

ABSORÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE N-AZOLA E N-URÉIA EM ARROZ⁽¹⁾

A. P. RUSCHEL⁽²⁾, L. F. STONE⁽²⁾ & R. L. VICTORIA⁽³⁾

RESUMO

Estudou-se o aproveitamento do nitrogênio de azola (AA) e nitrogênio de uréia (U) marcados com ^{15}N (*) adicionados ao solo em duas épocas, no transplante (tr) e no perfilhamento (perf), com o objetivo de pesquisar a absorção e distribuição do N em arroz, sob condições de cultivo no campo. Usaram-se miniparcelas (1 m^2) circundadas por folha plástica, com seis repetições nos tratamentos, em quilograma de N/hectare: (a) 30 uréia marcada com ^{15}N (U*) tr + 15 U* perf + 15 U* perf; (b) 30 U* tr + 30 U perf; (c) 30 U tr + 30 U* perf; (d) 30 azola marcada com ^{15}N (AA*) tr + 30 AA perf; (e) 30 AA tr + 30 AA* perf; e (f) controle. Observando-se o peso, N absorvido, N derivado do fertilizante (Ndf) da uréia e da azola marcadas e eficiência da utilização de N marcado, notou-se peso e acumulação de N semelhantes nas plantas de acordo com as fontes e diferenças em relação ao controle. O Ndf variou de acordo com a época de aplicação e fonte na parte aérea, raiz e semente, sendo menor na raiz. O Ndf foi maior em plantas que receberam uréia no perfilhamento que no transplante. O contrário aconteceu com N-azola. A eficiência da utilização de N no arroz foi maior para a uréia que para a azola.

Termos de indexação: nitrogênio, utilização, ^{15}N .

SUMMARY: UPTAKE AND DISTRIBUTION OF N-AZOLA AND N-UREA IN RICE

Azolla nitrogen (AA) and urea nitrogen (U) enriched with ^{15}N () were added to the soil, at transplanting (tr) and full tillering (perf), to study N-uptake and N-distribution in rice (roots, aerial plant parts, seeds), under field conditions. Miniplots (1 m^2) surrounded with plastic sheet were used, with six replicates of the following treatments expressed in kg N/ha: (a) 30 urea enriched with ^{15}N (U*) tr + 15 U* perf + 15 U* perf; (b) 30 U* tr + 30 U perf; (c) 30 U tr + 30 U* perf; (d) 30 Azolla enriched with ^{15}N (AA*) tr + 30 AA perf; (e) 30 AA tr + 30 AA* perf, and (f) control. Dry matter yield, N-uptake, N derived from fertilizer (Ndf) of ^{15}N -enriched Azolla and urea were analyzed. Dry matter yield and nitrogen accumulation were similar among N sources and decreased when no N was added. The Ndf varied in accordance with time of N application and N-source, in roots, shoots, and seeds, being smaller in roots than in other plant parts. The Ndf was higher in plants that received urea-N at maximum tillering than at transplanting time. The contrary was observed for Azolla-N. Efficiency of N-utilization was higher for urea-N than for Azolla-N.*

Index terms: Nitrogen, utilization, ^{15}N .

INTRODUÇÃO

A *Azolla* sp., planta que vive em simbiose com a alga (cianobactéria) *Anabaena*, tem sido utilizada como biofertilizante e fonte de nitrogênio em arroz irrigado (Lumpkin & Plucknett, 1982; Mian & Stewart, 1983), substituindo parcial ou totalmente a adubação nitrogenada (Watanabe et al., 1977; Sing, 1977). Pesquisas sob nossas condições têm demonstrado bom desenvolvimento da planta (Ruschel, 1987a, b), indicando um potencial de uso na cultura arrozeira (Fiore, 1984; Fiore & Ruschel, 1981).

O metabolismo do nitrogênio no solo inundado sofre influência do N adicionado sob forma mineral e/ou orgânica. De acordo com Patnaik et al. (1979), a aplicação de N sob forma amoniacal favorece a mineralização do N-nativo, ficando 51% imobilizado e ocorrendo 23-24% de perdas. Os mesmos autores notaram que adições de glicose aumentam a imobilização, indicando um efeito da matéria orgânica. Se o arroz for cultivado no sistema, as perdas de nitrogênio diminuem (Broeshardt & Tusneem, 1971). O N-azola, após a mineralização, deveria sofrer transformação semelhante ao N-amoniacal; no entanto, devido à característica de estar

(1) Trabalho financiado pelo Convênio EMBRAPA/CNPq e International Atomic Energy Agency (IAEA-FAO-SIDA), Viena, Austria. Recebido para publicação em outubro de 1987 e aprovado em fevereiro de 1988.

(2) Engenheiro-Agrônomo, EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão, Caixa Postal 179, 74000 Goiânia (GO).

(3) Professor Assistente, Departamento de Física e Meteorologia - ESALQ/USP, CEP 13400 Piracicaba (SP). Bolsista do CNPq.

ligado aos componentes orgânicos da planta, sua disponibilidade é diferente daquela das fontes minerais amoniacais. Mian (1985) notou que 32% do N-azola foi mineralizado em forma amoniacal no solo em 60 dias, perdendo-se 96% em forma de N_2 na ausência de plantas, devendo o arroz ser plantado três semanas após a incorporação para poder fazer uso de N-azola. Comparando o efeito de N-amoniacal e N-azola sobre o arroz, Watanabe et al. (1977) mostraram mais N do fertilizante em arroz que recebeu N-amoniacal, tendo Rains & Talley (1979) observado efeito similar para ambas as fontes. Mian & Stewart (1985), utilizando doses crescentes de N em sistema fechado (vasos), observaram maior aumento de matéria orgânica, absorção de N pelo arroz e N-mineralizado do solo se usado o N-fertilizante, enquanto usando N-azola, maior teor de N permaneceu no solo, indicando imobilização pela matéria orgânica de azola. A época de incorporação de azola tem efeito marcante sobre mineralização e disponibilidade de N para a planta. Ito & Watanabe (1985) observaram diferenças na mineralização do N de azola dependente da espécie (*A. pinnata* > *A. filiculoides* > *A. mexicana*): plantas de arroz desenvolvidas em solo (potes) que recebeu incorporação de azola, na época do transplante, absorveram 50% de N-azola, enquanto em arroz desenvolvido em solo onde a azola ficou na superfície, o N dela derivado esteve na ordem de 10% apenas. Aplicação tardia de azola (78 dias após o transplante) mostrou maior contribuição em N para o grão que para outras partes da planta.

Na presente pesquisa, estudou-se a absorção e distribuição de nitrogênio derivado de azola (N-azola) e de uréia (N-uréia) incorporados ao solo em arroz, sob condições normais de cultivo, utilizando o ^{15}N como traçador.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento, que faz parte de Programa Internacional junto à International Atomic Energy Agency (IAEA-FAO-SIDA) para pesquisa de N-azola em arroz, foi conduzido na Fazenda Palmital, município de Goianira (GO), em miniparcelas dispostas em blocos ao acaso com seis repetições.

Parcela — A área da parcela ($1 m^2$) foi selada em toda a volta do perímetro com uma folha de plástico transparente com 60 cm de altura, ficando 30 cm enterrados no solo. Para tal, foi cuidadosamente feita uma canaleta de 5 cm de largura, onde se colocou a folha de plástico de 4 m, vedada nas pontas, e, o solo excedente, em volta, comprimindo a folha plástica, mantida ereta por meio de estacas. A água inicialmente foi colocada no interior e no exterior da

parcela, e a manutenção da lâmina d'água foi feita sempre fazendo pressão de fluxo d'água de fora para dentro, para que não houvesse lixiviação do ^{15}N para a parte externa da parcela. O espaçamento entre as parcelas foi de 1 m.

Tratamentos — Utilizaram-se cinco tratamentos recebendo 60 kg de N/hectare e um controle sem aplicação de N, a saber:

- A: 60 kg/ha de ^{15}N -uréia marcada com 1% de átomos de ^{15}N em excesso: uma aplicação de 30 kg/ha no transplante, e mais duas de 15 kg/ha, respectivamente, três e quatro semanas após.
- B: 30 kg/ha de ^{15}N -uréia marcada com 2% de átomos de ^{15}N em excesso no transplante mais 30 kg/ha de ^{14}N -uréia no perfilhamento, três semanas após o transplante.
- C: 30 kg/ha de ^{14}N -uréia no transplante mais 30 kg/ha de ^{15}N -uréia marcada com 2% de átomos de ^{15}N em excesso no perfilhamento, três semanas depois do transplante.
- D: 30 kg/ha de ^{15}N -azola marcada com 0,675% de átomos de ^{15}N em excesso no transplante mais 30 kg/ha de ^{14}N -azola no perfilhamento, três semanas após o transplante.
- E: 30 kg/ha de ^{14}N -azola no transplante mais 30 kg/ha de ^{15}N -azola marcada com 4,058% de átomos de ^{15}N em excesso no perfilhamento, passadas três semanas do transplante.
- F: Controle sem N-uréia e sem N-azola.

Produção de azola utilizada — Produziu-se azola (*A. filiculoides*) enriquecida com ^{15}N para uso como fonte de nitrogênio (N-azola). Sulfato de amônio enriquecido com 10% de átomos em excesso de ^{15}N foi empregado como traçador. A azola foi desenvolvida em bandejas de $0,3072 m^2$ que continham 18 litros de água destilada e 2 kg de solo adubado com 1,5 g de superfosfato triplo e 0,7 g de KCl, ou seja, 100 e 50 kg/ha de P_2O_5 e K_2O respectivamente. Utilizaram-se 20 bandejas ocupando área de $6,14 m^2$. O sulfato de amônio (S.A.) foi adicionado às 20 bandejas, em diferentes épocas para crescimento das plantas de azola a usar em ambas as incorporações, respectivamente no transplante (tr) e no perfilhamento (perf) do arroz, ou seja, 8-10-10 gramas de S.A. a cada semana na azola para a primeira incorporação e oito vezes 10 gramas a cada quatro dias para a segunda incorporação respectivamente.

No quadro 1, encontram-se as produções e N total de azola obtidas e adicionadas por tratamento nas duas incorporações.

Quadro 1. Produção de biomassa e características da azola utilizada

Utilização da azola ⁽¹⁾	Azola	Matéria verde		Matéria seca na azola	N na matéria seca
		Obtida	Adicion./parc.		
		kg		%	
1ª incorporação (tr)	^{15}N	5,6	0,90	7,81	4,02
	^{14}N	6,2	1,30	4,50	4,97
2ª incorporação (perf)	^{15}N	4,8	0,75	7,80	5,04
	^{14}N	6,3	2,00	5,50	2,65

⁽¹⁾ tr: transplante; perf: perfilhamento.

Plantio e coleta de arroz — Utilizou-se a variedade CICA 8 em espaçamento de 20 x 20 cm entre covas, transplantando-se três mudas de vinte dias de idade por cova e comprimindo-se as raízes no solo encharcado. A azola e o fertilizante (uréia) marcados e não marcados com ¹⁵N foram incorporados 24 horas antes do transplante. Após a pega das mudas (24 h do transplante), efetuou-se a inundação das parcelas. As plantas foram colhidas 150 dias após a semeadura. Na coleta, empregaram-se somente as nove touceiras centrais da parcela, sendo removida, inicialmente, toda a parte aérea e, a seguir, feita a coleta de raízes, lavando-se o excesso de solo ainda no campo. Executou-se nova lavagem do material no laboratório.

As plantas foram secas em estufa a 65°C para determinação da matéria seca e a análise de nitrogênio, feita pelo método de Kjeldahl. Efetuaram-se as determinações do teor de ¹⁵N da amostras de raiz, parte aérea e sementes (grão mais casca), no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Piracicaba (SP), pelo método de Dumas (Proksch, 1972).

No cálculo do nitrogênio derivado do fertilizante (Ndf) aplicou-se a fórmula 1:

$$\% \text{ Ndf} = \frac{\text{átomos \% de } ^{15}\text{N em excesso na amostra de planta}}{\text{átomos \% de } ^{15}\text{N em excesso do fertilizante}} \times 100$$

onde:

$$\text{átomos \% de } ^{15}\text{N em excesso} = \text{átomos \% de } ^{15}\text{N} - 0,366$$

(variação natural de ¹⁵N na atmosfera).

No cálculo de percentagem de utilização do fertilizante pela planta, adotou-se a fórmula 2:

$$\% \text{ Util. fert.} = \frac{\text{N total na planta} \times \% \text{ Ndf}}{\text{taxa de N aplicada com as fontes marcadas}}$$

A taxa de N aplicada com as fontes marcadas, para todos os tratamentos, foi de 3 g/m² de N-uréia ou N-azola, exceto para o tratamento onde o N foi parcelado três vezes, quando se utilizaram 6 g/m² de N-uréia.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O peso da parte aérea foi semelhante em todos os tratamentos que receberam nitrogênio, exceto o que recebeu azola marcada com ¹⁵N no perfilhamento: apresentou menor peso que aquele que recebeu uréia com ¹⁵N no transplante, tratamento esse que também foi diferente do controle (Quadro 2). O peso da raiz foi semelhante em todos os tratamentos. O peso da semente foi semelhante para tratamentos que receberam nitrogênio, indistintamente da fonte, e menor no tratamento controle, exceto em um caso, quando a azola foi adicionada marcada com ¹⁵N no transplante, sendo, neste caso, igual ao tratamento controle. Observações semelhantes a peso podem ser feitas em relação a nitrogênio (Quadro 3), pois não houve diferenças no seu teor entre tratamentos nas diferentes partes da planta (parte aérea, raiz e semente); em relação ao N-acumulado na planta, porém, observa-se que o tratamento controle apresentou menor teor de N que o tratamento com uréia que recebeu ¹⁵N em dose única no perfilhamento. Dentro de cada fonte de N não houve diferenças entre tratamentos, mesmo no caso da uréia aplicada em três ou duas épocas, tanto para peso como para N-total.

Quadro 2. Efeito do N-uréia e N-azola nos pesos de matéria seca da parte aérea e raiz, e de semente de arroz. Médias de seis repetições

Tratamento	Parte aérea	Raiz	Semente
	kg N/ha		
Uréia			
30* tr ⁽¹⁾ + 15* perf ⁽¹⁾ + 15* perf	463,5abc ⁽²⁾	63,7ns	717,5ab
30* tr + 30 perf	554,3a	53,3ns	716,7ab
30 tr + 30* perf	535,1ab	56,9ns	793,6a
Azola			
30* tr + 30 perf	447,3abc	61,0ns	659,4bc
30 tr + 30* perf	397,8bc	60,0ns	713,6ab
Controle	361,8c	34,2ns	576,5c
dms	139,1	32,2	134,1

(*) Adubo ou azola marcados com ¹⁵N.

(1) tr: transplante; perf: perfilhamento.

(2) Valores seguidos da mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

Os resultados de nitrogênio derivado do fertilizante (Ndf) nas diferentes partes da planta indicam diferenças entre fontes e épocas de aplicação (Quadro 4), e na distribuição de nitrogênio na planta. Observa-se maior teor de Ndf na parte aérea da planta nos tratamentos que receberam uréia que nos tratamentos que receberam N-azola, sendo que no que recebeu N parceladamente em três vezes o Ndf foi maior. A uréia forneceu mais nitrogênio quando aplicada no perfilhamento que no transplante e, a azola, mais N no transplante. Essas observações podem indicar que a rápida mineralização da uréia facilita perdas de N do sistema se aplicada no transplante, enquanto a mineralização mais lenta da azola favorece a absorção de N se aplicada no início do plantio do arroz.

De modo geral, na raiz o teor de Ndf foi menor que na parte aérea, sendo que nos tratamentos que receberam uréia a porcentagem de Ndf foi maior no que recebeu uréia em três aplicações que no que a recebeu no perfilhamento. Plantas dos tratamentos que receberam azola apresentaram raiz com Ndf sete vezes maior quando a azola contendo ¹⁵N foi aplicada no plantio que aquelas do tratamento que recebeu N marcado no perfilhamento. Esse aumento não foi tão acentuado nas demais partes da planta (parte aérea e semente) (Quadro 4).

Na semente a porcentagem de Ndf foi alta e semelhante nos tratamentos com uréia marcada aplicada parceladamente, em três vezes, ou no perfilhamento. Quando a azola com ¹⁵N foi incorporada no transplante, essa variável foi maior que quando incorporada no perfilhamento. Comparando-se os tratamentos com uréia e azola, observa-se maior percentual de utilização de N da uréia que da azola e encontrado na planta (somatório das partes) (Quadro 5); considera-se, porém que maiores perdas de N no sistema ocorreram nos tratamentos com uréia, tendo em vista que quando a uréia foi aplicada no transplante, o teor de Ndf da planta foi menor que o mesmo tratamento com azola. No entanto, comparando-se os tratamentos com mais altos teores de Ndf que receberam N-uréia ou N-azola, pode-se concluir que foram bem similares; estas fontes de N devem ser, porém, aplicadas em épocas diferentes, isto é, a uréia no perfilha-

Quadro 3. Efeito de N-uréia e N-azola no teor e N-total da parte aérea, raiz e semente. Médias de seis repetições

Tratamento	Parte aérea		Raiz		Semente		Total
	% N	gN/m ²	% N	gN/m ²	% N	gN/m ²	
kg N/ha							
Uréia							
30* tr ⁽¹⁾ + 15*perf + 15* perf	0,52	2,38ab	0,59	0,37	1,03	7,36ab	10,12ab
30* tr + 30 perf	0,52	2,78ab	0,58	0,31	0,97	6,95ab	10,05ab
30 tr + 30* perf	0,55	2,97a	0,52	0,28	0,78	7,87a	11,13a
Azola							
30* tr + 30 perf	0,50	2,15ab	0,56	0,34	0,89	5,85ab	8,34ab
30 tr + 30* perf	0,52	2,05ab	0,60	0,36	0,84	6,00ab	8,40ab
Controle	0,53	1,90b	0,62	0,21	0,84	4,93b	7,04b
dms	0,16	1,01	0,14	0,26	0,27	2,53	3,09

(*) Adubo ou azola marcados com ¹⁵N.

(1) tr: transplante; perf: perfilhamento.

(2) Valores seguidos da mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

Quadro 4. Efeito de N-uréia e N-azola sobre os valores de átomos por cento de nitrogênio (¹⁵N) em excesso e de nitrogênio derivado de fertilizante (Ndf) na parte aérea, raiz e semente de arroz. Médias de seis repetições

Tratamento	Parte aérea		Raiz		Semente	
	at.% ¹⁵ Nexc	% Ndf	at.% ¹⁵ Nexc	% Ndf	at.% ¹⁵ Nexc	% Ndf
kg N/ha						
Uréia						
30* tr ⁽¹⁾ + 15* perf + 15* pef	0,211	21,12a ⁽²⁾	0,107	10,71b	0,190	19,03a
30* tr + 30 perf	0,158	7,86c	0,187	9,28bc	0,162	8,07c
30 tr + 30* perf	0,325	15,25b	0,119	5,95c	0,327	15,50a
Azola						
30* tr + 30 perf	0,100	14,78b	0,117	17,37a	0,093	13,81b
30 tr + 30* perf	0,257	6,33c	0,088	2,15d	0,232	5,70c
dms	—	5,25	—	3,57	—	4,84
Média geral		13,07A		9,03B		12,42A

(*) Adubo ou azola marcados com ¹⁵N.

(1) tr: transplante; perf: perfilhamento.

(2) Valores seguidos da mesma letra, minúscula nas colunas e maiúsculas na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

Quadro 5. Efeito do N-uréia e N-azola na percentagem de utilização de nitrogênio em arroz. Média de seis repetições

Tratamento	Utilização de nitrogênio			
	Parte aérea	Raiz	Semente	Total
kg N/ha				
Uréia				
30* tr ⁽¹⁾ + 15* perf ⁽¹⁾ + 15*perf	8,42ab ⁽²⁾	0,60bc	23,39bc	32,41
30* tr + 30 perf	8,67ab	0,93b	17,44bc	27,01
30 tr + 30* perf	14,79a	0,56bc	41,63a	56,98
Azola				
30* tr + 30 perf	10,58ab	1,78a	26,22b	38,58
30 tr + 30* perf	4,10b	0,22c	11,26c	15,58
dms	6,69	0,47	14,79	—

(*) Adubo ou azola marcados com ¹⁵N.

(1) tr: transplante; perf: perfilhamento.

(2) Valores seguidos da mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

mento e a azola no transplante. Diferenças marcantes foram observadas no Ndf da raiz para Ndf da parte aérea e semente, indicando alta translocação de N. A não-diferença de Ndf na parte aérea e semente pode indicar uma distribuição semelhante de nitrogênio nas folhas e sementes, o que está de acordo com Stone et al. (1984).

Mian & Stewart (1985) observaram, sob condições de sistema controlados, Ndf variando de 26-28% e 50-51% na parte aérea da planta, respectivamente para N-azola e N-amoniacal. Em sistema semelhante ao adotado nesta pesquisa, Ito & Watanabe (1985) observaram Ndf% na parte aérea da planta de 10,8; 8,9 e 9,9, respectivamente, para N-azola adicionado na superfície do solo, azola crescendo na superfície da água e incorporada no solo no transplante. Nesta pesquisa, obteve-se Ndf média de 12,7% e 4,7% se a azola foi incorporada, respectivamente, no transplante e no perfilhamento, o que vem comprovar os resultados de Ito & Watanabe (1985). No entanto, esses autores notaram maiores porcentagens de Ndf (átomos de ^{15}N em excesso) na semente que nas demais partes da planta, o que não confirma os resultados acima.

Analisando-se a percentagem de nitrogênio do adubo aproveitada pela planta, a qual indica quanto do ^{15}N aplicado foi utilizado (Quadro 5), nota-se, como era de esperar, diferenças entre suas partes, entre fontes de N e época de aplicação para ambas as fontes. Houve maior utilização no tratamento com uréia aplicada no perfilhamento e, dentro desse tratamento, a aplicação intermitente do fertilizante ocupou posição semelhante àquele com aplicação de fertilizante no transplante, indicando perdas de N-amoniacal do sistema. Nos tratamentos com azola, a percentagem de utilização de N foi maior na incorporação no transplante (Quadro 5). No somatório, obtiveram-se 27,0 e 56,9% na uréia aplicada no transplante e perfilhamento, e 38,5 e 15,6% no N-azola aplicado nessas mesmas épocas respectivamente. Isso significa que, se se usar uréia, o arroz poderá absorver até 56% do aplicado, e com azola, a planta pode recuperar até 38%. Ito & Watanabe (1985), nas mesmas condições, observaram que 25,8% foi utilizado na azola aplicada e incorporada trinta dias depois do transplante.

CONCLUSÕES

1. Houve diferenças marcantes na absorção e utilização de nitrogênio pelo arroz, de acordo com a fonte utilizada: azola ou uréia.

2. O arroz absorveu e utilizou maior quantidade de N usado como fertilizante quando o elemento foi aplicado sob forma solúvel (uréia) no perfilhamento e de forma orgânica, como N-azola, no transplante.

3. A distribuição de N foi menor na raiz que nas demais partes da planta (palhada e semente) de arroz.

LITERATURA CITADA

BROESHARDT, F.E. & TUSNEEM, M.E. Losses of nitrogen from some flooded soils in tracer experiments. Proc. Soil Sci. Soc. Am., Madison, 35:922-927, 1971.

FIGLIORE, M.F. Efeito da utilização de Azolla na produção de arroz irrigado. Pesq. agropec. bras., Brasília, 19:387-390, 1984.

FIGLIORE, M.F. & RUSCHEL, A.P. Associação *Azolla-Anabaena*. I. Biologia e significância na agricultura. Ci. Cult., São Paulo, 34:792-798, 1981.

ITO, O. & WATANABE, I. Availability to rice plants of nitrogen fixed by *Azolla*. Soil Sci. Plant Nutr., 31:91-104, 1985.

LUMPKIN, T.A. & PLUCKNETT, D.L., eds. *Azolla* as a green manure: use and management in crop production. Boulder, Westview Tropical Agriculture, 1982. 230p. (Series, 5)

MIAN, M.H. Detection of denitrification, by ^{15}N tracer technique of nitrogen released from *Azolla* and blue-green algae in flooded soil. Aust. J. Soil Res., East Melbourne, 23:245-52, 1985.

MIAN, M.H. & STEWART, D.P. A study on the availability of biologically fixed atmospheric dinitrogen by *Azolla-Anabaena* complex to the flooded rice crops. In: SILVER, W.S. & SCHOEDER, E.C., eds. Proceedings of First International Workshop on Practical application of *Azolla* of Rice Production. Hague, Martinus Nijhoff, 1983. p.168-75.

MIAN, M.H. & STEWART, D.P. A ^{15}N tracer study to compare nitrogen supply by *Azolla* and ammonium sulphate to IR8 rice plants grown under flooded conditions. Pl. Soil, Hague, 83:371-379, 1985.

PATNAIK, S., MOHANTY, S.K. & DASH, R.N. Isotope technology as applied to studies of soil fertility, nutrient availability and fertilizer use on flooded rice soils. In: Isotopes and radiation in research on soil-plant relationships. Vienna, IAEA, 1979. p.583-605.

PROKSCH, G. Application of mass and emission spectrometry for $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ ratio determination in biological material. In: Isotopes and radiation in soil-plant relationships including forestry. Vienna, IAEA, 1972. p.217-225.

RAINS, D.W. & TALLEY, S.N. Uses of *Azolla* in North America. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE, Los Baños, Filipinas. Nitrogen and rice. Los Baños, Laguna, 1979. p.419-431.

RUSCHEL, A.P. Efeito sazonal sobre o desenvolvimento e fixação biológica de nitrogênio de diferentes espécies de *Azolla*. Pesq. agropec. bras., Brasília, 22(6):559-565, 1987a.

RUSCHEL, A.P. Seleção de espécies e ecótipos de *Azolla*. Goiânia, EMBRAPA-CNPAP, 1987b. 20p. (Boletim de Pesquisa, 6)

SING, P.K. *Azolla* plants as fertilizer and feed. Indian Farming, 27:19-20, 1977.

STONE, L.F.; LIBARDI, P.L. & REICHARD, K. Deficiência hídrica vermiculita e cultivares. II. Efeito da utilização do nitrogênio pelo arroz. Pesq. agropec. bras., Brasília, 19: 1403-1416, 1984.

WATANABE, I., ESPINAS, C.R., BERJA, N.S. & ALIMAGNO, B.V. Utilization of the *Azolla-Anabaena* complex as a nitrogen fertilizer for rice. Los Baños, IRRI, 1977. 15p. (IRRI Research Paper Series, 11)