

PRODUTIVIDADE DO ARROZ E ABSORÇÃO DE NITROGÊNIO AFETADAS PELO VERANICO E PELA ADIÇÃO DE VERMICULITA AO SOLO¹

LUIS FERNANDO STONE², PAULO LEONEL LIBARDI³ e KLAUS REICHARDT⁴

RESUMO - Foi estudado o efeito de três durações de veranicos (zero, quatro e oito dias) e de dois tratamentos de vermiculita (sem e com adição de 10% em volume ao solo) na produtividade do arroz, cv. IAC 47, e na sua absorção de nitrogênio, em um experimento em vasos, utilizando-se amostras da camada de 0 cm - 20 cm de um Latossolo Vermelho-Escuro. Os períodos dos veranicos foram simulados pela supressão da irrigação durante a emissão das panículas. A incorporação de vermiculita melhorou algumas características químicas do solo, mas não se refletiu na produção de grãos nem em seus componentes; apenas causou um aumento no rendimento de matéria seca. Ela também não afetou a absorção do nitrogênio. A produção de grãos e seus componentes e os rendimentos de matéria seca foram afetados negativamente por incrementos nos períodos dos veranicos. A absorção do nitrogênio nativo do solo e do proveniente do fertilizante, ao contrário, aumentou. As plantas absorveram o nitrogênio nativo do solo e o proveniente do fertilizante na mesma proporção, independente da duração do veranico.

Termos para indexação: *Oryza sativa*, deficiência hídrica, irrigação, ¹⁵N.

RICE YIELD AND NITROGEN UPTAKE AS INFLUENCED BY DROUGHT AND BY VERMICULITE INCORPORATION IN THE SOIL

ABSTRACT - The effect of three drought period durations (zero, four and eight days) and two vermiculite treatments (with and without incorporation in the soil at 10% concentration on volume basis) on the rice yield and nitrogen uptake was studied in a greenhouse experiment. The soil used in this study was a Dark-Red Latosol (Haplustox) collected from a depth of 0 cm - 20 cm. The drought periods were simulated by withholding the irrigation during panicle emergence. The vermiculite incorporation has improved some soil chemical properties but did not affect grain yield and its components. However, it increased dry matter yield. It also did not affect the nitrogen uptake. The grain yield, its components and the dry matter yield were decreased with increasing drought period duration. However, on the other hand, the nitrogen uptake increased. Rice plants absorbed soil nitrogen in the same proportion as nitrogen derived from fertilizer, regardless of the drought period duration.

Index terms: *Oryza sativa*, water stress, irrigation, ¹⁵N.

INTRODUÇÃO

Durante a estação chuvosa, quando o arroz é cultivado na região dos cerrados, a distribuição das chuvas é irregular, sendo comum a ocorrência de estiagens de duas a três semanas, denominadas, regionalmente, de "veranicos". Em virtude da bai-

xa capacidade de retenção de água dos solos, e da alta demanda evapotranspirativa durante estes períodos, estes veranicos causam sérios decréscimos na produtividade do arroz.

A deficiência hídrica afeta também a dinâmica do nitrogênio no sistema solo-planta, embora ainda existam controvérsias sobre o seu efeito na absorção de nitrogênio pelas plantas de arroz.

Para diminuir os efeitos negativos do veranico, a alternativa que vem sendo estudada 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, aumente a disponibilidade de nutrientes e de água. A vermiculita, entretanto, tem a capacidade de fixar amônio (Allison et al. 1953, Nömmik 1965), o que pode alterar a absorção de nitrogênio.

¹ Aceito para publicação em 29 de agosto de 1985. 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., Dr., EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAP), Caixa Postal 179, CEP 74000 Goiânia, GO.

³ Eng. - Agr., Dr., Prof. - Assist., DFM, ESALQ/USP, CENA e Bolsista do CNPq.

⁴ Eng. - Agr., Ph.D., Prof. - Tit., DFM, ESALQ/USP.

Neste trabalho pretende-se verificar como a produtividade do arroz e a sua utilização do nitrogênio é afetada por períodos de veranico e pela adição de vermiculita ao solo.

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 três plantas de arroz, cultivar IAC 47. Foi usado o Latossolo Vermelho-Escuro, coletado no município de Goiânia, GO, à profundidade de 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 ml e Al^{3+} 0,12 meq/100 ml.

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 2 x 3, 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 durações de veranico: zero, quatro e oito dias. Os veranicos foram simulados pela supressão da irrigação, no início da emissão das panículas, durante o período considerado.

A primeira irrigação foi feita para elevar a umidade inicial até o valor correspondente a -0,1 atm de potencial matricial da água do solo. A quantidade de água aplicada por irrigação, antes dos tratamentos de veranico, correspondeu à perda pela evapotranspiração, determinada de acordo com Stone et al. (1984). Após os tratamentos de veranico, aplicou-se uma quantidade de água suficiente para deixar o solo à capacidade de campo (potencial de -0,1 atm) e depois continuou-se aplicando a quantidade de água perdida pela evapotranspiração.

A vermiculita 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.

A análise química da vermiculita 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, $\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$ 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.

Após a colheita, as plantas foram analisadas 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, 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 na planta, proveniente do fertilizante (NPPF), foi calculada pela fórmula de Trivelin et al. (1973).

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

Onde: At% ¹⁵NP = percentagem de átomos de ¹⁵N presente na planta;

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 de abundância natural, de acordo com Hauck & Bremner (1976).

A percentagem de nitrogênio no solo, proveniente do fertilizante (NSPF), foi calculada pela seguinte fórmula:

$$\text{NSPF} = \left(\frac{\text{At} \% ^{15}\text{NS} - \% \text{AN}}{\text{At} \% ^{15}\text{NF} - \% \text{AN}} \right) \times 100 \quad \dots \dots \dots (2)$$

Onde: At% ¹⁵NS = percentagem de átomos de ¹⁵N presente no solo.

Os demais elementos já foram descritos anteriormente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Solo após a colheita

Na Tabela 1 podem ser vistos os resultados da análise de algumas características químicas do solo, após a colheita do experimento. Observa-se que o pH e o teor de magnésio trocável aumentaram e o teor de alumínio trocável diminuiu significativamente com a adição de vermiculita, concordando com o observado por Dunham (1967), Korbleva (1965) e Santos et al. (1982). O aumento no teor de magnésio foi devido ao elevado teor deste elemento na composição da vermiculita, que, também, possui cálcio e potássio em quantidades consideráveis. O magnésio e o cálcio devem ter neutralizado, em parte, o alumínio, explicando a redução do seu teor e o aumento do pH. Houve uma tendência de a vermiculita aumentar os teores trocáveis de cálcio e potássio e a CTC.

Componentes da produção

A adição de vermiculita ao solo não afetou significativamente os componentes da produção. Uma possível explicação para isto é que a maior

TABELA 1. Resultados da análise¹ de algumas características químicas do solo, nos tratamentos sem e com adição de vermiculita, após a colheita do experimento.

Tratamentos	pH 1:2,5	C.org. %	PO ₄ ⁻³	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	H ⁺	CTC
			meq/100 ml solo						
S/verm.	5,2 b	1,32	0,14	4,14	0,63 b	0,08	0,10 a	4,80	9,75
C/verm. ²	5,4 a	1,46	0,13	4,72	2,03 a	0,10	0,09 b	5,12	12,06
Teste F	24,99 * ³	1,08ns ⁴	0,24ns	11,95ns	59,53 *	12,00ns	24,99 *	0,57ns	16,73ns

(1) A análise foi feita no laboratório de solos do CES/ESALQ/USP; (2) C/verm. = adição de vermiculita (10% em volume) ao solo; (3) * = significância ao nível de 5% de probabilidade;

(4) ns = não significativo.

quantidade de água colocada inicialmente nos tratamentos com vermiculita (45,4 contra 41,5 mm), por causa da maior capacidade de retenção, foi muito pequena em relação à demanda das plantas. Além disto, como a vermiculita provavelmente não afeta a taxa de evapotranspiração, como verificaram Salati et al. (1980) para a cultura do milho, e como os vasos não tinham abertura no fundo, não se podendo, portanto, observar diferenças com relação à percolação, os vasos com e sem vermiculita tiveram, praticamente, a mesma quantidade de água à sua disposição. Por outro lado, os seus efeitos favoráveis sobre algumas características químicas do solo, os quais foram discutidos anteriormente, não se refletiram nos componentes da produção, possivelmente porque os níveis dos nutrientes estavam adequados e a sua elevação, provocada pela adição de vermiculita, não teve efeito significativo.

Na Fig. 1 podem ser vistos os componentes da produção em função da duração dos períodos de veranico. O número de panículas por vaso não foi apresentado, por não mostrar uma correlação significativa com a duração do veranico. Todos os demais componentes mostraram uma correlação significativa. Como os períodos de veranico foram aplicados no início da emissão das panículas quando elas já estavam formadas, era de se esperar que o número de panículas não fosse afetado. Observa-se que o peso de 100 grãos apresentou uma correlação quadrática, e os outros componentes da produção, uma correlação linear com a duração do veranico, mostrando que a porcentagem de grãos vazios e o número de grãos cheios por panícula diminuíram proporcionalmente ao aumento na duração do veranico, enquanto o peso dos grãos foi pouco afetado por curtos períodos de veranico (até quatro dias), mas diminuiu sensivelmente para períodos maiores. De fato, o peso dos grãos é mais afetado pelo estresse hídrico, de acordo com O'Toole & Chang (1979), no estágio de enchimento dos grãos (aproximadamente 21 dias após a antese) e, por isso, só o período mais longo de veranico o afetou significativamente. A menor porcentagem de grãos vazios, observada no tratamento que não sofreu veranico, em relação aos outros tratamentos, concorda com Hernandez (1969), que afirma que a falta d'água na floração

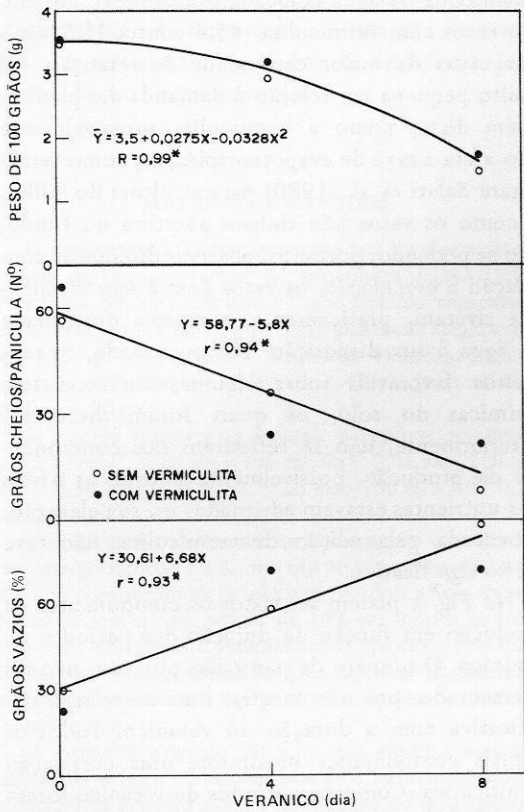


FIG. 1. Percentagem de grãos vazios, número de grãos cheios por panícula e peso de 100 grãos da cultivar de arroz IAC 47, em função de dias de veranico durante a emissão das panículas.

incrementa o número de grãos vazios. Steinmetz et al. (1979) também verificaram aumento na percentagem de grãos vazios com a ocorrência de veranicos.

Produção de grãos

Não houve efeito significativo da adição de vermiculita na produção de grãos, o que era de se esperar, já que ela não afetou os componentes da produção. Santos et al. (1982) relatam que só foram verificados efeitos favoráveis de vermiculita na produção em condições ótimas de umidade do solo e com a aplicação de dosagens elevadas.

Na Fig. 2 observa-se que houve uma correlação linear negativa e altamente significativa entre produção de grãos e duração do veranico. A redução na produção, com o aumento da duração do veranico, deve-se ao fato de que os períodos de defi-

ciência hídrica afetaram negativamente os componentes da produção, como já discutido. Steinmetz et al. (1979) também verificaram queda na produção do arroz, devida à ocorrência de veranicos. O veranico de quatro dias reduziu a produção em cerca de 60%, enquanto o de oito dias a reduziu em cerca de 87% (Tabela 2). Convém salientar que os períodos de quatro e oito dias de veranico, em casa de vegetação, equivalem a períodos bem maiores em condições de campo. A temperatura mais elevada da casa de vegetação e a maior duração da área foliar desenvolvida pela cultivar IAC 47 (entre 475 e 510 $m^2 \cdot m^{-2} \cdot dia$) em comparação à desenvolvida em condições de campo (entre 69 e 110 $m^2 \cdot m^{-2} \cdot dia$), segundo Stone et al. (1979), fizeram com que o consumo de água fosse muito elevado, acentuando a deficiência hídrica. Além disto, a quantidade de solo explorada pelas plantas nos vasos é menor do que a explorada em condições de campo, o que também contribui para acentuar a deficiência hídrica. De fato, Steinmetz et al. (1979) observaram redução na produção desta mesma cultivar, em condições de campo, semelhante às obtidas neste experimento, de 62% e 86%, para maiores períodos de veranico, de dez e quinze dias, respectivamente.

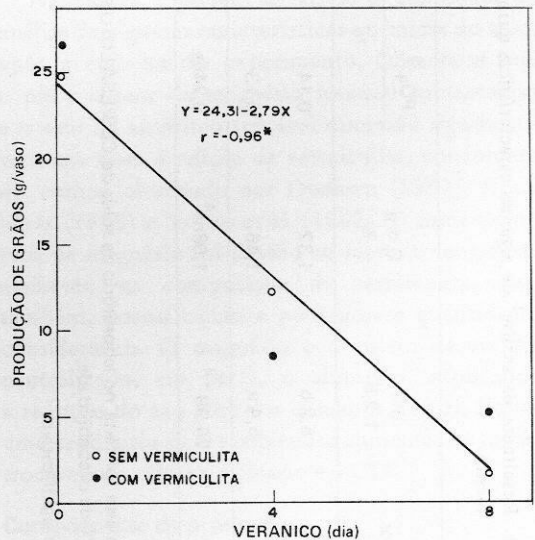


FIG. 2. Produção de grãos da cultivar de arroz IAC 47, em função de dias de veranico durante a emissão das panículas.

TABELA 2. Produção relativa da cultivar de arroz IAC 47, submetida a veranicos de diferentes durações, sem e com adição de vermiculita ao solo.

Veranicos (dia)	Produção relativa (%)
0	100,0
4	40,1
8	13,3

Rendimento de matéria seca

A adição de vermiculita ao solo aumentou significativamente o rendimento total de matéria seca (Fig. 3). Este aumento foi devido principalmente ao incremento no peso da palha. Este incremento provavelmente teve como causa a grande elevação do teor de magnésio trocável do solo. Kurup & Ramankutty (1969) observaram que a aplicação de altas doses de silicato de magnésio aumentou o rendimento da palha, mas não afetou a produção de grãos do arroz. Fageria (1976) também observou que o aumento na concentração de magnésio aumentou o rendimento de matéria seca da parte aérea de plantas de arroz cultivadas em solução nutritiva. Santos et al. (1982) relatam aumento no rendimento total de matéria seca da parte aérea de plantas de milho, pela adição de vermiculita.

Observa-se que o rendimento total de matéria seca diminuiu à medida que aumentaram os períodos de veranico, e foi devido principalmente à redução na produção de grãos.

Nitrogênio total na planta

A adição de vermiculita ao solo reduziu significativamente o teor de nitrogênio no tecido, mas não afetou a sua absorção total pelas plantas (Fig. 4). A redução foi devida ao efeito de diluição, pois o rendimento de matéria seca foi maior nos tratamentos com vermiculita. Apesar de vários autores (Allison et al. 1953, Nõmmik 1965, Stone et al. 1984) terem observado fixação de amônio pela vermiculita, neste experimento parece que não ocorreu. Segundo Nõmmik (1965), a fixação de amônio sob condições úmidas é baixa; e neste experimento, o solo sempre esteve úmido até a emissão das panículas. Além disto, quando foram

simulados os veranicos, a planta de arroz já deveria ter absorvido cerca de 70% do seu nitrogênio total (Reyes et al. 1962), diminuindo a concentração de nitrogênio no solo. Portanto, apesar de a secagem do solo favorecer a fixação de amônio, a sua concentração no solo deveria ser baixa, o que diminui a fixação (Nõmmik 1965).

O teor de nitrogênio aumentou com o incremento dos períodos de veranico, por causa da maior redução na taxa de crescimento em relação à de absorção e também pelo fato de que os períodos de veranico afetaram favoravelmente a absorção de nitrogênio pelas plantas. Vários pesquisadores (Chen et al. 1974, Halm 1967, Shiga 1975) têm observado aumento no conteúdo de nitrogênio das plantas com o incremento do estresse hídrico. O incremento na absorção de nitrogênio com o veranico pode ter sido causado por um estímulo nos microrganismos do solo, acelerando a mineralização da matéria orgânica, pela secagem do solo. Harmsen & Kolenbrander (1965) relatam que a “esterilização parcial” do solo, por dessecação, aquecimento ou desinfecção, resulta numa aparente estimulação dos microrganismos, cuja atividade freqüentemente alcança níveis bem acima do observado antes da esterilização. Este maior “vigor” é atribuído a mudanças químicas e físicas nas

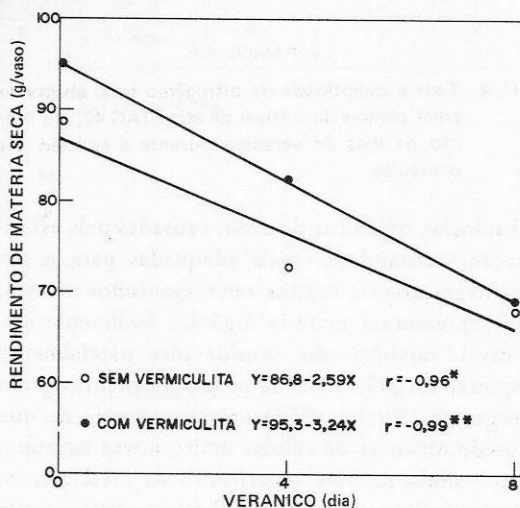


FIG. 3. Rendimento de matéria seca da cultivar de arroz IAC 47, em função de dias de veranico durante a emissão das panículas.

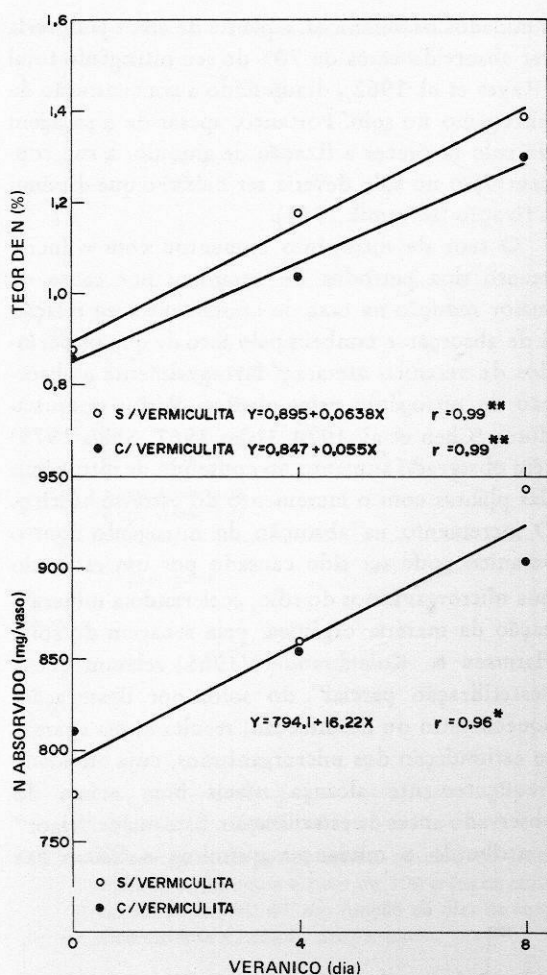


FIG. 4. Teor e quantidade de nitrogênio total absorvida pelas plantas da cultivar de arroz IAC 47, em função de dias de veranico durante a emissão das panículas.

substâncias orgânicas do solo, causadas pela esterilização, tornando-as mais adequadas para a sua desintegração. Os muitos microrganismos mortos, que representam matéria orgânica facilmente disponível, também são considerados parcialmente responsáveis pelo pico na produção de nitrogênio inorgânico. Birch (1958) propôs a teoria de que a predominância de células muito novas na população, ainda na fase logarítmica de crescimento, com sua alta atividade metabólica, seria a causa do maior "vigor" após a dessecação. Este mesmo autor observou, ainda, que a magnitude do estímulo na atividade dos microrganismos, após a

dessecação, estava relacionada com a duração do período em que o solo permanece seco.

Nitrogênio na planta, proveniente do fertilizante

Observa-se, na Tabela 3, que não houve efeito significativo dos tratamentos sobre a percentagem de nitrogênio na planta, proveniente do fertilizante. Esta percentagem situou-se em torno de 50%, indicando que a planta absorveu quantidades semelhantes de nitrogênio nativo do solo e do proveniente do fertilizante.

A quantidade de nitrogênio na planta, proveniente do fertilizante (QNPPF), não foi afetada significativamente pela adição de vermiculita ao solo, pelo mesmo motivo discutido com relação ao nitrogênio total. O incremento na duração do veranico, entretanto, afetou-a positivamente (Fig. 5). O aumento na QNPPF foi devido, provavelmente, ao fato de que muitos microrganismos mortos durante o período de secagem do solo são fácil e rapidamente decompostos e mineralizados, tornando disponível o nitrogênio (nativo do solo e do fertilizante) que haviam imobilizado.

Nitrogênio no solo, proveniente do fertilizante

A percentagem e a quantidade de nitrogênio no solo, proveniente do fertilizante, não foram afetadas significativamente pela adição de vermiculita ao solo, o que era de se esperar, uma vez que ela não afetou a quantidade de nitrogênio proveniente do fertilizante absorvida pelas plantas.

Estes dois parâmetros apresentaram um comportamento semelhante em relação à duração do veranico (Fig. 6). Seus valores diminuíram com o incremento do período de veranico. Isto se deve ao fato de que a absorção de nitrogênio pelas plantas foi favorecida pelo aumento nos períodos dos veranicos, reduzindo, assim, a quantidade de nitrogênio no solo. A quantidade de nitrogênio aplicada, que ficou no solo, nos tratamentos com veranico, foi baixa, indicando que a "esterilização parcial", por secagem do solo, foi eficiente em liberar o nitrogênio imobilizado pelos microrganismos.

Balanço do nitrogênio proveniente do fertilizante, no sistema solo-planta

Na Tabela 4 pode ser observado o balanço da quantidade de nitrogênio aplicado como fertilizante no sistema solo-planta.

TABELA 3. Percentagem média de nitrogênio proveniente do fertilizante nas plantas da cultivar de arroz IAC 47, submetida a veranicos de diferentes durações, sem e com adição de vermiculita ao solo.

Vermiculita (dia)	S/verm.	C/verm.	Média
0	51,4	53,2	52,3
4	54,1	52,2	53,1
8	51,3	52,8	52,0
Média	52,3	52,7	

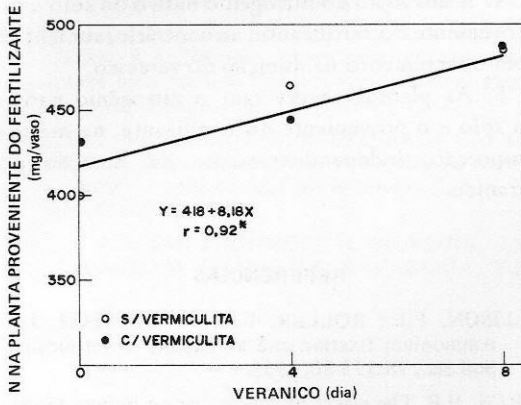


FIG. 5. Quantidade de nitrogênio proveniente do fertilizante absorvida pelas plantas da cultivar IAC 47, em função de dias de veranico durante a emissão das panículas.

Verifica-se que praticamente foi recuperado todo o nitrogênio aplicado. Terman (1979) afirma que a perda de nitrogênio, na forma de amônia, do sulfato de amônio aplicado ao solo, é grandemente reduzida quando o solo apresenta alto teor de umidade. Como, antes e após os períodos de veranico, a umidade do solo se situou em torno da capacidade de campo, eliminou-se a perda por volatilização. Durante o período dos veranicos, o solo ficou muito seco, o que também eliminou ou reduziu a perda, pois ela depende de suficiente quantidade de água para dissolver os compostos nitrogenados (Terman 1979). Graças às condições do experimento, também não ocorreram as demais

perdas (lixiviação, escoamento superficial e desnitrificação) normalmente presentes em um balanço de nitrogênio.

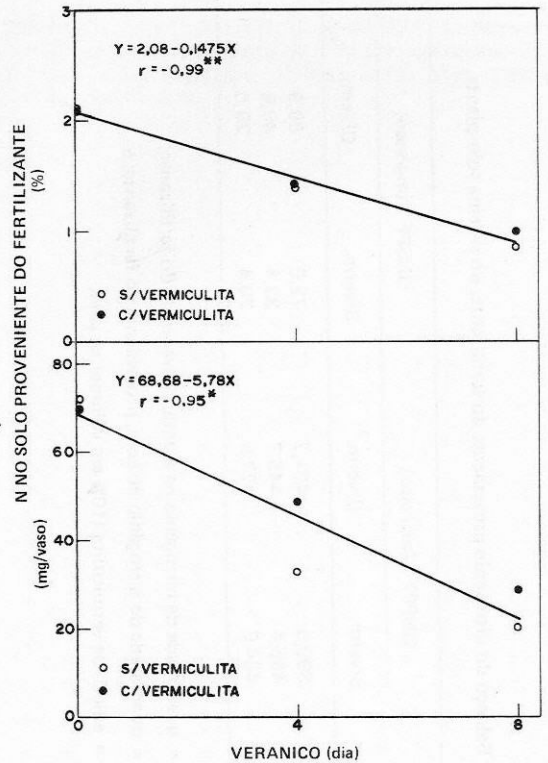


FIG. 6. Percentagem e quantidade de nitrogênio proveniente do fertilizante, no solo após a colheita da cultivar de arroz IAC 47, em função de dias de veranico durante a emissão das panículas.

TABELA 4. Balanço do nitrogênio proveniente do fertilizante, no sistema solo-planta.

Veranicos (dia)	ONPPF ¹ (mg/vaso)		ONSPF ² (mg/vaso)		Total (mg/vaso)		% do N aplicado	
	S/verm.	C/verm. ³	S/verm.	C/verm.	S/verm.	C/verm.	S/verm.	C/verm.
0	399,5	431,7	72,0	69,9	471,5	501,6	94,3	100,3
4	465,4	445,7	33,1	48,9	498,5	494,6	99,7	98,9
8	484,6	477,5	20,4	29,0	505,0	506,5	101,0	101,3

(1) ONPPF = quantidade de nitrogênio na planta, proveniente do fertilizante;

(2) ONSPF = quantidade de nitrogênio no solo, proveniente do fertilizante; e

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

CONCLUSÕES

1. Apesar de a incorporação de vermiculita ter melhorado algumas características químicas do solo, não refletiu na produção de grãos nem em seus componentes. Causou apenas um aumento no rendimento de matéria seca.

2. A absorção, tanto do nitrogênio nativo do solo, como do proveniente do fertilizante, também não foi afetada pela incorporação de vermiculita ao solo.

3. A produção de grãos e seus componentes e o rendimento de matéria seca foram afetados negativamente por incrementos nos períodos de veranico.

4. A absorção do nitrogênio nativo do solo e do proveniente do fertilizante, ao contrário, aumentou com o incremento na duração do veranico.

5. As plantas absorveram o nitrogênio nativo do solo e o proveniente do fertilizante, na mesma proporção, independentemente da duração do veranico.

REFERÊNCIAS

- ALLISON, F.E.; ROLLER, E.M. & DOETSCH, J.H. Ammonium fixation and availability in vermiculite. *Soil Sci.*, 75:173-80, 1953.
- BIRCH, H.F. The effect of soil drying on humus decomposition and nitrogen availability. *Plant Soil*, 10: 9-31, 1958.
- CHEN, D.; KESSLER, B. & MONSELISE, S.P. Studies on water regime and nitrogen metabolism of citrus seedlings grown under water stress. *Plant Physiol.*, 39:379-86, 1974.
- DUNHAM, C.W. Nutrition of greenhouse crops in soils with added peat moss and vermiculite. *Proc. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 90:462-6, 1967.
- FAGERIA, N.K. Effect of P, Ca and Mg concentrations in solution culture on growth and uptake of these ions by rice. *Agron. J.*, 68:726-32, 1976.
- 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.
- HARMSSEN, G.W. & KOLENBRANDER, G.J. Soil inorganic nitrogen. In: BARTHOLOMEW, W.V. & CLARK, F.E., ed. *Soil nitrogen*. Madison, Am. Soc. Agron., 1965. cap. 2., p.43-92.
- HAUCK, R.D. & BREMNER, J.M. Use of tracers for soil and fertilizer nitrogen research. *Adv. Agron.*, 28: 219-66, 1976.
- HERNANDEZ, J.L. Influencia del agua en el arroz. *Arroz*, Lima, 3:33-6, 1969.

- KORABLEVA, L.I. Vermiculite as a source of magnesium for plants. *Agrokhimiya*, (7):88-102, 1965.
- KURUP, K.R. & RAMANKUTTY, N.N. Influence of magnesium silicate, sodium silicate and magnesium carbonate on the growth and yield of rice in the Kuttanad soils of Kerala. *Agric. Res. J. Kerala*, 7: 80-3, 1969.
- NÕMMIK, H. Ammonium fixation and other reactions involving a nonenzymatic immobilization of mineral nitrogen in soil. In: BARTHOLOMEW, W.V. & CLARK, F.E., ed. *Soil nitrogen*. Madison, Am. Soc. Agron., 1965. cap. 5, 198-285.
- O'TOOLE, J.C. & CHANG, T.T. Drought resistance in cereals-rice; a case study. In: MUSSELL, H. & STAPLES, R.C., ed. *Stress physiology in crop plants*. New York, J. Wiley, 1979. p.373-405.
- PROKSCH, G. Routine analysis of ¹⁵N in plant material by mass-spectrometry. *Plant Soil*, 31(2):380-4, 1969.
- REYES, E.D.; DAVIDE, J.G.; ORARA, L.G. & CALIXIHAN, R.A. Nitrogen, phosphorus, and potassium uptake by a lowland rice variety at different stages of growth. *Philipp. Agric.*, 46(1):7-19, 1962.
- SALATI, E.; REICHARDT, K. & URQUIAGA CABALLERO, S. Efeitos da adição de vermiculita na retenção e armazenamento de água por latossolos. *R. bras. Ci. Solo*, 4:125-31, 1980.
- SANTOS, A.B. dos; STEINMETZ, S.; SILVEIRA, P.M. da; BARBOSA FILHO, M.P. & FAGERIA, N.K. Comentários sobre resultados obtidos em estudos com vermiculita na agricultura. Goiânia, EMBRAPA-CNPAF, 1982. 19p. Mimeografado.
- SHIGA, H. Mineral microbial transformations in upland rice soil. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE, Los Baños, Filipinas. Major research in upland rice. Los Baños, 1975. p.217-37.
- STEINMETZ, S.; STONE, L.F. & PINHEIRO, B. da S. Deficiência hídrica e produtividade de arroz de sequeiro; nota prévia. Goiânia, EMBRAPA-CNPAF, 1979. 2p. Mimeografado.
- STONE, L.F.; LIBARDI, P.L. & REICHARDT, K. Deficiência hídrica, vermiculita e cultivares. II. Efeito na utilização do nitrogênio pelo arroz. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 19(11):1403-16, nov. 1984.
- STONE, L.F.; OLIVEIRA, A.B. de & STEINMETZ, S. Deficiência hídrica e resposta de cultivares de arroz de sequeiro, ao nitrogênio. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 14(3):295-301, jul. 1979.
- TERMAN, G.L. Volatilization losses of nitrogen as ammonia from surface-applied fertilizers, organic amendments and crop residues. *Adv. Agron.*, 31: 189-223, 1979.
- TRIVELIN, P.C.O.; SALATI, E. & MATSUI, E. Preparo de amostras para análise de ¹⁵N por espectrometria de massa. Piracicaba, CENA, 1973. 41p. (CENA. Boletim Técnico, 2).