

## **EFEITO DO ALUMÍNIO SOBRE A ABSORÇÃO E SOBRE O TRANSPORTE DE FÓSFORO EM DOIS CULTIVARES DE SORGO (*Sorghum bicolor* L. Moench)<sup>1/</sup>**

José Cambraia<sup>2/</sup>

Adonai Gimenez Calbo<sup>3/</sup>

### **1. INTRODUÇÃO**

Um dos efeitos mais notáveis do alumínio verifica-se sobre a disponibilidade de fósforo no solo e sobre sua absorção pela planta.

O fósforo, no solo, pode ser imobilizado na rede cristalina de certas argilas, pode formar ésteres pouco solúveis ou pode precipitar-se como fosfato de alumínio ou de ferro, em solos ácidos (2, 22).

Quando em níveis mais elevados, tanto o alumínio como o fósforo acumulam-se nas raízes das plantas. Há quem afirme que deve ocorrer algum tipo de precipitação interna de fosfato de alumínio, a qual tem como consequência uma redução no transporte de fósforo para a parte aérea (23, 24). Alguns trabalhos, contudo, mostram um aumento na absorção de fósforo, estimulado pelo tratamento com alumínio (19, 20). Um e outro resultado, no entanto, se explicam uma vez que se admita certa interação entre o alumínio e o fósforo na superfície das raízes ou das células, sem que haja, necessariamente, um efeito direto sobre a absorção e/ou o

---

<sup>1/</sup> Parte da tese apresentada à U.F.V., pelo segundo autor, como parte das exigências do curso de Mestrado em Fisiologia Vegetal.

Recebido para publicação em 08-04-1980. Projeto n.º 4.1453 do Conselho de Pesquisa da U.F.V.

<sup>2/</sup> Departamento de Biologia Geral da U.F.V., 36570 Viçosa, MG.

<sup>3/</sup> Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Caixa Postal 1316, Brasília, DF.

transporte para a parte aérea (7).

Em sorgo, além de um efeito acentuado sobre os teores de vários elementos minerais, verificou-se que o alumínio aumentou o teor de fósforo do sistema radicular, mas o reduziu na parte aérea. Foi admitido que, principalmente no cultivar sensível ao alumínio, houve uma precipitação e/ou adsorção-precipitação de fosfato de alumínio nos tecidos radiculares (4).

Mediram-se, neste trabalho, os efeitos do alumínio sobre a absorção e o transporte de fósforo, sobre a atividade de fosfatases superficiais e sobre uma ATPase da membrana plasmática de dois cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), que diferiam na sensibilidade ao alumínio, visando à obtenção de informações adicionais que permitissem esclarecer o mecanismo de toxidez do alumínio.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Utilizaram-se, nos experimentos, dois cultivares híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), obtidos no Centro Nacional de Pesquisas de Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, os quais se distinguiam pela sensibilidade ao alumínio: um sensível (CMS x S-903) e outro tolerante (CMS x S-106).

### 2.1. Obtenção do Material Vegetal

#### 2.1.1. Obtenção de Raízes para os Experimentos de Absorção de Fósforo e Isolamento de Membrana Plasmática

As raízes para a avaliação destes dois parâmetros foram obtidas colocando-se as sementes para germinar entre 4 camadas de gaze, apoiadas sobre uma tela plástica, a 15 cm da superfície de 2,5 litros de uma solução de  $\text{CaSO}_4$  1mM, contida num copo de 4 litros. Após 4 dias de desenvolvimento no escuro, sob forte aeração, as raízes foram cortadas junto à tela de plástico (13).

#### 2.1.2. Obtenção das Plantas para a Determinação da Atividade Fosfatásica Superficial

As plantas foram cultivadas, durante 10 dias, em solução de Clark modificada (6ppm de P), conforme foi descrito por CALBO e CAMBRAIA (4).

### 2.2. Absorção de Fósforo por Raízes Destacadas

A absorção de fósforo por raízes destacadas foi estimada por duas técnicas:

#### 2.2.1. Técnica de Elzan (9)

As raízes foram cortadas em segmentos de aproximadamente 1cm, colocadas entre camadas de papel de filtro umedecido com  $\text{CaSO}_4$  1mM e mantidas a uma temperatura de 4°C, durante 1 hora.

Decorrido esse tempo, 0,2 g de segmentos de raízes foi transferido para 50 ml de uma solução de absorção constituída de  $\text{CaSO}_4$  1 mM,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  50mM e  $\text{Na}_2\text{H}^{32}\text{PO}_4$  6 mCi/ml e mantido a uma temperatura de 30°C, sob forte aeração. Após 30 minutos, interrompeu-se o processo de absorção, lavando-se os segmentos de raízes com solução de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  50 mM (4°C) e transferindo-os para uma solução de idêntica composição, onde permaneceram por 30 minutos. Decorrido esse tempo, os segmentos foram removidos e o excesso de umidade foi eliminado, com-

primindo-os cuidadosamente entre camadas de papel de filtro. Os segmentos foram, então, transferidos para frascos de cintilação previamente tarados. Determinou-se o peso da matéria fresca e adicionou-se o coquetel de cintilação (3).

A contagem da atividade do  $^{32}\text{P}$  das amostras realizou-se, simultaneamente, em três canais, com janelas totalmente abertas, no contador de cintilações Beckman, modelo LS-233, com ganho de 450. Feita a necessária correção para a radiação de fundo, obteve-se a média de três leituras de cada amostra. Como o grau de extinção não foi sensivelmente modificado, de amostra para amostra, não foi necessária a correção para esse efeito.

Com esse procedimento foram feitos dois tipos de experimentos; no primeiro, o alumínio foi adicionado às soluções de absorção nas concentrações de 0, 2 e 10 ppm; no segundo, foi aplicado na concentração de 5 ppm, em pré-tratamento de 1 dia. Esse pré-tratamento consistiu no seguinte: após 3 dias de cultivo, conforme 2.1.1., as telas foram cortadas ao meio, obtendo-se dois grupos de raízes semelhantes, que foram imersos em soluções de  $\text{CaSO}_4$  1 mM, pH 3,8, com 0 e 5 ppm de alumínio, sob aeração.

### 2.2.2. Técnica de Pitman (18)

Cerca de 12 raízes, com 4 cm aproximadamente, foram dispostas paralelamente, com a extremidade cortada voltada para o compartimento c, de acordo com o que se vê na Figura 1.

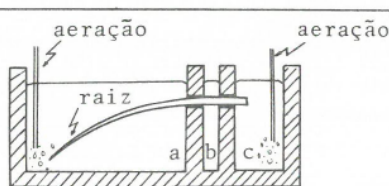


FIGURA 1 - Representação esquemática do dispositivo utilizado para medir a absorção e o transporte de fósforo: a: compartimento de absorção; b: compartimento de segurança; c: compartimento de recepção (18).

No compartimento a, foram colocados 20 ml de solução de absorção constituída de  $\text{CaSO}_4$  1mM,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  50 mM e  $\text{Na}_2\text{H}^{32}\text{PO}_4$  200nCi/ml e no compartimento c 5 ml da mesma solução, porém sem fósforo radioativo. As soluções, nos dois compartimentos, foram arejadas durante todo o período de absorção, e o dispositivo foi mantido em banho-maria, à temperatura de 30°C. O fósforo transportado foi determinado em função da atividade de 2 ml da solução do compartimento de recepção (c), 1 hora após a aplicação da solução radioativa. A parte das raízes mergulhada na solução que continha fósforo radioativo, depois do período de absorção, foi cortada e a radioatividade acumulada nos segmentos foi determinada (conforme 2.2.1.).

A fração do fósforo precipitada com alumínio nos tecidos da raiz foi estimada, subtraindo-se da quantidade total acumulada nos tecidos a quantidade transportada, via xilema, para o compartimento c e a quantidade acumulada no controle.

### 2.3. Atividade das Fosfatases Superficiais de Raízes Intatas

No dia do ensaio, as plantas, cultivadas conforme 2.1.2., foram expostas ao sol

durante 6 horas, em casa-de-vegetação, e, daí, levadas ao laboratório, para a determinação da atividade fosfatásica. As raízes das plantas foram introduzidas em frascos que continham 180 ml de solução de Clark modificada (6 ppm de P) e p-nitrofenilfosfato 0,1 mM, pH 3,8, e as plantas foram mantidas à temperatura de 30°C, sob uma intensidade luminosa de 17 klux. Após 35 minutos de incubação, foram tomadas alíquotas de 3ml e a quantidade de p-nitrofenol formado foi determinada colorimetricamente, a 410 nm (5, 6).

#### 2.4. Atividade ATPásica da Membrana Plasmática

Uma fração rica em fragmentos de membrana plasmática foi obtida homogeneizando-se raízes com baixo conteúdo de elementos minerais (obtidas conforme descrito em 2.1.2.), segundo a técnica descrita por HODGES e LEONARD (13).

A atividade ATPásica foi determinada pela adição de 0,1 ml da fração de membranas a 0,9 ml de um substrato constituído de ATP 3 mM,  $\text{MgSO}_4$  1,5 mM, Tris-HCl 33mM (pH 6,5) e KCl 50 mM com ou sem  $\text{AlCl}_3$  74,1  $\text{m}^+\text{M}$  (2 ppm). Após 30 minutos de incubação, a 38°C, a reação foi interrompida e o fósforo inorgânico liberado foi determinado colorimetricamente, pelo método de FISKE e SUBBAROW (10). O teor de proteínas foi determinado pelo método de LOWRY *et alii* (14).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Efeito do Alumínio sobre a Absorção e o Transporte de Fósforo em Raízes Destacadas de Sorgo

Mediu-se o efeito do alumínio colocado na solução de absorção sobre a absorção de fósforo por raízes destacadas. Os resultados encontram-se no Quadro 1.

QUADRO 1 - Efeito de diferentes níveis de alumínio sobre a absorção de fósforo por segmentos de raízes de dois cultivares de sorgo

Níveis de Al (ppm)	Fósforo absorvido ( $\mu\text{moles/g M.F./h}$ )		
	Tolerante	Sensível	Médias
0	1,19	1,02	1,11b*
2	1,25	1,11	1,18b
10	1,58	1,50	1,54a

\* As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente ( $P < 0,05$ ), pelo teste de Tukey.

Observa-se que a aplicação de alumínio na solução de absorção aumentou a quantidade de fósforo absorvido pelos segmentos de raízes, mas apenas no nível mais elevado de alumínio houve diferença estatística. O efeito foi mais intenso no cultivar sensível (47%) que no cultivar tolerante (33%). CLARKSON (8) observou estímulos semelhantes na absorção de fósforo por segmentos de raízes de cevada na presença de alumínio, e demonstrou que, praticamente, toda a absorção estimulada pelo alumínio era trocável e não diminuía na presença de dinitrofenol ou



quando submetida a baixas temperaturas.

A fim de reduzir o contato do alumínio com o fósforo e verificar se o incremento observado na absorção de fósforo (Quadro 1) foi causado por uma possível precipitação de fosfato de alumínio nos tecidos, fez-se um pré-tratamento das raízes com o alumínio, durante 24 horas, não sendo esse elemento adicionado à solução de absorção. Os resultados encontram-se no Quadro 2.

QUADRO 2 - Efeito de pré-tratamento com alumínio, por um dia, sobre a absorção de fósforo por segmentos de raízes de dois cultivares de sorgo

Níveis de Al (ppm)	Fósforo absorvido ( $\mu$ moles/g M.F./h)	
	Tolerante	Sensível
0	0,78 aA*	0,60 aA
5	0,67 aA	0,35 bB

\* Os valores seguidos da mesma letra minúscula, nas colunas, e maiúscula, nas linhas, não diferem estatisticamente ( $P < 0,05$ ), pelo teste F.

Ao contrário do que aconteceu no experimento anterior, a absorção de fósforo pelas raízes de sorgo pré-tratadas com alumínio foi menor, sobretudo no cultivar sensível. No cultivar tolerante, a redução não chegou a ser significativa. ANDREW e VANDENBERG (1) também observaram reduções na absorção de fósforo por raízes de *Lotonis bainesii* pré-tratadas com alumínio. Possivelmente, mesmo nesses experimentos, uma parte do fósforo deve ter sido fixada nos tecidos radiculares, seja por precipitação de fosfato de alumínio nos espaços livres aparentes, seja por absorção-precipitação sobre o alumínio ligado a materiais da parede celular (8, 21, 23, 24). Contudo, como a maior parte do alumínio já devia ter penetrado nas células, é possível que a precipitação tenha sido bastante reduzida. É possível, ainda, que a redução na absorção de fósforo pelo cultivar sensível tenha sido causada por uma inibição do transportador de íons ou por um bloqueio no sistema de utilização de fósforo (4, 7) ou por uma inibição na síntese de fosfatases, via DNA (16).

A fim de verificar se o alumínio influenciava o transporte de fósforo da solução de absorção para os vasos do xilema, utilizou-se a técnica desenvolvida por PITMAN (18). Vêem-se os resultados no Quadro 3.

Observa-se que a quantidade de fósforo transportada não foi significativamente alterada por 10 ppm de alumínio. Contudo, a presença do alumínio aumentou significativamente a quantidade de fósforo absorvido, ou melhor, a quantidade de fósforo retido nos tecidos radiculares. Admitindo que na ausência de alumínio não ocorra precipitação de fósforo, estimou-se a percentagem de fósforo precipitado como sendo de 44% e 38%, nos cultivares tolerante e sensível, respectivamente. Apesar de não sido feita uma observação microscópica dos tecidos do sistema radicular, essa hipótese encontra amplo apoio na literatura (17, 23, 24).

A ausência de efeito imediato do alumínio sobre o transporte de fósforo sugere que a redução observada quando as raízes foram submetidas a um tratamento prévio, de 24 horas, com alumínio decorre de um efeito secundário desse elemento sobre o metabolismo, em termos gerais, e não de um efeito direto sobre o transpor-

tador de fósforo. Parece, também, que a precipitação de parte do fósforo com o alumínio, pelo menos na intensidade estimada, não é um fator limitante para o transporte de fósforo para a parte aérea.

### 3.2. Efeito do Alumínio sobre a Atividade de Fosfatases Superficiais de Raízes Intatas

As fosfatases superficiais das raízes parecem ter um papel importante no aumento da disponibilidade do fósforo para as plantas (5, 6, 22).

O efeito do alumínio aplicado durante o cultivo das plantas e/ou durante a determinação da atividade fosfatásica é apresentado no Quadro 4

QUADRO 3 - Efeito do alumínio sobre o transporte e o acúmulo de fósforo em segmentos de raízes de dois cultivares de sorgo

Cultivares	Níveis de Al (ppm)	Quantidade de Fósforo ( $\mu$ moles/g.M.F/h)		
		Absorvido	Transportado	Precipitado
Tolerante	0	0,57 B	0,040 A*	0,00 B
	10	0,82 A	0,038 A	0,25 A
Sensível	0	0,53 B	0,037 A	0,00 B
	10	0,73 A	0,034 A	0,20 A

\* Nas colunas, as médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente ( $P < 0,05$ ), pelo teste F.

QUADRO 4 - Efeito do alumínio sobre a atividade das fosfatases superficiais de raízes intatas de dois cultivares de sorgo

Cultivares	Níveis de Al aplic. durante o ensaio (ppm)	Níveis de Al aplic. durante o cultivo (ppm)	
		0	2
Tolerante	0	14,53*	10,61
	2	15,98	10,90
	Média	15,26 aB**	10,76 bB
Sensível	0	24,60	12,79
	2	27,06	12,30
	Média	25,83 aA	12,55 bA

\* Atividade fosfatásica, em  $\mu$ moles de p-nitrofenol/g M.S./h.

\*\* As médias seguidas da mesma letra minúscula, nas linhas, e maiúscula, nas colunas, não diferem estatisticamente ( $P < 0,05$ ), pelo teste F.

Observa-se que a aplicação de 2 ppm de alumínio durante o período de desenvolvimento das plantas reduziu a atividade das fosfatases superficiais no cultivar tolerante (27%) e no cultivar sensível (48%). Quando o alumínio foi adicionado

também à solução de absorção, as reduções foram 32% maiores no cultivar tolerante e 60% no cultivar sensível.

A aplicação de alumínio apenas durante o ensaio resultou num aumento de cerca de 10% na atividade fosfatásica de ambos os cultivares. Esse aumento parece ter sido responsável pela maior redução observada quando o alumínio foi aplicado durante o desenvolvimento das plantas e durante o ensaio, concomitantemente. Parte da atividade fosfatásica parece ser insensível ou pouco sensível a esse tratamento extra e não se reduziu abaixo de 10,76  $\mu$ moles de p-nitrofenol/g MF/h, para o cultivar tolerante, e de 12,55  $\mu$ moles de p-nitrofenol/g MF/h, para o cultivar sensível.

Essas fosfatases superficiais devem estar em íntimo contato com a solução exterior, provavelmente, associadas com a parede celular, de tal sorte que não há nenhuma barreira à utilização do substrato ou à ação de inibidores (2, 11, 22).

Contudo, como parte da atividade fosfatásica mostrou-se insensível ao tratamento adicional de alumínio colocado no meio do ensaio, suspeita-se que esteja associada com fosfatases localizadas em regiões menos acessíveis ao inibidor, como, por exemplo, na membrana plasmática.

A atividade fosfatásica observada no cultivar sensível foi quase 70% maior que no cultivar tolerante, na ausência do alumínio. CLARK e BROWN (6), por outro lado, trabalhando com dois cultivares de milho, encontraram maior atividade fosfatásica e eficiência de absorção de fósforo no cultivar mais tolerante. WOOLHOUSE (22) e CLARK e BROWN (6) sugeriram que a maior capacidade para absorver fósforo ou a melhor adaptação a baixos níveis de fósforo poderiam resultar de maior atividade fosfatásica nas raízes.

Os resultados obtidos parecem mostrar que a ação do alumínio sobre as fosfatases superficiais das raízes do sorgo é indireta. O alumínio poderia alterar o metabolismo celular, especialmente o metabolismo do fósforo (7), ou a síntese dessas fosfatases, via DNA (16).

### 3.3. Efeito do Alumínio sobre a Atividade da Adenosina Trifosfatásica (ATPase) da Membrana Plasmática

A membrana plasmática tem inúmeras atividades ATPásicas. Uma delas é dependente de magnésio e ativada por cátions monovalentes, e está, provavelmente, envolvida no transporte de cátions através dessa membrana (12).

Em razão de o cultivo das plantas em alumínio ter inibido severamente a absorção de vários cátions, admitiu-se a possibilidade de estar o transportador catiônico ( $Mg^{++}$  -  $K^{+}$  - ATPase) sendo a região primária da ação inibitória do alumínio. Para verificar essa possibilidade, isolou-se a membrana plasmática das raízes dos dois cultivares de sorgo e mediu-se o efeito do alumínio sobre a atividade da ATPase (Quadro 5).

A presença de 2 ppm de alumínio provocou uma redução, na atividade dependente de magnésio, de 14 e 16%, nos cultivares tolerante e sensível, respectivamente. A atividade estimulada pelo potássio foi ainda mais reduzida pela presença do alumínio, chegando a 20% no cultivar tolerante e a 29% no cultivar sensível. Não houve diferença entre os dois cultivares.

WOOLHOUSE (22), trabalhando em ecótipos de *Agrostis tenuis*, obteve inibições bem mais acentuadas. Entretanto, ele mediu o efeito do alumínio sobre a atividade máxima da ATPase, ou seja, a soma da atividade dependente de magnésio e a estimulada por potássio; aqui, calculou-se o efeito do alumínio sobre essas atividades separadamente. Além disso, a ATPase usada por ele foi isolada de uma fração de paredes celulares, sem nenhuma purificação posterior. KLIMASHEV-

QUADRO 5 - Efeito do alumínio sobre a atividade de (Mg + K) - ATPase da membrana plasmática das raízes de dois cultivares de sorgo

Tratamentos	Atividade ATPásica ( $\mu$ moles Pi/mg prot./h)	
	Tolerante	Sensível
MgSO <sub>4</sub>	8,37 c*	8,91 cb
MgSO <sub>4</sub> + KCl	12,64 a	13,54 a
MgSO <sub>4</sub> + AlCl <sub>3</sub>	7,20 c	7,48 c
MgSO <sub>4</sub> + KCl + AlCl <sub>3</sub>	10,63 b	10,78 b

\* Nas colunas, as médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente ( $P < 0,05$ ), pelo teste de Tukey.

SKII *et alii* (15), além de terem encontrado um efeito inibitório do alumínio sobre a atividade ATPásica de membranas celulares em duas variedades de ervilha, verificaram que a variedade sensível foi bem mais afetada que a tolerante.

Embora o alumínio tenha influenciado com intensidade semelhante a atividade de ATPásica dos dois cultivares de sorgo, a observação desse fato é bastante significativa, já que a absorção de potássio, cálcio e magnésio foi significativamente reduzida nesses cultivares de sorgo (4).

Considerando o papel dessa ATPase no transporte ativo de cátions através da membrana plasmática e a maneira como o alumínio inibe a sua atividade, acredita-se que esse seja um dos principais sítios de ação do alumínio nas plantas.

#### 4. RESUMO

Os efeitos do alumínio sobre a absorção e o transporte de fósforo foram estudados em dois cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), que diferiam na sensibilidade ao alumínio.

A absorção de fósforo por raízes destacadas aumentou com o nível de alumínio na solução nutritiva, nos dois cultivares, porém somente diferiu estatisticamente do controle no nível mais elevado. Acredita-se que esse aumento tenha resultado de uma precipitação de fosfato de alumínio nos tecidos radiculares, quando os dois íons foram colocados em contato na solução de absorção. Quando esse contato foi minimizado, fazendo-se um pré-tratamento das plantas com alumínio e não incluindo esse íon na solução de absorção, observou-se uma redução na absorção de fósforo, que foi estatisticamente significante apenas no cultivar sensível (42%). Utilizando uma técnica diferente, estimou-se a intensidade de precipitação de fósforo de alumínio como sendo de 44% e 38%, nos cultivares tolerante e sensível, respectivamente. O transporte de fósforo para o xilema não foi significativamente influenciado.

A atividade das fosfatases superficiais de raízes intatas foi significativamente reduzida somente quando as plantas foram cultivadas em solução nutritiva com alumínio. A simples inclusão desse íon no meio de ensaio não influiu na atividade dessas enzimas.

Tanto o efeito sobre a absorção de fósforo como o efeito sobre a atividade das fosfatases pareceram ser indiretos; talvez sobre o metabolismo global da planta, pois somente se manifestaram após uma prolongada exposição ao alumínio.



Ao contrário, o efeito do alumínio sobre a atividade de uma ATPase da membrana plasmática foi imediato e significativo. Considerando que o alumínio provoca forte redução no acúmulo de cátions na parte aérea e no sistema radicular desses cultivares de sorgo e que a ATPase está, provavelmente, envolvida no transporte ativo de cátions, admite-se que um dos efeitos primários do alumínio tenha sido sobre esse transportador, localizado na membrana plasmática.

## 5. SUMMARY

The effects of aluminum on the uptake and transport of radioactive phosphorus were studied in two cultivars of sorghum differing in their tolerance to aluminum.

Phosphorus uptake by excised roots increased in both cultivars with the level of aluminum in the nutrient solutions; however, the difference was statistically significant only at the 10 ppm level. Probably precipitation of aluminum phosphate occurred in root tissue when both ions were put together in the absorption medium. Pre-treatment of the plants with aluminum resulted in a 42% reduction in phosphorus uptake by the sensitive cultivar, whereas the tolerant one was not affected. Using a different technique, the amount of phosphorus precipitated in root tissue was estimated as 44% and 38% in the tolerant and sensitive cultivar, respectively. The transport to xylem was not affected.

Phosphatases of intact roots were not affected by aluminum unless the plants were cultivated in nutrient solution containing this ion. Addition of aluminum to the assay medium did not affect the activity of these enzymes.

Phosphorus uptake and phosphatase activity seem to be affected indirectly by aluminum since, in all cases, the effects were significant only after an extended pre-treatment with aluminum.

The activity of plasma membrane ATPase was reduced by aluminum in both cultivars. Considering that accumulation of cations by top and root systems of sorghum plants was reduced by aluminum and that this ATPase is probably involved in the active transport of cation, it was assumed that aluminum could be affecting the plants primarily by inhibiting this ion carrier.

## 6. LITERATURA CITADA

1. ANDREW, C.S. & VANDENBERG, P.G. The influence of aluminum on phosphate sorption by whole plants and excised roots of some pasture legumes. *Aust. J. Agric. Res.*, 24:341-351. 1973.
2. BIELESKI, R.L. Phosphate pools, phosphate transport, and phosphate availability. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 24:225-252. 1973.
3. BRUNO, C.A. & CHRISTIAN, J.E. Determination of carbon-14 in aqueous bicarbonate solutions by liquid scintillation counting techniques. Applications to biological fluids. *Anal. Chem.*, 33:1216-1218. 1961.
4. CALBO, A.G. & CAMBRAIA, J. Efeito do alumínio sobre a composição mineral de dois cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Rev. Ceres* 27:369-378. 1980.
5. CLARK, R.B. Characterization of phosphatase of intact maize roots. *J. Agric. Food Chem.* 23:458-460. 1975.

6. CLARK, R.B. & BROWN, J.C. Differential phosphorus uptake by phosphorus-stressed corn inbreds. *Crop Sci.*, 14:505-508. 1974.
7. CLARKSON, D.T. Effect of aluminum on the uptake and metabolism of phosphorus by barley seedlings. *Plant Physiol.* 41:165-172. 1966.
8. CLARKSON, D.T. Interactions between aluminum and phosphorus on root surfaces and cell wall material. *Plant Soil*, 27:347-354. 1967.
9. ELZAM, O.E., RAINS, D.W. & EPSTEIN, E. Ion transport kinetics in plant tissue: complexity of the chloride absorption isotherm. *Biochem. Biophys. Res. Comm.* 15:273-276. 1964.
10. FISKE, C.H. & SUBBAROW, Y. The colorimetric determination of phosphorus. *J. Biol. Chem.*, 66:375-400. 1925.
11. HALL, J.L. & BUTT, V.S. Localization and kinetics of  $\beta$ -glycero-phosphatase in barley roots. *J. Exp. Bot.*, 19:276-285. 1968.
12. HODGES, T.K. ATPase associated with membranes of plant cells. In: Lüttge, U. & Pitman, M.G., ed. *Encyclopedia of Plant Physiology/New Series*. Berlin, Springer-Verlag, 1976. Vol. 2/A, p. 260-283.
13. HODGES, T.K. & LEONARD, R.T. Purification of a plasma membrane-bound adenosine triphosphatase from plant roots. In: Colowick, S.P. & Kaplan, M.O., ed. *Methods in Enzymology*, N. York, Academic Press, 1974. Vol. 32/B, p. 392-406.
14. LOWRY, O.H., ROSEBROUGH, N.J., FARR, A.L. & RANDALL, R.J. Protein measurement with folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.*, 193:265-275. 1951.
15. KLIMASHEVESKII, E.L., MARKOVA, Y.A., SEREGINA, M.L. GRODZINSKII, D.M. & KOZARENKO, T.D. Specifics of the physiological activity of pea plants in connection with unequal resistance of different varieties to mobile aluminum. *Soviet Plant Physiol.*, 17:372-378. 1970.
16. MATSUMOTO, H., HIRASAWA, E., TORIKAI, H. & TAKAHASHI, E. Localization of absorbed aluminum in pea root and its binding to nucleic acids. *Plant Cell Physiol.*, 17:127-137. 1976.
17. McCORMICK, L.H. & BORDEN, F. Y. The occurrence of aluminum phosphate precipitate in plant roots. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 38:931-934. 1974.
18. PITMAN, M.G. Uptake and transport of ions in barley seedlings. I. Estimation of chloride fluxes in cells of excised roots. *Aust. J. Biol. Sci.*, 24:407-421. 1971.
19. RAGLAND, J.L. & COLEMAN, N.T. Influence of aluminum on phosphorus uptake by snap bean roots. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 26:88-90. 1962.
20. RANDALL, P.J. & VOSE, P.B. Effect of aluminum on uptake and translocation of phosphorus by perennial ryegrass. *Plant Physiol.*, 38:403-409. 1963.

21. RORISON, I.H. The effect of aluminum on uptake and incorporation of phosphate by excised sainfoin roots. *New Phytol.*, **64**:23-27. 1965.
22. WOOLHOUSE, H.W. Differences in the properties of the acid phosphatases of plant roots and their significance in the evolution of edaphic ecotypes. In: Rorison, H.D., ed. *Ecological Aspects of the Mineral Nutrition of Plants*, Oxford, Blackwell Scientific Publications, 1969. p. 357-380.
23. WRIGHT, K.E. Internal precipitation of phosphorus in relation to aluminum toxicity. *Plant Physiol.*, **18**:708-712. 1943.
24. WRIGHT, K.E. & DONAHUE, B.A. Aluminum toxicity studies with radioactive phosphorus. *Plant Physiol.*, **28**:674-680. 1953.

## 1. INTRODUÇÃO

Pretende-se, com esta pesquisa, contribuir para o Estado de Minas Gerais, no estado do campo de demonstração, como método de difusão de informações relativas às inovações tecnológicas. No Estado de Goiás, onde se localizam as áreas estudadas, a criação e o desenvolvimento dos campos de demonstração de tecnologia para a pecuária estão ligados aos incentivos que decorrem do Programa Corredores de Exportação (Lei n.º 5.737, de 1 de novembro de 1971).

Para atender ao Programa Corredores de Exportação o Ministério da Agricultura criou o Projeto Fomento Agrícola, com o objetivo de contribuir para o aumento das exportações agrícolas, por intermédio do aumento da produção e da produtividade, da melhoria da qualidade dos produtos e da redução dos custos de produção (1, 2).

1. Parte da tese de Mestrado em Economia Rural apresentada pelo primeiro autor à Universidade Federal de Viçosa, para obtenção do grau de "Mestre em Economia".

2. Recebido para publicação em 05-05-1980.  
3. EMATER-GOIAS, Rua 237-A, Quadra 57-D, n.º 10 Setor Universitário Caixa Postal 237, 14.000 Goiânia GOIAS.

4. Departamento de Economia Rural — U.F.V. 36570 — Viçosa, MG.

5. Departamento de Matemática — U.F.V. 36570 — Viçosa, MG.