

ESTUDO DO BALANÇO IÔNICO NA ABSORÇÃO DE NUTRIENTES NO MILHO¹

FILOMENA LEONOR I.M. DA SILVA², MANLIO S. FERNANDES³
e JOSÉ RONALDO MAGALHÃES⁴

RESUMO - Com o objetivo de estudar o balanço de íons e seu efeito na absorção de nutrientes em milho (*Zea mays* L.) foram conduzidos dois experimentos em casa de vegetação, utilizando-se dois solos diferindo amplamente em textura, poder tampão, teor de nutrientes e pH: um Brunizem Avermelhado, textura média/argilosa, e um solo Hidromórfico, distrófico (série Ecologia). Plantas de milho (sintético IPEACS) receberam nitrogênio parceladamente, com (CNS) e sem (SNS) inibidor de nitrificação N-SERVE. As colheitas foram efetuadas aos 28, 43 e 58 dias após o plantio. Em geral, as plantas crescidas no solo Brunizem se desenvolveram melhor no tratamento SNS enquanto que no Hidromórfico o tratamento CNS apresentou os melhores resultados. As características físicas dos dois solos afetaram os parâmetros radiculares estudados, influenciando com isso a absorção de íons, enquanto que o uso do inibidor de nitrificação em si não causou grandes mudanças na morfologia das raízes ou outros parâmetros ligados ao desenvolvimento radicular. A capacidade de troca catiônica (CTC) de raízes manteve-se uniforme ao longo do período experimental, parecendo não haver diferenças entre os experimentos. As correlações entre CTC e velocidade de absorção de íons foram, em geral, idênticas para todos os nutrientes.

Termos para indexação: *Zea mays*, influxo de nutrientes, balanço de cargas, inibidor de nitrificação, CTC de raízes.

STUDY OF IONIC BALANCE AFFECTING NUTRIENT UPTAKE BY CORN

ABSTRACT - In order to study the balance of ions and its effect on nutrient uptake, maize plants (*Zea mays* L.) were grown in pots under greenhouse conditions, in two soils, a Brunizem (silt loam) and a Hydromorphic série Ecologia (sandy soil) largely differing in texture, buffering power, nutrient content and pH. Nitrogen was applied either with or without the nitrification inhibitor N-SERVE and split in three applications during plant growth. Plants were harvested 28, 43 and 58 days after planting. In general, the plants grew better in the Brunizem without N-SERVE, while those grown in the Hydromorphic showed better growth when N-SERVE was applied. The physical characteristics of both soils influenced the root parameters, thus affecting the absorption of ions. The use of the nitrification inhibitor *per se* did not greatly change the root morphology or other parameters related to root development. The root cation exchange capacity (CEC) did not change greatly during the experimental period and no significant differences seem to appear between the two experiments. The correlations were in general similar for all nutrients studied.

Index terms: *Zea mays*, nutrient influx, charge balance, nitrification inhibitor, root CEC.

INTRODUÇÃO

A influência do desenvolvimento da raiz e das condições do meio ambiente ao redor desta na absorção de íons tem sido estudada extensivamente em soluções nutritivas e muitos métodos foram desenvolvidos para medição dos sistemas radica-

res no solo, mas ainda há uma lacuna na relação quantitativa entre o desenvolvimento da raiz e a absorção de íons no solo (Böhm 1979).

Foi mostrado que cereais, como o milho, estimulam a nitrificação (Huber et al. 1965) e esta pode ser influenciada por fatores físicos e químicos do solo, tais como pH, tipo de solo, concentração e fonte de N utilizado, tensão de O₂, concentração de sais, temperatura etc. (Huber et al. 1978).

Em condições de nutrição amoniacal, pode-se esperar um excesso de absorção catiônica de tal forma que o resultado líquido do processo será extrusão de H⁺ (Fernandes & Rossiello 1978, Luisi et al. 1983, Silva 1984, Fernandes et al. 1981). Com a diminuição do pH do rizocilindro, ocorrem

¹ Aceito para publicação em 13 de outubro de 1986. Parte da dissertação apresentada pelo primeiro autor para a obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo, UFRRJ.

² Zoot., M.Sc. (Ciência do Solo), bolsista do CNPq-EMBRAPA/CNPH, Caixa Postal 07.0218, CEP 70359 Brasília, DF.

³ Eng.-Agr., Ph.D., Prof.-Adjunto, Dep. Solos UFRRJ, Km 47, CEP 23460 Seropédica, RJ.

⁴ Eng.-Agr., Ph.D., EMBRAPA/CNPH.

estreitas relações entre os meq de H^+ ou OH^- requeridos para produzir as mudanças observadas no pH da rizosfera e a diferença entre os meq de cátions e de ânions absorvidos pelas plantas (Hedley et al. 1982).

Alguns investigadores questionaram a importância da CTC no mecanismo de absorção iônica (Black 1960 e Clarkson 1966 citados em Foy et al. 1967). Há, entretanto, evidências de que pelo menos a absorção relativa de cátions di e monovalentes é correlacionada com a CTC (Foy et al. 1967). Embora as propriedades de CTC de raízes de plantas sejam conhecidas há bastante tempo, a sua importância na absorção e conseqüente composição iônica da planta ainda não está esclarecida.

No presente trabalho objetivou-se estudar os efeitos da aplicação de um inibidor de nitrificação em diferentes tipos de solo no crescimento, influxo de nutrientes, CTC de raízes e balanço de cargas em plantas de milho.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos dois experimentos em casa de vegetação, utilizando-se dois tipos de solo, de características bem distintas: um Brunizem Avermelhado, textura média/argilosa, descrito por Palmieri et al. (1979) e um solo Hidromórfico distrófico (série Ecologia) descrito por Ramos et al. (1973), ambos coletados no estado do Rio de Janeiro. Foi utilizada apenas a camada superficial dos solos até à profundidade de 20 cm.

A análise dos solos foi feita segundo a metodologia descrita em Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1979). Os resultados das análises encontram-se na Tabela 1. NH_4^+ e NO_3^- foram determinados pelo método de Keeney & Bremner (1965). O solo foi destorroado, peneirado e seco ao ar. A TFSA foi homogenizada e colocada em potes plásticos revestidos externamente com tinta de alumínio para evitar a penetração da luz. Cada pote recebeu 5 kg de TFSA.

A aplicação de sulfato de amônio foi parcelada, sendo 30 ppm aplicados no desbaste e 30 ppm aos 28 e 43 dias num total de 90 ppm aplicados em cada experimento. O nitrogênio foi aplicado junto com um inibidor de nitrificação, N-SERVE, (2 cloro-6 triclormetilpiridina) ou sozinhos (tratamentos CNS e SNS respectivamente). Nos tratamentos CNS aplicou-se 20 ppm do inibidor no desbaste (treze dias após o plantio), quantidade que mostra ser eficiente na redução da nitrificação do solo por período de quatro semanas (Fernandes & Rossiello 1978) e 5 ppm após as duas primeiras colheitas. Foram aplicados micronutrientes no experimento com o Hidro-

mórfico (10 ml/pote) nas concentrações indicadas por Fernandes (1974): $H_3BO_3 = 2,86$ g/l; $MnCl_2 \cdot 4H_2O = 1,81$ g/l; $ZnSO_4 \cdot 7H_2O = 0,22$ g/l; $CuSO_4 \cdot 5H_2O = 0,08$ g/l; $H_2MoO_4 \cdot H_2O = 0,02$ g/l. A aplicação de micronutrientes foi parcelada (aos 25 e 40 dias após o plantio). Todos os fertilizantes foram aplicados em solução. Foram adicionados em mg/pote, 630 e 748 de KCl e 223 e 1930 de $Ca(H_2PO_4) \cdot 2H_2O$ no Brunizem e no Hidromórfico respectivamente. Adicionou-se ainda 194 mg/pote de $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ no Hidromórfico.

TABELA 1. Análise química inicial dos solos.

	Brunizem	Hidromórfico
	meq/100 g	
pH	6,3	5,4
$Al^{3+} + H^+$	3,1	1,5
Ca^{++}	9,8	0,5
Mg^{++}	5,7	0,4
Na^+	0,09	0,09
K^+	0,13	0,04
	100 g	
C.C.	26,2	2,7
P.M.	18,5	2,4
	nmhos/cm	
C.E.	0,39	0,32
	ppm	
P	05	07
NH_4^+	16	08
NO_3^-	21	05
	%	
Silte	6,10	2,00
Areia	67,60	94,12
Argila	26,30	3,88

Cinco sementes de milho (cv. sintético IPEACS) foram colocadas em cada pote, deixando-se duas plantas por pote no desbaste. Foram feitas irrigações diárias a aproximadamente 80% da capacidade de campo. Com base na análise física do solo, calculou-se matematicamente o valor de umidade a ser mantido no solo, e a quantidade de água adicionada aos potes foi pesada diariamente. As colheitas foram efetuadas aos 28, 43 e 58 dias após o plantio.

Os potes foram dispostos de forma inteiramente casualizada dentro da casa de vegetação, com rotação dos mesmos duas vezes por semana. As condições de temperatura, umidade relativa do ar e luminosidade foram registradas durante o período experimental (Fig. 1). As plantas foram pulverizadas com inseticida Fostion 60 (0,1%) sete dias antes da primeira colheita, respeitando o período de carência do produto na planta.

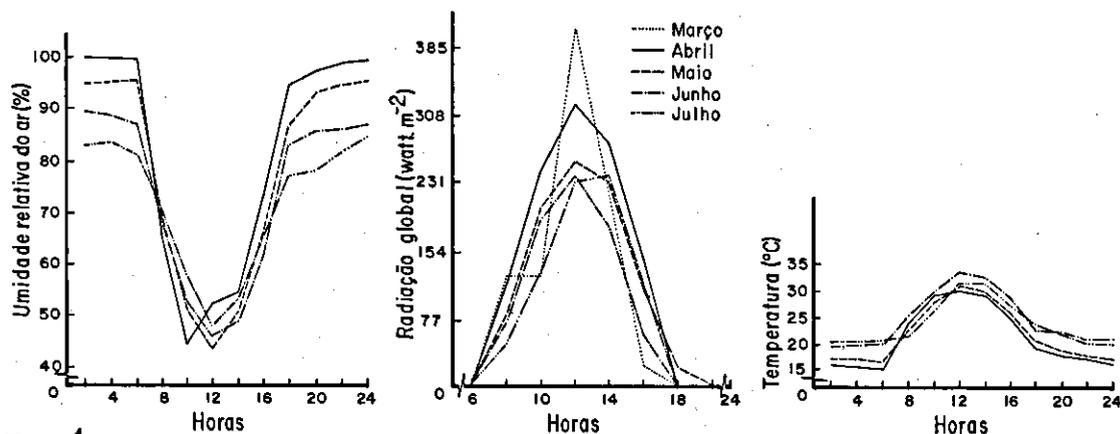


FIG. 1. Condições de umidade relativa do ar, luminosidade e temperatura na casa de vegetação durante o período experimental.

Os tratamentos tiveram três repetições e as análises químicas foram efetuadas em duplicata. Adotou-se o mesmo procedimento em todas as colheitas: as plantas foram retiradas dos potes, identificadas, separadas em raiz e parte aérea, pesadas e o material foi colocado em estufa de circulação de ar a 70°C por 48 horas para secagem e posterior análise química dos nutrientes.

O comprimento das raízes foi medido pelo método de interseção de Tennant (1975) e o raio e área radiculares calculados pelas fórmulas: $r = (V/\pi L)^{1/2}$ e $A = 2\pi rL$, onde r é o raio médio de raiz, V o volume radicular, L o comprimento das raízes e A a área das mesmas (Hallmark & Barber 1981).

Uma subamostra do material vegetal foi separada para as determinações de N-total (por colorimetria, Smith 1980), P-total (Murphy & Riley 1962, modificado); K^+ e Na^+ por fotometria de chama (Sarruge & Haag 1974) e Ca^{2+} e Mg^{2+} por absorção atômica.

A absorção total de cátions foi calculada como sendo o somatório de ($Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+ + NH_4^+$) e a absorção de ânions como sendo o somatório de ($NO_3^- + H_2PO_4^-$), em meq/g de peso de matéria seca da parte aérea, assumindo esses íons como sendo de maior significância na absorção total dos nutrientes pela planta. Assumiu-se para esses cálculos que todo o nitrogênio foi absorvido na forma de NH_4^+ nos tratamentos que receberam inibidor de nitrificação (CNS) e de NO_3^- nos tratamentos sem inibidor (SNS) uma vez que a quantidade de inibidor adicionada ao solo é efetiva, segundo resultados obtidos por Fernandes & Rossiello (1978); e portanto todo o N amoniacal permaneceria na forma de NH_4^+ , de acordo com Dibb & Welch (1976).

O influxo médio líquido de nutrientes (In) foi calculado pela seguinte fórmula: $In = [(U_2 - U_1)/(t_2 - t_1)] [(In A_2 - In A_1)/(A_2 - A_1)]$ onde U é a quantidade do nutriente na planta, A é a área da raiz, t é tempo e os subscritos se referem ao tempo 1 e 2 (Hallmark & Barber 1981).

A capacidade de troca catiônica das raízes (CTC) foi determinada pelo método de Crooke (1964) e as correlações entre o influxo de diversos nutrientes foram calculadas. A determinação da CTC de raízes foi feita em material seco, pela maior facilidade de rotina.

RESULTADOS

Os dados de produção de matéria seca pela planta são apresentados na Fig. 2. Os resultados mostram grande efeito do tipo de solo no crescimento do milho, com maior resposta para o solo Brunizem. ON-SERVE teve um pequeno efeito negativo nas plantas crescidas no solo Brunizem, com efeito oposto no solo Hidromórfico, quer para a parte aérea quer para a raiz. O crescimento apresentou uma tendência exponencial no solo Brunizem e quase linear no Hidromórfico.

O peso de matéria seca da raiz seguiu a mesma tendência apresentada na parte aérea das plantas e pelo peso de matéria seca total das mesmas. Verificou-se um efeito significativo de época de colheita no peso de matéria seca das plantas. O uso do inibidor de nitrificação influenciou significativamente o peso da matéria seca das raízes das plantas crescidas no solo Brunizem, influenciou o peso de matéria seca tanto da parte aérea como da raiz das plantas crescidas no solo Hidromórfico, e o peso de matéria seca total das plantas. Houve uma interação significativa entre tratamentos e época de colheita para cada parte vegetal, em todas as plantas.

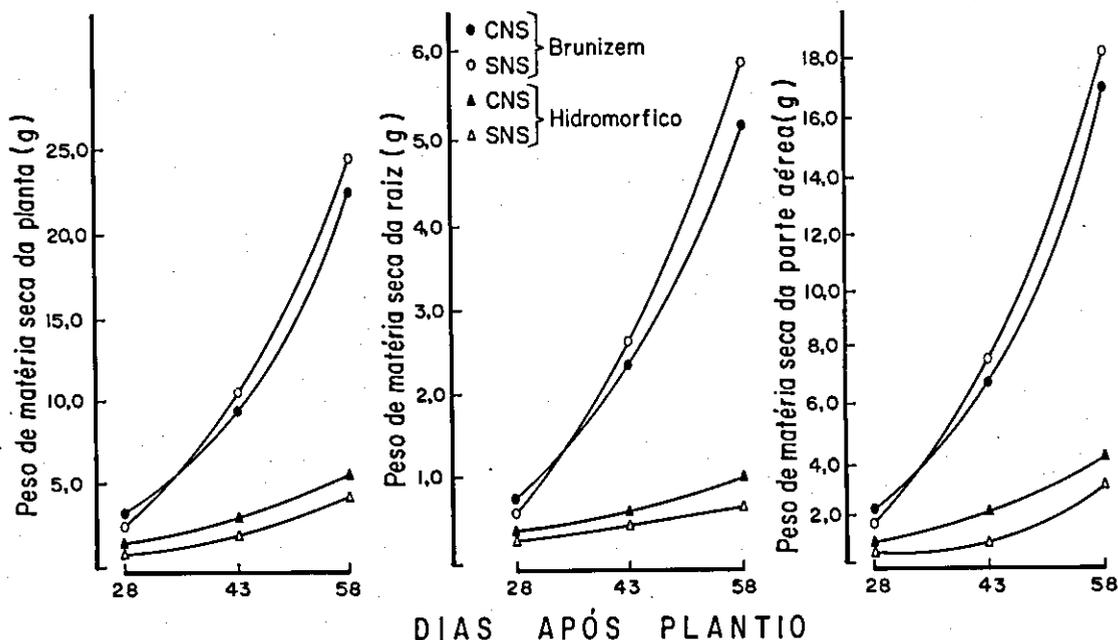


FIG. 2. Peso de matéria seca (g) da planta, raiz e parte aérea.

As Tabelas 2 e 3 mostram os influxos médios de nutrientes por área superficial de raiz. Em geral, até aos 43 dias os influxos de nutrientes diminuíram com a idade da planta. A resposta de influxo de nutrientes em função do N-SERVE e tipo de solo teve grande variação com a época de colheita. De um modo geral, o influxo de N por área radicular foi inicialmente maior no Brunizem, mas foi melhor distribuído no Hidromórfico tendo uma tendência a aumentar com o uso de N-SERVE no solo Brunizem, com o efeito exatamente oposto no solo Hidromórfico. Considerando-se todo o período experimental, verificou-se que a eficiência de absorção de N pelas plantas foi praticamente a mesma nos dois solos, variando de 133,4 a 298,8 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ de raiz no Brunizem e de 116,9 a 303,4 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ no Hidromórfico. O influxo de P apresentou uma tendência crescente com a aplicação de N-SERVE em todas as colheitas no solo Hidromórfico, sendo maior nas plantas crescidas neste solo do que nas plantas do solo Brunizem. Houve uma correlação positiva entre o influxo de P e o influxo de N para todas as plantas dos dois experimentos (Tabela 4). O potássio apresentou, em geral, maior influxo no solo Hidromórfico. A aplicação do N-SERVE aumentou ligeiramente o in-

fluxo de K^+ nas três colheitas deste solo, mas teve efeito contrário no solo Brunizem nas duas primeiras colheitas. O influxo de Ca^{2+} foi decisivamente maior nas plantas do solo Brunizem e na presença do N-SERVE em ambos os solos, em todas as épocas de colheita. Houve uma correlação positiva entre o influxo de Ca^{2+} e o de P para as plantas crescidas no Brunizem, enquanto que nas do Hidromórfico essa correlação foi baixa e negativa. A correlação entre o influxo de Ca^{2+} e o de Mg^{2+} foi positiva e alta em ambos os experimentos. A correlação obtida em ambos os experimentos entre o influxo de Mg^{2+} e o de K^+ foi positiva também.

A Tabela 5 mostra o balanço de cargas nas plantas durante o período experimental. Para os cálculos de ânion fosfato usou-se a forma H_2PO_4^- que é a mais disponível na faixa de pH do solo encontrada nos dois experimentos. A CTC de raiz não foi afetada significativamente pelo tipo de solo, pelo uso do inibidor ou pela idade da planta. O balanço de cargas foi bastante afetado pelo uso do N-SERVE. O número de cargas positivas é muito maior na presença do inibidor de nitrificação em ambos os solos com um efeito maior no solo Hidromórfico, decrescendo com a idade das plantas.

TABELA 2. Influxo médio de nutrientes (por área de raiz) em plantas de milho crescidas em casa de vegetação, (solo Brunizem) com (CNS) e sem (SNS) inibidor de nitrificação.

Idade da planta (dias)	Influxo de nutrientes por área de raiz ($\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)*											
	CNS						SNS					
	N	P	K	Ca	Mg	Na	N	P	K	Ca	Mg	Na
0 - 28	61,55	2,72	13,71	13,33	11,86	1,84	52,43	1,90	14,67	6,82	11,49	1,38
28 - 43	2,65	0,33	11,80	5,21	3,79	0,27	4,89	0,55	16,90	2,88	5,17	0,41
43 - 58	8,37	0,38	11,80	5,34	4,63	0,74	6,42	0,43	5,54	1,81	4,08	0,65

* d = dia.

TABELA 3. Influxo médio de nutrientes (por área de raiz) em plantas de milho crescidas em casa de vegetação, (solo Hidromórfico) com (CNS) e sem (SNS) inibidor de nitrificação.

Idade da planta (dias)	Influxo de nutrientes por área de raiz ($\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)*											
	CNS						SNS					
	N	P	K	Ca	Mg	Na	N	P	K	Ca	Mg	Na
0 - 28	23,58	2,36	25,17	3,77	3,98	1,24	28,03	1,22	24,39	2,97	2,83	1,14
28 - 43	14,80	3,15	9,01	0,32	1,70	0,04	12,40	2,10	6,43	0,20	1,51	0,08
43 - 58	5,13	1,44	11,90	1,18	1,01	0,08	5,64	0,06	10,40	0,89	0,91	0,04

* d = dia.

TABELA 4. Correlações entre influxos de diversos nutrientes em plantas de milho crescidas em casa de vegetação, com (CNS) e sem (SNS) inibidor de nitrificação.

	Brunizem			Hidromórfico		
	CNS	SNS	Média	CNS	SNS	Média
P x N	0,997	0,992	0,968	0,542	0,369	0,312
Ca x P	0,999	0,993	0,891	-0,255	-0,196	-0,082
Ca x Mg	0,996	0,997	0,787	0,884	0,837	0,865
Mg x K	0,995	0,424	0,586	0,917	0,711	0,858

DISCUSSÃO

O efeito do tipo de solo no crescimento da planta é esperado em função das suas características físicas e químicas. O efeito significativo da aplicação do N-SERVE no crescimento da planta no solo Hidromórfico se justifica pela menor lixiviação do N-NH_4 em relação a NO_3 , dada a baixa capacidade de retenção desse solo com baixo teor de argila. Os

dados de literatura são controversos quanto à aplicação de inibidores e as diferenças de respostas podem ser consequência dos diferentes tipos de solo utilizados, como observado no presente trabalho. Assim respostas negativas do inibidor foram reportadas por Fernandes et al. (1981) e sem efeito por Fernandes e Rossiello (1978, 1979) e por Dibb & Welch (1976).

TABELA 5. Capacidade de troca catiônica (CTC) de raízes e balanço de cargas líquido em plantas de milho crescidas em casa de vegetação, com (CNS) e sem (SNS) inibidor de nitrificação.

Idade da planta (dias)	CTC de raízes (meq/100 g)				* Balanço de cargas (meq/g peso PA)			
	Brunizem		Hidromórfico		Brunizem		Hidromórfico	
	CNS	SNS	CNS	SNS	CNS	SNS	CNS	SNS
28	10,63	10,22	9,82	9,82	4,74+	1,81-	4,82+	1,62-
43	9,68	9,68	10,22	10,22	2,56+	0,21+	4,51+	2,72-
58	9,41	10,09	10,22	10,22	2,25+	0,20+	3,50+	1,17-

* meq de $[(Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+} + Na^{+} + NH_4^{+}) - meq H_2PO_4^{-}]$ por grama de peso de matéria seca da parte aérea nos tratamentos CNS e meq de $[(Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+} + Na^{+}) - (NO_3^{-} + H_2PO_4^{-})]$ por grama de peso de matéria seca da parte aérea nos tratamentos SNS.

A idade das plantas afeta a taxa de absorção de nutrientes pelas raízes (Anghinoni et al. 1981). A queda de influxo médio de nutrientes por unidade de superfície de raiz com a idade da planta observada neste estudo está em acordo com várias citações, para fósforo (Warncke & Barber 1974, Mengel & Barber 1974, Jungk & Barber 1975, Edwards & Barber 1976, Barber 1978, Nielsen & Barber 1978, Silva 1984), para potássio (Warncke & Barber 1974, Mengel & Barber 1974, Fageria 1976b, Barber 1978, Silva 1984), para cálcio e magnésio (Warncke & Barber 1974, Mengel & Barber 1974, Fageria 1976a, Silva 1984).

Mas vale salientar que esse parâmetro pode também ser afetado pela interação inibidor e tipo de solo como foi observado para o influxo de N e K. O maior influxo de K nas plantas cultivadas no Hidromórfico em relação ao Brunizem pode estar relacionado com a diferente textura dos dois solos e conseqüentemente com a concentração desse íon na solução do solo, o que também pode ser válido para o Ca e Mg.

A CTC de raiz não foi afetada pelo uso de inibidor ou pelo tipo de solo sugerindo que essa propriedade da raiz é uma característica inerente da planta, não sendo portanto significativamente alterada pelos fatores externos em estudo. E os valores de CTC para raízes frescas ou secas são iguais indicando assim que as posições de troca são externas ao citoplasma (Heintz 1961), estando em geral seus valores entre 5 e 35 meq/100 g em monocotiledôneas (Haynes 1980).

O maior número de cargas positivas observado na presença do inibidor em ambos os solos se explica pela permanência do nitrogênio na forma de NH_4^{+} o que muito contribui para o balanço final positivo. Por outro lado, com a nitrificação na ausência do inibidor, há uma grande contribuição de cargas negativas provenientes do NO_3^{-} . Os valores observados para o balanço de cargas líquido estão na faixa daqueles descritos por Cunningham (1964) citado em Nye 1981) que trabalhando com grande número de plantas, encontrou um valor médio de 2,5 meq de cátions e de 3,6 meq de ânions absorvidos por grama de peso seco da parte aérea.

As baixas correlações obtidas entre balanço de carga e variação de pH dos dois solos estão de acordo com os resultados de Arruda et al. (1983).

CONCLUSÕES

1. Houve um efeito do tipo de solo, com maior crescimento das plantas no Brunizem, independentemente do uso de N-SERVE.
2. A CTC de raiz não foi afetada pelo uso do inibidor de nitrificação ou pelo tipo de solo ou idade da planta.
3. Na presença do inibidor de nitrificação, o balanço de cargas líquido foi positivo nas plantas dos dois solos.

REFERÊNCIAS

- ANGHINONI, I.; BALIGAR, V.C.; BARBER, S.A. Growth and uptake rates of P, K, Ca and Mg in wheat. *J. Plant Nutr.*, 3(6):923-33, 1981.
- ARRUDA, M.L.R.; FERNANDES, M.S.; ROSSIELLO, R.O.P. Alumínio e nitrogênio nas variações do pH e

- capacidade de troca catiônica em *Brachiaria decumbens*. Pesq. agropec. bras., 18(9):1031-6, 1983.
- BARBER, S.A. Growth and nutrient uptake of soybean roots under field conditions. Agron. J., 70(3):457-61, 1978.
- BÖHM, W. Root parameters and their measurement. In: _____. Methods of studying root systems. Berlin, Springer, 1979. p.125-38.
- CROOKE, W.M. The measurement of the cation exchange capacity of the plant roots. Plant Soil, 21:43-9, 1964.
- DIBB, D.W. & WELCH, L.F. Corn growth as affected by ammonium vs. nitrate absorbed from soil. Agron. J., 68(1):89-94, 1976.
- EDWARDS, J.H. & BARBER, S.A. Phosphorus uptake rate of soybean roots as influenced by plant age, root trimming and solution P concentration. Agron. J., 68(6):973-5, 1976.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, Rio de Janeiro, RJ. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1979.
- 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(5):726-32, 1976a.
- FAGERIA, N.K. Influence of potassium concentration on growth and potassium uptake by rice plants. Plant Soil, 44(3):567-73, 1976b.
- FERNANDES, M.S. Effects of light and temperature on the nitrogen metabolism of tropical rice. East Lansing, Michigan State University, 1974. Tese Doutorado.
- FERNANDES, M.S.; DIDONET, H.R.; ROSSIELLO, R.O.P. Respostas de quatro cultivares de arroz à aplicação de nitrogênio amoniacal com um inibidor de nitrificação. Pesq. agropec. bras., 16(3):303-7, 1981.
- FERNANDES, M.S. & ROSSIELLO, R.O.P. Effects of NH_4^+ and a nitrification inhibitor on soil pH and phosphorus uptake by corn (*Zea mays*, L.), Cereal Res. Commun., 6(2):183-91, 1978.
- FERNANDES, M.S. & ROSSIELLO, R.O.P. Uso de NH_4^+ e de um inibidor de nitrificação na adubação nitrogenada do milho (*Zea mays*, L.). R. bras. Ci. Solo, 3:77-82, 1979.
- FOY, C.D.; FLEMING, A.L.; BURNS, G.R.; ARMINGER, W.H. Characteristics of differential aluminum tolerance among varieties of wheat and barley. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 31:513-21, 1967.
- HALLMARK, W.B. & BARBER, S.A. Root growth and morphology, nutrient uptake, and nutrient status of soybean as affected by soil K and bulk density. Agron. J., 73:779-82, 1981.
- HAYNES, R.J. Ion exchange properties of roots and ionic interactions within the root apoplasm; their role in ion accumulation by plants. Bot. Rev., 46(1):75-99, 1980.
- HEDLEY, M.J.; NYE, P.H.; WHITE, R.E. Plant-induced changes in the rhizosphere of rape (*Brassica napus* var. Emerald) seedlings. II. Origin of the pH change. New Phytol., 91(1):31-44, 1982.
- HEINTZ, S.G. Studies on cation exchange capacities of roots. Plant Soil, 13:365-83, 1961.
- HUBER, D.H.; WARREN, H.L.; NELSON, D.W.; TSAI, C.Y. Nitrification inhibitors; new tools for food production. Down Earth, 34(2):12-8, 1978.
- HUBER, D.H.; WATSON, R.D.; STEINER, G.W. Crop residues, nitrogen and plant disease. Soil Sci., 100:302-8, 1965.
- JUNGK, A. & BARBER, S.A. Plant age and the phosphorus uptake characteristics of trimmed and untrimmed corn root systems. Plant Soil, 32:227-39, 1975.
- KEENEY, D.R. & BREMNER, J.M. Steam distillation methods for determination of ammonium, nitrate and nitrite. Anal. Chim. Acta., 32:485-95, 1965.
- LUISE, M.V.V.; ROSSIELLO, R.O.P.; FERNANDES, M.S. Acidificação do rizocilindro de milho em resposta à absorção de nutrientes e sua relação com o crescimento radicular. R. bras. Ci. Solo, 7:69-74, 1983.
- MENGEL, D.B. & BARBER, S.A. Rate of nutrient uptake per unit of corn root under field conditions. Agron. J., 66(3):399-402, 1974.
- MURPHY, J. & RILEY, J.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural water. Anal. Chim. Acta, 27:31-6, 1962.
- NIELSEN, N.E. & BARBER, S.A. Differences among genotypes of corn in the kinetics of P uptake. Agron. J., 70(5):695-8, 1978.
- NYE, P.H. Changes of pH across the rhizosphere induced by roots. Plant Soil, 61(1):7-26, 1981.
- PALMIERI, F.; DEMATTÊ, J.L.I.; MULLER, D.P.H.; SANTOS, H.G. dos; RODRIGUES, T.E. Símula das principais questões referentes à identificação, caracterização, classificação e correlação dos solos examinados durante a excursão. In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA DE SOLOS, 1., Rio de Janeiro, 1979. Anais. Rio de Janeiro, EMBRAPA, 1979. p.204-10.
- RAMOS, D.P.; CASTRO, A.F.; CAMARGO, M.N. Levantamento detalhado de solos da área da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Pesq. agropec. bras. Sér. Agron., 8(6):1-27, 1973.
- SARRUGE, J.R. & HAAG, H.P. Análises químicas em plantas. Piracicaba, ESALQ, 1974. 57p.
- SILVA, F.L.I.M. da. Efeito da absorção de íons com e sem N-Serve sobre o pH da rizosfera e o crescimento radicular em milho (*Zea mays*, L.). Rio de Janeiro, UFRJ, 1984. 146p. Tese Mestrado.
- SMITH, V.R. A phenol-hypochlorite manual determination of ammonium-nitrogen in kjeldahl digest of plant tissue. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 11(7):709-22, 1980.
- TENNANT, D. A test of a modified line intersect method of estimating root length. J. Ecol., 63:995-1001, 1975.
- WARNCKE, D.D. & BARBER, S.A. Root development and nutrient uptake by corn in solution culture. Agron. J., 66(4):514-6, 1974.