

DEFICIÊNCIA HÍDRICA, VERMICULITA E CULTIVARES

II. EFEITO NA UTILIZAÇÃO DO NITROGÊNIO PELO ARROZ¹

LUIS FERNANDO STONE², PAULO LEONEL LIBARDI³ e KLAUS REICHARDT⁴

RESUMO - Os efeitos de quatro lâminas d'água, correspondentes a 55, 70, 85 e 100% da evapotranspiração máxima, aplicadas diariamente do início da fase reprodutiva até a colheita, e de dois tratamentos de vermiculita (sem e com adição de 10% em volume ao solo), na utilização do nitrogênio por três cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) (IAC 47, IRAT 13 e IET 1444), foram estudados em um experimento em vasos, utilizando-se amostras da camada de 0 cm - 20 cm de um Latossolo Vermelho-Escuro. A adição de vermiculita ao solo reduziu o teor de nitrogênio nas plantas, a sua absorção de nitrogênio e a eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado, provavelmente por causa da fixação de amônio. A deficiência hídrica também reduziu os dois últimos parâmetros; entretanto, o seu efeito sobre o teor de nitrogênio nas plantas variou em função da sua intensidade. As plantas de arroz absorveram o nitrogênio nativo e o proveniente do fertilizante aproximadamente na mesma proporção, independentemente do nível de estresse hídrico considerado. Entre as cultivares testadas, a IET 1444 apresentou maior teor de nitrogênio e, em condições de deficiência hídrica, menor redução na absorção deste elemento.

Termos para indexação: *Oryza sativa*, lâminas d'água, evapotranspiração, ¹⁵N, absorção.

WATER STRESS, VERMICULITE AND CULTIVARS.

II. EFFECT ON NITROGEN UTILIZATION BY RICE

ABSTRACT - The effect of four irrigation levels and two vermiculite treatments on the nitrogen utilization by three rice (*Oryza sativa* L.) cultivars (IAC 47, IRAT 13 and IET 1444) was studied 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 reduced the plant nitrogen concentration, the nitrogen uptake and the nitrogen fertilizer utilization efficiency, probably due to ammonium fixation. Water stress also reduced the last two parameters. However, its effect on the plant nitrogen concentration varied with the stress intensity. Rice plants absorbed soil nitrogen in the same proportion as nitrogen derived from fertilizer, regardless of the water stress level. The cv. IET 1444 contained the highest nitrogen concentration and, under water stress conditions, showed the smallest reduction in the nitrogen uptake among the tested cultivars.

Index terms: *Oryza sativa*, irrigation levels, evapotranspiration, ¹⁵N, uptake.

INTRODUÇÃO

Sabe-se que a deficiência hídrica afeta a dinâmica do nitrogênio no sistema solo-planta, embora ainda existam controvérsias sobre seus efeitos na concentração e na quantidade total de nitrogênio

absorvida pela planta de arroz. A eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado pela planta de arroz, que já é baixa (Shiga 1975), pode ser afetada negativamente pela deficiência hídrica. O tipo de planta também pode afetar a eficiência. Tsunoda (1965) concluiu que as cultivares de folhas eretas utilizam mais eficientemente o fertilizante nitrogenado do que as de folhas decumbentes.

A adição de vermiculita expandida vem sendo estudada como uma possível solução para melhorar as propriedades físico-químicas dos solos de cerrado. Como a vermiculita apresenta alta capacidade de troca catiônica (CTC) e de retenção de água, espera-se uma melhoria do solo do ponto de vista de adsorção de nutrientes e disponibilidade para as plantas e um aumento na disponibilidade de água, minimizando os efeitos dos veranicos. En-

¹ Aceito para publicação em 28 de agosto de 1984

Parte da tese apresentada pelo primeiro autor à ESALQ/USP para obtenção do título de Doutor em Agronomia - Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

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

³ Eng. - Agr., Ph.D., Prof.-Assist. Doutor do DFM da ESALQ/USP, Pesquisador Científico do CENA e Bolsista do CNPq.

⁴ Eng. - Agr., Ph.D., Professor-Titular do DFM da ESALQ/USP.

tretanto, a vermiculita tem a capacidade de fixar amônio (Allison et al. 1953 e Nömmik 1965), o que pode alterar a dinâmica do nitrogênio no sistema solo-planta. Se o nitrogênio fixado se tornar não disponível às plantas, a sua utilização vai ser reduzida. Por outro lado, se ele for liberado de forma lenta, poderá ser melhor utilizado pela planta de arroz, pois as perdas por lixiviação e volatilização serão reduzidas.

Neste trabalho pretende-se verificar como a utilização do nitrogênio pelo arroz é afetada pela deficiência hídrica, pela adição de vermiculita ao solo e pelo tipo de planta.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), 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 0 cm - 20 cm.

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 2 x 3 x 4, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram da combinação de dois tratamentos 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, correspondente 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 vermiculita⁶ utilizada foi a EUCATEX, tipo Superfina, com densidade global igual a 0,131 g.cm⁻³ e com granulometria 100% em peneira de 2 mm.

⁵ A análise química apresentou o seguinte resultado: pH 5,7, PO₄³⁻ 0,07 meq/100 ml, Ca²⁺ 3,21 meq/100 ml, Mg²⁺ 0,76 meq/100 ml, K⁺ 0,25 meq/100 ml e Al³⁺ 0,12 meq/100 ml.

⁶ A análise química da vermiculita apresentou o seguinte resultado: Ca²⁺ 20,8 meq/100 g, Mg²⁺ 56,7 meq/100 g, K⁺ 0,54 meq/100 g, Na⁺ 0,06 meq/100 g, Al³⁺ + 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. O sulfato de amônio estava enriquecido com 2,707 ± 0,01% de átomos de ¹⁵N.

Na colheita foram separadas as raízes, os colmos, as folhas, os ráquis, os grãos vazios e os grãos cheios e, depois de secos a 60°C, foram analisados no seu teor de N total e na sua composição isotópica do N. O nitrogênio total foi determinado pelo método do semi-micro-Kjeldahl e a composição isotópica foi determinada com o espectrômetro de massa Atlas - Variant, modelo CH-4, seguindo-se o método de Dumas, modificado (Proksch 1969), para produção do N₂.

A percentagem de nitrogênio, proveniente do fertilizante (NPPF), nas diversas partes da planta, foi calculada pela fórmula de Trivelin et al. (1973).

$$NPPF = \left(\frac{At \% ^{15}NP - \% AN}{At \% ^{15}NF - \% AN} \right) \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

onde: At % ¹⁵NP = percentagem de átomos de ¹⁵N presente na parte da planta considerada;

At % ¹⁵NF = percentagem de átomos de ¹⁵N presente no fertilizante, no caso, 2,707%;

% AN = abundância natural de ¹⁵N, em percentagem.

Foi considerado 0,366% como valor da abundância natural, como citado por Hauck & Bremner (1976).

A eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado (EUFN) foi calculada pela seguinte equação:

$$EUFN = \frac{QNPPF}{QNA} \times 100 \dots \dots \dots (2)$$

onde: QNPPF = quantidade de nitrogênio, na planta proveniente do fertilizante, em mg/vaso.

QNA = quantidade de nitrogênio aplicada à cultura, no caso, 500 mg/vaso.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nitrogênio total

Na Tabela 1 podem ser observados os teores e as quantidades médias de nitrogênio nas diversas partes da planta e na planta inteira, nos diferentes tratamentos do experimento.

O teor de nitrogênio das folhas, colmos e grãos foi reduzido significativamente pela adição de vermiculita ao solo, o que levou à redução do teor de nitrogênio da planta como um todo. Isto, provavelmente, ocorreu em virtude da fixação, pela vermiculita, do nitrogênio que se encontrava na

TABELA 1. Médias do teor e da quantidade de nitrogênio total em diversas partes da planta e na planta inteira de três cultivares de arroz irrigadas com diferentes lâminas d'água, do início da fase reprodutiva até a colheita, sem e com adição de vermiculita ao solo.

Nitrogênio total	Lâmina d'água (% de ETm ¹)	Raízes			Colmos			Folhas		
		IAC 47	IRAT 13	IET 1444	IAC 47	IRAT 13	IET 1444	IAC 47	IRAT 13	IET 1444
	55	1,14	1,09	1,28	0,58aB	0,62aB	0,89aA	1,16aB	1,19aAB	1,33aA
	70	1,14	1,07	1,14	0,43bB	0,41bB	0,75bA	0,94bB	0,87bcB	1,22abA
	85	1,27	1,09	1,25	0,37bB	0,40bB	0,51cA	0,90bB	0,77cB	1,18abA
	100	1,13	1,14	1,26	0,43b	0,47b	0,52c	1,03ab	1,03ab	1,06b
Teor (%)	S/Verm. ²	1,16	1,10	1,20	0,48	0,51	0,69	1,12	1,09	1,25
	C/Verm.	1,18	1,09	1,27	0,42	0,44	0,64	0,89	0,84	1,14
	Média	1,17AB	1,10B	1,23A	0,45B	0,48B	0,67A	1,01B	0,96B	1,20A
	55	219,0eA	221,6eA	124,5aB	148,7B	134,2aB	313,3eA	197,1e	202,7a	206,8a
	70	179,0bA	158,7bA	116,1abB	126,6B	95,4bC	276,5bA	166,5bAB	143,8bcB	182,6abA
	85	189,9bA	153,4bB	94,0bcC	124,2B	99,9bB	156,0cA	156,6bA	125,3cB	164,8bcA
	100	166,6bA	158,2bA	85,9cB	149,4A	119,7abB	127,6cAB	180,7abA	171,1bA	138,3cB
Quantidade (mg/vaso)	S/Verm.	185,2	171,7	105,5	139,3	118,0	224,2	194,0a	179,3a	179,0
	C/Verm.	192,0	174,3	104,8	135,1	106,6	212,4	156,5bAB	142,2bB	167,3A
	Média	188,6A	173,0B	105,1C	137,2B	112,3C	218,3A	175,2A	160,7B	173,1AB
Teor - CV (%)	Quantidade - CV (%)	10,6	11,5	14,4	14,4	15,6	12,5	12,5	13,7	13,7

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.

¹ ETm = evapotranspiração máxima, mm;

² C/Verm. = adição de vermiculita (10% em volume) ao solo.

TABELA 1. Continuação.

Nitrogênio total	Lâminas d'água (% da ET ¹)	Grãos				Total			
		IAC 47	IRAT 13	IET 1444	Média	IAC 47	IRAT 13	IET 1444	Média
	55	1,39aB	1,46aB	1,60aA	1,48a	0,92	0,98	1,08	0,99a
	70	1,35abB	1,33bB	1,55aA	1,41b	0,82	0,86	0,97	0,88bc
	85	1,25bAB	1,18cB	1,33bA	1,25c	0,82	0,83	0,93	0,86b-
	100	1,25 b	1,20c	1,28b	1,24c	0,87	0,94	0,98	0,93b
Teor (%)	S/Verm.	1,33	1,32	1,45	1,36a	0,90	0,95	1,01	0,96a
	C/Verm.	1,29	1,26	1,44	1,33b	0,81	0,85	0,97	0,87b
	Média	1,31B	1,29B	1,44A		0,86B	0,90B	0,99A	
	55	21,0d	18,0d	0,6d	13,2d	597,3cB	589,1cB	675,0bA	620,4c
	70	126,3cB	213,8cA	77,9cC	139,4c	609,5cB	621,9ccB	688,4bA	640,0c
	85	199,2bB	285,8bA	269,8bA	251,6b	681,0b	672,4b	703,7ab	686,7b
	100	282,7aC	344,5aB	399,6aA	342,3a	794,3a	807,8a	763,4a	788,5a
Quantidade (mg/vaso)	S/Verm.	162,6	224,4	187,4	191,5	693,5	705,4	720,4	706,4a
	C/Verm.	151,9	206,6	186,5	181,7	647,6	640,2	694,9	660,9b
	Média	157,3C	215,5A	187,0B		670,6B	672,8B	707,6A	
Teor - CV (%)			6,3				7,7		
Quantidade - CV (%)			20,1				6,8		

forma de amônio, diminuindo a sua disponibilidade para as plantas. A fixação de amônio pela vermiculita foi observada por vários pesquisadores (Allison et al. 1953, Matsui & Totani 1963, Nõmmik 1965). Poder-se-ia também pensar no efeito da diluição como explicação para a redução do teor de nitrogênio, pois, de acordo com Stone et al. (1984), o rendimento total de matéria seca foi maior na presença da vermiculita. Observou-se, entretanto, que a quantidade total de nitrogênio absorvida diminuiu com a adição de vermiculita.

O teor de nitrogênio da planta inteira, no tratamento sem estresse hídrico (lâmina d'água correspondente a 100% da ETm), só foi menor do que o teor observado no tratamento com estresse mais intenso (lâmina d'água correspondente a 55% da ETm). Como a disponibilidade dos nutrientes é maior quando a umidade do solo está próxima da capacidade de campo (Crafts 1968, Viets Junior 1972), é de se esperar que com o incremento do estresse hídrico haja diminuição na taxa de absorção de nitrogênio. Por sua vez, a taxa de crescimento também diminuiu com o estresse hídrico. Aparentemente, entretanto, a taxa de absorção foi mais reduzida que a de crescimento na presença de estresse hídrico suave, e o teor de nitrogênio diminuiu em relação ao observado sem déficit hídrico. Com o aumento na intensidade do estresse (lâmina d'água correspondente a 55% da ETm), a taxa de crescimento foi mais afetada que a de absorção, e o teor de nitrogênio aumentou. Isto pode ser visualizado melhor na Fig. 1. A provável explicação para este fato é a de que o estresse hídrico aumentou o rendimento de matéria seca das raízes (Fig. 2), especialmente quando muito intenso, o que significa exploração de maior volume de solo, conforme discutido por Stone et al. (1984). Assim, é possível que, à medida que diminui o conteúdo de água no solo, o efeito negativo do estresse hídrico sobre a absorção de nitrogênio seja minimizado, em parte, pelo maior desenvolvimento do sistema radicular, chegando a um ponto em que a absorção seja menos afetada que o crescimento. Deve-se também ter em conta que o sistema de irrigação diária, embora com quantidades reduzidas de água, pode ter contribuído para que a absorção de nitrogênio não fosse reduzida drasticamente com o estresse hídrico. De acordo com Viets Junior

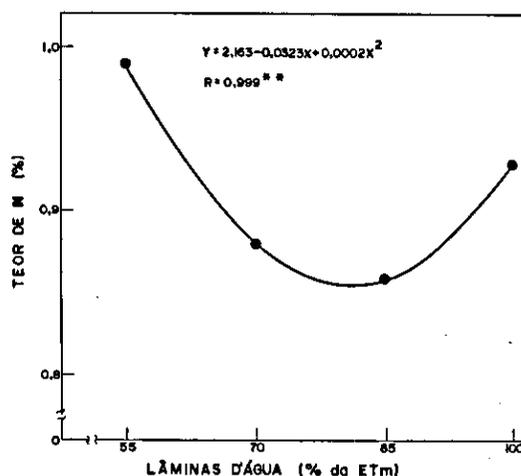


FIG. 1. Teor médio de nitrogênio total nas plantas de três cultivares de arroz, em função de lâminas d'água correspondentes a percentagens da evapotranspiração máxima (ETm), aplicadas do início da fase reprodutiva até a colheita.

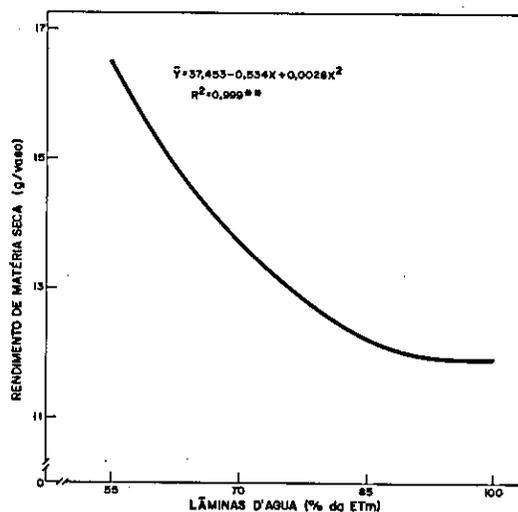


FIG. 2. Rendimento médio de matéria seca das raízes de três cultivares de arroz, em função de lâminas d'água correspondentes a percentagens de evapotranspiração máxima (ETm), aplicadas do início da fase reprodutiva até a colheita.

(1972), breves períodos de reumedecimento do solo podem contribuir para apreciável absorção de nutrientes.

A redução observada na translocação de nitrogênio para os grãos, como conseqüência do estresse hídrico, provocando acúmulo deste elemento em outras partes da planta (Hill 1980), também deve ter contribuído para o maior teor de nitrogênio nos colmos e folhas, no tratamento com a menor lâmina d'água. Apesar desta redução, o teor de nitrogênio nos grãos aumentou com o incremento do estresse hídrico, concordando com Shiga (1975) e Stone (1976). Isto ocorreu porque, em termos relativos, a redução verificada na translocação foi menor do que a verificada no desenvolvimento dos grãos, o que causou o aumento na sua concentração de nitrogênio. Beringer (1982) afirma que a taxa de crescimento dos grãos é bastante reduzida pela deficiência hídrica.

Diversos pesquisadores (Halm 1967, Richards & Wadleigh 1952, Shiga 1975) observaram que o teor de nitrogênio das plantas aumentou com o estresse hídrico, enquanto outros (De Datta et al. 1975, Enyi 1968) verificaram o contrário. Pelos resultados observados neste experimento, pode-se inferir que estas observações antagônicas provavelmente estejam relacionadas, entre outros fatores, com a intensidade do estresse hídrico aplicado.

A quantidade de nitrogênio absorvida pelas plantas, por sua vez, diminuiu, em todas as cultivares, com a redução da lâmina d'água aplicada. O decréscimo da quantidade de nitrogênio nos grãos, devido à redução na produção, foi o responsável por este resultado, pois, de maneira geral, a quantidade de nitrogênio nas raízes, colmos e folhas foi maior no tratamento com a menor lâmina d'água.

Isto ocorreu, no caso das raízes, dado o aumento no rendimento de matéria seca com o incremento do estresse hídrico e, no caso dos colmos e folhas, ao maior teor de nitrogênio. No caso da cultivar IET 1444, o aumento verificado no rendimento de matéria seca dos colmos e folhas, devido ao perfilhamento tardio induzido pelo estresse hídrico, como observaram Stone et al. (1984), também contribuiu para o incremento na quantidade de nitrogênio destas partes da planta, neste tratamento. Não houve diferença significativa entre os trata-

mentos de lâminas d'água com relação à quantidade de nitrogênio presente nos colmos da cultivar IAC 47. Houve compensação entre o teor de nitrogênio, que aumentou, e o rendimento de matéria seca, que diminuiu, com o incremento do estresse hídrico.

Comparando as quantidades de nitrogênio absorvidas nos tratamentos com a maior e a menor lâmina d'água, observa-se que houve uma redução de 27,1%, para a cultivar IRAT 13, de 24,8%, para a IAC 47, e de 11,6%, para a IET 1444.

A redução da quantidade de nitrogênio absorvida em conseqüência do estresse hídrico também foi observada por vários pesquisadores (Tisdale & Nelson 1975, Halm 1967, Rehatta et al. 1979). O fluxo de massa é o principal processo de transporte do nitrogênio para as raízes (Barber et al. 1963, Malavolta 1980). Desta maneira, o aumento do déficit hídrico reduz a absorção de nitrogênio, por diminuir o movimento deste elemento para as raízes.

Comparando-se as cultivares, observa-se que não houve diferença significativa entre elas com relação ao teor de nitrogênio nas diversas partes da planta, no tratamento sem estresse hídrico, apesar de a tendência dos teores ter sido mais elevada na cultivar IET 1444. Nos tratamentos com estresse hídrico, entretanto, esta cultivar apresentou teores significativamente mais elevados nas folhas, colmos e grãos do que os das outras duas cultivares. Isto pode ser devido, em parte, ao fato de que a produção de grãos desta cultivar é reduzida mais drasticamente, com o incremento do estresse hídrico do que a das outras cultivares (Stone et al. 1984), o que faz com que a translocação de nitrogênio para os grãos seja mais reduzida, aumentando o teor deste elemento em outras partes da planta. Outra possibilidade é a de que esta cultivar tenha maior capacidade de absorver nitrogênio do que as outras, o que parece indicar os dados referentes à planta inteira, onde o teor de nitrogênio desta cultivar foi mais elevado do que o das outras duas.

Por outro lado, observa-se que, com relação à quantidade de nitrogênio, o comportamento das cultivares foi variável, dependendo da parte da planta considerada. Esta variação ocorreu em função do teor de nitrogênio e do rendimento de matéria seca. Assim, por exemplo, a cultivar IET

1444 apresentou menor quantidade de nitrogênio nas raízes do que as cultivares de sequeiro (IAC 47 e IRAT 13), por ter menor rendimento de matéria seca radicular. Já nos colmos, nos tratamentos com estresse hídrico, esta cultivar apresentou maior quantidade de nitrogênio do que as outras, por ter um teor mais elevado deste elemento do que elas. Considerando-se a planta inteira, só houve diferença significativa, entre as cultivares, nos tratamentos com as duas menores lâminas d'água, onde a quantidade absorvida pela cultivar IET 1444 foi maior do que a absorvida pelas outras cultivares, que não diferiram entre si. O maior teor de nitrogênio desta cultivar foi responsável por este resultado.

A distribuição do nitrogênio absorvido nas várias partes da planta variou com o estresse hídrico (Fig. 3). No tratamento sem estresse hídrico, a maior proporção do nitrogênio absorvido ficou nos grãos cheios. Esta proporção diminuiu à medida que o estresse hídrico aumentou, incrementando a das raízes, colmos, folhas e grãos vazios. No tratamento com a menor lâmina d'água a maior proporção do nitrogênio absorvido pelas plantas das cultivares IAC 47 e IRAT 13 ficou nas raízes, seguidas das folhas e colmos. Já no caso da cultivar IET 1444, dado o seu menor rendimento de matéria seca das raízes, a maior proporção do nitrogênio absorvido ficou nos colmos, seguidos das folhas e raízes.

Nitrogênio na planta, proveniente do fertilizante

Na Tabela 2 observam-se as percentagens e as quantidades médias de nitrogênio proveniente do fertilizante, em diversas partes da planta e na planta inteira, nos diferentes tratamentos do experimento.

Observa-se que as percentagens do nitrogênio proveniente do fertilizante foram semelhantes em todas as partes da planta, apenas levemente mais baixas nas raízes. A alta mobilidade e dinâmica dos compostos nitrogenados dentro da planta é a causa da pequena variação na composição isotópica do nitrogênio nas diferentes partes da planta. Esta alta mobilidade deve-se ao fato de que o conteúdo de proteína na planta é o resultado de sínteses e degradações contínuas e, os aminoácidos, produtos da degradação das proteínas, são rapidamente redistribuídos. Além disto, existem outras formas de

nitrogênio na planta que trocam continuamente com o nitrogênio no floema (Hill 1980).

As variações observadas entre os tratamentos com relação à percentagem de nitrogênio proveniente do fertilizante foram muito pequenas. Mesmo assim, observou-se efeito significativo dos tratamentos de lâmina d'água sobre esta percentagem, no caso das raízes, colmos e grãos. Observaram-se também diferenças significativas entre as cultivares para todas as partes da planta e para a planta inteira. Pode-se considerar que a baixa variância observada fez com que diferenças tão pequenas fossem significativas. Assim, os efeitos dos tratamentos sobre a quantidade de nitrogênio proveniente do fertilizante foram muito semelhantes aos seus efeitos sobre a quantidade total de nitrogênio, nas diversas partes da planta e na planta inteira.

A redução verificada na absorção, pela planta, do nitrogênio proveniente do fertilizante, em solos com vermiculita, também foi relatada por Nõmmik (1965). Este autor atribuiu à fixação de amônio a redução observada na absorção do $N - NH_4^+$ fornecido como fertilizante, especialmente quando grandes quantidades de fertilizante potássico são aplicadas simultaneamente.

Uma questão que surge é se este amônio residual é liberado para as culturas subsequentes, e em que intensidade. Nõmmik (1965) afirma que este aspecto ainda não está suficientemente claro; em certas condições, cinco cultivos sucessivos não foram suficientes para recuperar todo o amônio fixado e, em outras, o amônio foi recuperado pela cultura seguinte.

A fixação de amônio, entretanto, não pode ser considerada um fenômeno inteiramente desfavorável, do ponto de vista agrônomico. A fixação pode ser um fator significativo na prevenção de perdas de nitrogênio por lixiviação e poderá, em certos casos, assegurar, o suprimento de nitrogênio durante a fase de crescimento.

Como a liberação do nitrogênio da matéria orgânica é lenta em condições de seca (Tisdale & Nelson 1975), era de se esperar que a percentagem de nitrogênio proveniente do fertilizante fosse maior nos tratamentos com estresse hídrico. Isto, de fato, não ocorreu. Talvez as irrigações diárias, embora com quantidades reduzidas de água, te-

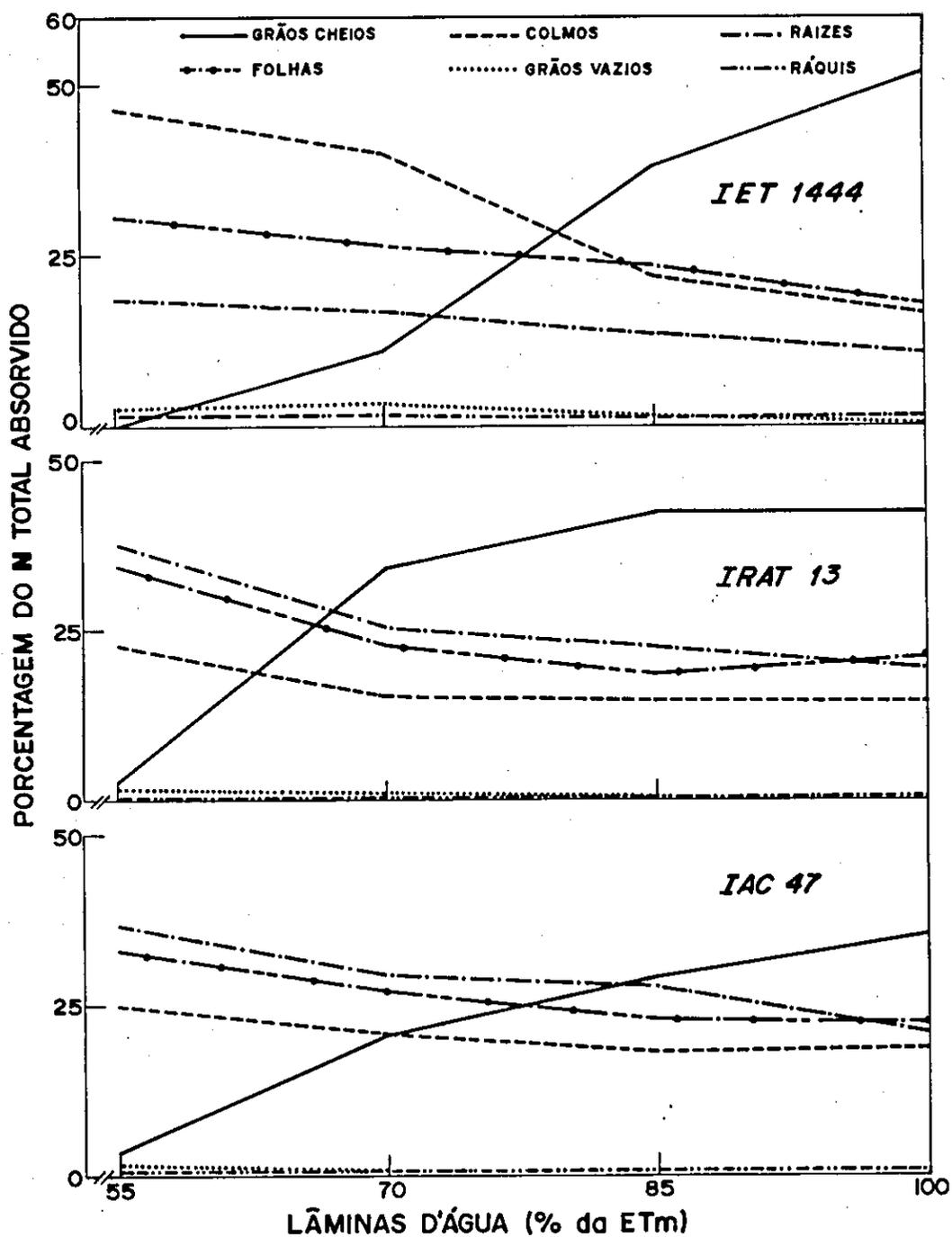


FIG. 3. Distribuição, nas plantas de três cultivares de arroz, do nitrogênio total absorvido, em função de lâminas d'água correspondentes a percentagens da evapotranspiração máxima (ETm), aplicadas do início da fase reprodutiva até a colheita.

TABELA 2. Médias da percentagem e da quantidade de nitrogênio proveniente do fertilizante em diversas partes da planta e na planta inteira de três cultivares de arroz irrigadas com diferentes lâminas d'água, do início da fase reprodutiva até a colheita, sem e com adição de vermiculita ao solo.

NPPF ¹	Lâminas d'água (% da ETm ²)	Rizos			Colmos			Folhas				
		IAC 47	IRAT 13	IET 1444	Média	IAC 47	IRAT 13	IET 1444	Média	IAC 47	IRAT 13	IET 1444
55	51,4	51,4	49,3	50,5a	55,5	56,0	55,6	55,7a	54,8	56,3	55,9	55,7
70	49,7	50,0	48,3	49,3a	54,2	55,9	55,4	55,2a	55,4	56,6	56,4	56,1
85	48,1	50,0	47,5	48,5a	54,4	56,7	55,7	55,6a	55,9	58,6	58,0	57,5
100	45,0	45,8	45,3	45,4b	52,3	52,9	54,2	53,1b	56,5	57,2	57,5	57,0
Percentagem (%)	S/Verm. ³	48,5	49,0	48,4	48,6	54,3	55,2	56,0	56,2	57,6	57,6	56,9
	Média	48,4	49,6	46,8	48,3	53,8	55,5	54,4	55,1	57,4	56,3	56,3
	Média	48,4AB	49,3A	47,6B	48,3	54,1B	55,4A	55,2AB	55,6B	57,2A	57,0AB	57,0AB
55	111,8aA	113,8aA	61,1aB	95,5a	82,3B	75,1aB	173,6aA	110,4a	108,5g	114,0a	115,4a	112,6a
70	88,2bA	79,5bA	56,0abB	74,8b	68,6B	53,2bC	152,3bA	91,4b	91,7abAB	81,4bcB	102,7abA	91,9b
85	91,2bA	76,6bB	44,6bcC	70,8b	67,6B	56,8bB	86,5cA	70,3c	87,8bAB	73,4cB	95,6bcA	85,6b
100	75,1cA	72,3bA	38,8cB	62,1c	78,0	63,4ab	69,2d	70,2c	102,0abA	97,7abA	79,7cB	93,2b
Quantidade (mg/vaso)	S/Verm.	90,2	84,2	75,2	75,8	64,9	125,5	88,7a	108,8	101,8	102,8	104,5a
	C/Verm.	93,2	86,9	49,2	76,4	72,5	59,4	82,4b	86,2	81,5	94,0	87,2b
	Média	91,7A	85,6B	50,1C	74,1B	62,1C	120,5A	87,5	97,5	91,6	98,4	95,4
Percentagem - CV (%)		5,4				3,5				4,3		
Quantidade - CV (%)		12,4				14,9				13,5		

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.

¹ NPPF = nitrogênio na planta proveniente do fertilizante;

² ETm = evapotranspiração máxima, mm;

³ C/Verm. = adição de vermiculita (10% em volume) ao solo.

TABELA 2. Continuação.

NPPF ¹	Lâminas d'água (% da ETm ²)	Grãos				Total			
		IAC 47	IRAT 13	IET 1444	Média	IAC 47	IRAT 13	IET 1444	Média
	55	57,0	57,3	56,2	56,8ab	53,7	54,4	54,5	54,2
	70	56,0	57,7	56,9	56,8ab	53,6	55,2	54,7	54,5
	85	55,9	58,7	58,0	57,5a	53,4	56,4	56,0	55,3
	100	54,0	55,3	56,8	55,4b	52,3	53,4	55,1	53,6
Percentagem (%)	S/Verm.	56,1	57,1	57,9	57,0	53,5	54,7	55,9	54,7
	C/Verm.	55,3	57,4	56,0	56,2	52,9	55,0	54,2	54,0
	Média	55,7B	57,2A	57,0A		53,2B	54,8A	55,1A	
	55	12,1d	10,3c	0,4d	7,6d	321,0cB	320,cB	367,4bA	336,2c
	70	71,4cB	123,7bA	45,1cB	80,0c	326,5cB	343,5bcB	375,9bA	348,6c
	85	111,0bB	167,8aA	156,7bA	145,2b	363,6b	379,0b	393,9ab	378,8b
	100	152,6aC	190,6aB	226,8aA	190,0a	415,6a	431,3a	421,1a	422,7a
Quantidade (mg/vaso)	S/Verm.	89,2	127,7	109,7	108,9	370,7aB	385,0aB	402,8aA	386,2a
	C/Verm.	84,3	118,5	104,7	102,5	342,6bB	352,0bB	376,4bA	357,0b
	Média	86,8C	123,1A	107,2B		356,7B	368,5B	389,6A	
Percentagem - CV (%)			3,6				4,1		
Quantidade - CV (%)			21,0				7,3		

nham minimizado o efeito do estresse hídrico sobre a amonificação do nitrogênio e a nitrificação.

Outra forma de apresentar os dados de quantidade de nitrogênio, na planta, proveniente do fertilizante, é a mostrada na Tabela 3. Nela, os dados são apresentados como eficiência da utilização do fertilizante nitrogenado, para comparação com a literatura. O decréscimo nesta eficiência, como consequência do estresse hídrico, também foi observado por Shiga (1975).

As eficiências de utilização do fertilizante nitrogenado observadas neste experimento podem ser consideradas altas, pois na literatura os valores variaram entre 30 e 65% (Moore Junior et al. 1981, Park & Shin 1973, Vlek et al. 1979). Como o experimento foi conduzido em vaso com o fundo fechado, não havendo, portanto, perdas de nitrogê-

nio por lixiviação e por deflúvio superficial e, como o fertilizante nitrogenado foi aplicado ao solo dissolvido em água, o que, segundo Terman (1979), elimina ou reduz as perdas por volatilização, as possíveis perdas foram minimizadas, o que aumentou a eficiência da utilização do fertilizante nitrogenado.

A distribuição do nitrogênio proveniente do fertilizante, nas diversas partes da planta (Fig. 4), diferiu um pouco da observada com relação ao nitrogênio total porque a percentagem de nitrogênio proveniente do fertilizante foi um pouco mais baixa nas raízes do que nas outras partes da planta. Assim, a proporção do nitrogênio proveniente do fertilizante que ficou nas raízes diminuiu, e aumentou nas folhas e nos grãos cheios, em relação à proporção observada com o nitrogênio total.

TABELA 3. Médias da eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado de três cultivares de arroz irrigadas com diferentes lâminas d'água, do início da fase reprodutiva até a colheita, sem e com adição de verculita ao solo.

Lâminas d'água (% da ETm ¹)	EUFN ² (%)			
	IAC 47	IRAT 13	IET 1444	Média
55	64,2cB	64,0cB	73,5bA	67,2c
70	65,3cB	68,7bcB	75,2bA	69,7c
85	72,7b	75,8b	78,8ab	75,8b
100	83,1a	86,2a	84,2a	84,5a
S/Verm.	74,2aB	77,0aAB	80,6aA	77,2a
Média C/Verm. ³	68,5bB	70,4bB	75,3bA	71,4b
Média	71,3B	73,7B	77,9A	

CV (%)

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.

¹ ETm = evapotranspiração máxima, mm;

² EUFN = eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado;

³ C/Verm. = adição de vermiculita (10% em volume) ao solo.

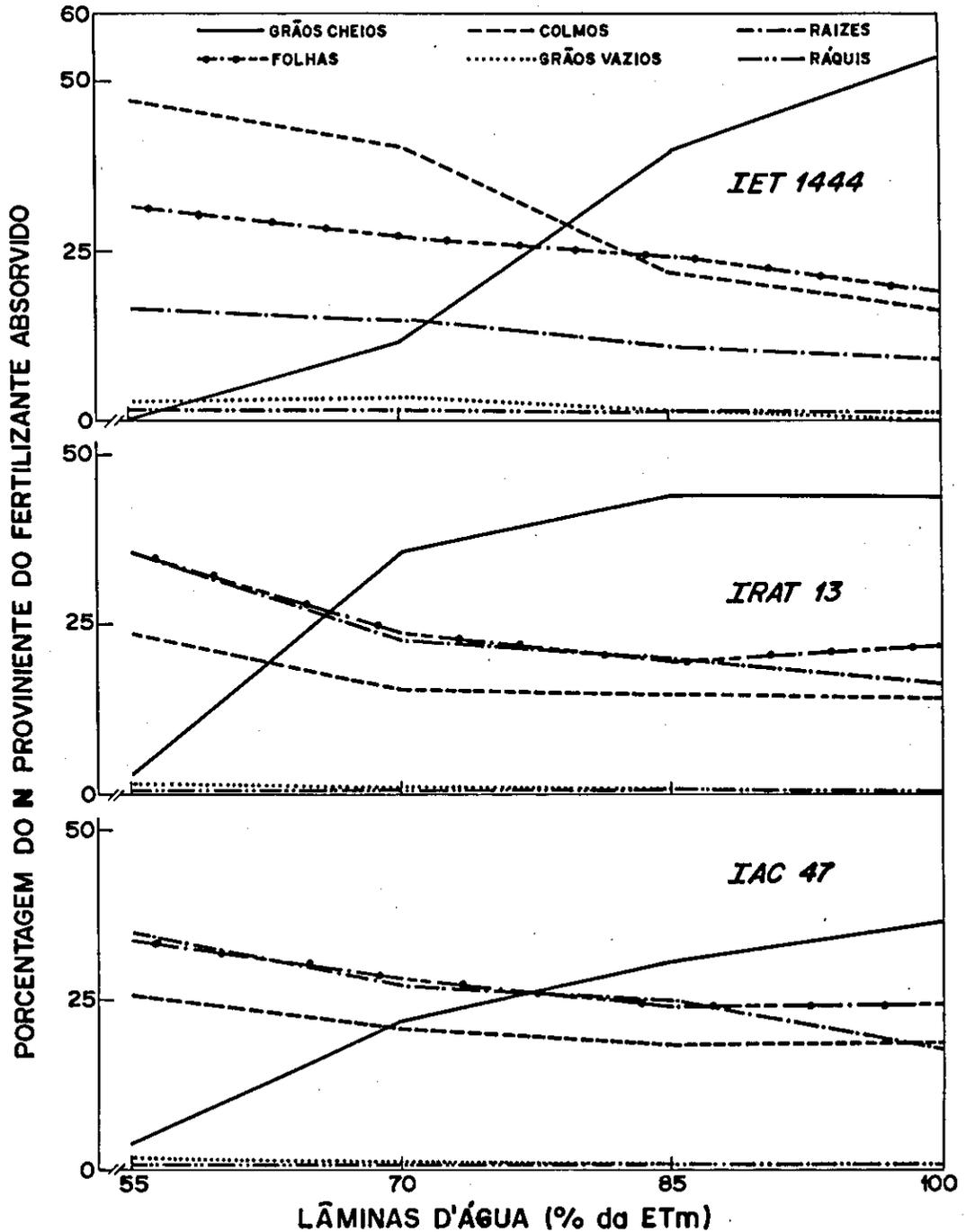


FIG. 4. Distribuição, nas plantas de três cultivares de arroz, do nitrogênio proveniente do fertilizante, em função de lâminas d'água correspondentes a percentagens da evapotranspiração máxima (ET_m), aplicadas do início da fase reprodutiva até a colheita.

CONCLUSÕES

1. A adição de vermiculita ao solo afetou a utilização do nitrogênio pelo arroz, reduzindo a absorção deste elemento e o seu teor nas plantas, assim como a eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado.

2. A deficiência hídrica também reduziu a absorção de nitrogênio e a eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado pelo arroz; entretanto, o seu efeito sobre o teor de nitrogênio nas plantas dependeu da sua intensidade.

3. As plantas de arroz absorveram o nitrogênio nativo e o proveniente do fertilizante aproximadamente na mesma proporção, independentemente do nível de estresse hídrico considerado.

4. Entre as cultivares testadas, a IET 1444 apresentou maior teor de nitrogênio e, em condições de deficiência hídrica, menor redução na absorção deste elemento.

REFERÊNCIAS

- ALLISON, F.E.; ROLLER, E.M. & DOETSCH, J.H. Ammonium fixation and availability in vermiculite. *Soil Sci.*, Baltimore, 75:173-80, 1953.
- 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. Fd. Chem.*, Easton, 11:204-7, 1963.
- BERINGER, H. O potássio na produção das culturas. In: SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Londrina, 1982. Anais... Piracicaba, Instituto da Potassa & Fosfato - Instituto Internacional de Potassa, 1982. p.163-75.
- CRAFTS, A.S. Water deficits and physiological processes. In: KOZŁOWSKI, T.T., ed. Water deficits and plant growth. New York, Academic Press, 1968. v.2, p.85-133.
- DE DATTA, S.K.; FAYE, F.G. & MALLICK, R.N. Relaciones suelo-agua en arroz de secano. In: BORNE-MISZA, E. & ALVARADO, A., eds. Manejo de suelos en la América Tropical. Raleigh, N.C., University Consortium on Soils of the Tropics - Soil Science Department - North Carolina State University, 1975. p.172-90.
- ENYI, B.A.C. Comparative studies of upland and swamp rice varieties (*Oryza sativa* L.). I. Effect of soil moisture on growth and nutrient uptake. *J. Agric. Sci., Cambridge*, 71:1-13, 1968.
- HALM, A.T. Effect of water regime on the growth and chemical composition of two rice varieties. *Trop. Agric., Trinidad*, 44(1):33-7, 1967.
- HAUCK, R.D. & BREMNER, J.M. Use of tracers for soil and fertilizer nitrogen research. *Adv. Agron.*, New York, 28:219-66, 1976.
- HILL, J. The remobilization of nutrients from leaves. *J. Plant Nutr.*, New York, 2(4):407-44, 1980.
- MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo, Ceres, 1980. 251p.
- MATSUI, T. & TOTANI, M. Studies on some functions of vermiculitic clay separates from Japanese soils. *Clay Sci.*, Tokyo, 1(6):29-40, 1963.
- MOORE JUNIOR, P.A.; GILMOUR, J.T. & WELLS, B.R. Seasonal patterns of growth and soil nitrogen uptake by rice. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 45(5):875-9, 1981.
- NÖMMIK, H. Ammonium fixation and other reactions involving a nonenzymatic immobilization of mineral nitrogen in soil. In: BARTHOLOMEW, W.V. & CLARK, F.E., eds. *Soil nitrogen*, Madison, American Society of Agronomy, 1965. Cap. 5, p.198-258.
- PARK, H. & SHIN, C.S. Mineral nutrient of field-grown rice plant. II. Recovery of fertilizer nitrogen, phosphorus, and potassium in relation to climatic zone and physical or chemical characteristics of soil profile. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.*, Seoul, 6:17-26, 1973.
- PROKSCH, G. Routins analysis of ¹⁵N in plant material by mass spectrometry. *Plant Soil*, The Hague, 31(2): 380-4, 1969.
- REHATTA, S.B.; DIJKSHOORN, W. & LAMPE, J.E.M. Nitrogen uptake by rice plants from a dry soil at maintained water supply from a greater depth. *Neth. J. Agric. Sci.*, Wageningen 27(1):99-110, 1979.
- RICHARDS, L.A. & WADLEIGH, C.H. Soil water and plant growth. In: SHAW, B.T., ed. *Soil physical conditions and plant growth*. New York, Academic Press, 1952. p.73-251.
- SHIGA, H. Mineral microbial transformations in upland rice soil. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE, Los Baños, Filipinas. Major research in upland rice. Los Baños, Philippines, 1975. p.217-37.
- STONE, L.F. Efeitos de diferentes conteúdos de água do solo e doses de nitrogênio sobre o comportamento do trigo (*Triticum aestivum* L.). Campina Grande, CCT/UFPB, 1976. 81p. Tese Mestrado.
- STONE, L.F.; LIBARDI, P.L. & REICHARDT, K. Deficiência hídrica, vermiculita e cultivares. I. Efeito na produtividade do arroz (*Oryza sativa* L.). *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 19(6): 695-707, jun. 1984.
- TERMAN, G.L. Volatilization losses of nitrogen as ammonia from surface-applied fertilizers, organic amendments and crop residues. *Adv. Agron.*, New York, 31:189-223, 1979.
- 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.

- TRIVELIN, P.C.O.; SALATI, E. & MATSUI, E. Preparo de amostras para análise de ^{15}N por espectrometria de massa. Piracicaba, CENA, 1973. 41p. (CENA. Boletim Técnico, 2).
- TSUNODA, S. Leaf characters and nitrogen response. In: SYMPOSIUM ON THE MINERAL NUTRITION OF THE RICE PLANT, Los Baños, Philippines, 1964. Proceedings . . . Baltimore, John Hopkins, 1965. p.401-18.
- 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.
- VLEK, P.L.G.; HONG, C.W. & YOUNGDAHL, L.J. An analysis of N nutrition on yield and yield components for the improvement of rice fertilization in Korea. Agron. J., Madison, 71(5):829-33, 1979.