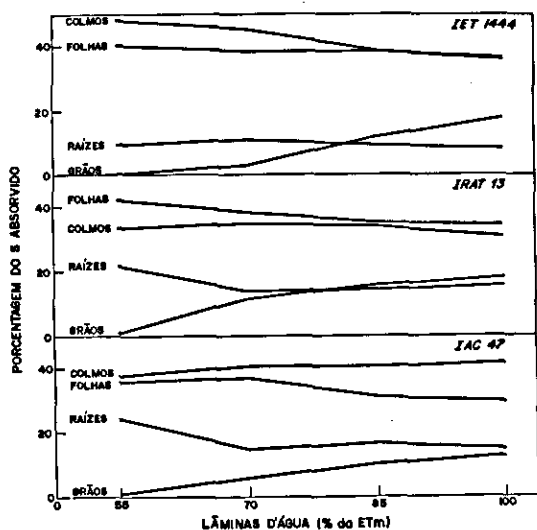


FIG. 5. Distribuição do enxofre absorvido nas plantas de três cultivares de arroz em função de lâminas d'água correspondentes a percentagens da evapotranspiração máxima (ETm).

CONCLUSÕES

1. A deficiência hídrica reduz a absorção de fósforo e, em menor grau, a de potássio, os quais chegam a superfície da raiz pelo processo de difusão.
2. Em decorrência da deficiência hídrica, os teores de magnésio, cálcio e enxofre na planta aumentam, ao passo que os de fósforo e potássio se matêm praticamente inalterados.
3. A vermiculita, por ter na sua composição magnésio, cálcio e potássio, altera o balanço de nutrientes e influencia a sua absorção pelas cultivares de arroz, proporcionando aumentos de fósforo, potássio e magnésio e redução de cálcio.
4. Há diferenciação entre as cultivares de arroz IAC 47, IRAT 13 e IET 1444, em relação à absorção dos diferentes nutrientes.

REFERÊNCIAS

BARBER, S.A.; WALKER, J.M. & VASEY, E.H. Mechanisms for the movement of plant nutrients from the soil and fertilizer to the plant root. *J. Agric. Food Chem.*, 11:204-7, 1963.

EPSTEIN, E. *Nutrição mineral das plantas; princípios e perspectivas*. São Paulo, Livros Técnicos e Científicos, 1975. 341p.

FAGERIA, N.K. *Nutrição e adubação potássica do arroz no Brasil*. In: SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Londrina, PR, 1982. *Potássio na agricultura brasileira; anais*. Piracicaba, Inst. Potassa & Fosfato/Inst. Intern. Potassa, 1982. p.421-36.

FAGERIA, N.K. & BARBOSA FILHO, M.P. *Avaliação de cultivares de arroz em função de suas tolerâncias ao baixo nível de fósforo disponível do solo*. *R. bras. Ci. Solo*, 6:146-51, 1982.

GROSS, C.F. & JUNG, G.A. *Season, temperature, soil pH, and Mg fertilizer effects on herbage Ca and P levels and ratios of grasses and legumes*. *Agron. J.*, 73(4):629-34, 1981.

JENNE, E.A.; RHOADES, H.F.; YIEN, C.H. & HOWE, O.W. *Change in nutrient element accumulation by corn with depletion of soil moisture*. *Agron. J.*, 50:71-4, 1958.

KARLEN, D.L.; HUNT, P.G. & MATHENY, T.A. *Accumulation and distribution of K, Ca, and Mg by selected determinate soybean cultivars grown with and without irrigation*. *Agron. J.*, 74(2):347-54, 1982a.

KARLEN, D.L.; HUNT, P.G. & MATHENY, T.A. *Accumulation and distribution of P, Fe, Mn, and Zn by selected determinate soybean cultivars grown with and without irrigation*. *Agron. J.*, 74(2):297-303, 1982b.

LOPES, A.S. & COX, F.R. *A survey of the fertility status of surface soils under "Cerrado" vegetation in Brazil*. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41(4):742-7, 1977.

MALAVOLTA, E. *Elementos de nutrição mineral de plantas*. São Paulo, Ceres, 1980. 251p.

MALAVOLTA, E. & CROCOMO, O.J. *O potássio e a planta*. In: SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Londrina, PR, 1982. *Potássio na agricultura brasileira; anais*. Piracicaba, Inst. Potassa & Fosfato/Inst. Intern. Potassa, 1982. p.95-162.

MEDERSKI, H.J. & WILSON, J.H. *Relation of soil moisture to ion absorption by corn plants*. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 24:149-52, 1960.

OLSEN, S.R.; KEMPER, W.D. & SCHAIK, J.C. van. *Self-diffusion coefficients of phosphorus in soil measured by transient and steady-state methods*. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 29:154-8, 1965.

PLACE, G.A. & BARBER, S.A. *The effect of soil moisture and Rb concentration on diffusion and uptake of Rb 86*. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 28:239-43, 1964.

PONNAMPERUMA, F.N. *Growth-limiting factors of aerobic soils*. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE, Los Baños, Filipinas. *Major research in upland rice*. Los Baños, 1975. p.40-3.

- STONE, L.F.; LIBARDI, P.L. & REICHARDT, K. Deficiência hídrica, vermiculita e cultivares. I. Efeito na produtividade do arroz. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 19(6):695-707, jun. 1984.
- TISDALE, S.L. & NELSON, W.L. Fertilizers and efficient use of water. In: \_\_\_\_\_ . Soil fertility and fertilizers. New York, MacMillan, 1975. cap. 16., p.622-46.
- VIETS JUNIOR, F.G. Water deficits and nutrient availability. In: KOZLOWSKI, T.T., ed. *Water deficits and plant growth*. New York, Academic Press, 1972. v. 3., p.217-39.