

INFLUÊNCIA DA CALAGEM NA TOXIDEZ DE ALUMÍNIO PARA
PLANTAS DE CEVADA*

Effects of liming on the toxicity of aluminum to
bareley plants.

José R. Ben**, Maurelio Morelli*** e Valduino Estefanel****

RESUMO

Através de experimentos em casa de vegetação com a cultura da cevada (*Hordeum vulgare* L.), variedade cambrinus, estudou-se a influência da calagem na toxidez de alumínio para a planta, utilizando-se cinco amostras de solos de unidades de mapeamento diferentes.

Foram determinadas as formas trocáveis e hidrossolúveis assim como as atividades químicas do alumínio e demais cátions do solo, estabelecendo-se correlações com a produção de raízes e parte aérea da planta.

Observou-se que a influência do alumínio no peso de raízes e produção, depende da relação deste elemento com os demais cátions trocáveis, especialmente Ca e Mg, sendo que tanto a forma trocável como hidrossolúvel e atividade química do alumínio oferecem boa correlação com produção de raízes e parte aérea da planta.

SUMMARY

In greenhouse experiments with bareley (*Hordeum vulgare* L.), studies were made of the effects of liming on the toxicity of aluminum to the plant. Soils of five different mapping units were employed.

Determinations were made of the exchangeable and water soluble forms and chemical activities of aluminum and other cations of the soils, and of correlations between these and the growth of the roots and tops of the plants.

The effects of aluminum in the soil on the weights of plant roots and tops produced were dependent upon the relationships between the aluminum and the other exchangeable cations present, especially calcium magnesium. There was good correlation of the amounts of exchangeable and water soluble forms and chemical activities of aluminum in the soils with the growth of plant roots and tops.

* Parte da tese realizada para o título de Mestre em Ciências no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de conc., Bionômica e Produtividade do Solo, da UFSM.

** Estudante do referido Curso.

*** Prof. Ass. da Disciplina de Química do Solo e orientador do trabalho.

**** Prof. Ass. da Disciplina de Técnica de Experimentação Vegetal

INTRODUÇÃO

A toxidez de alumínio tem sido apontada como um dos principais fatores limitantes às culturas em solos ácidos. ARNON *et alii* (4), estudando várias espécies de plantas em solução nutritiva, observaram o efeito do pH somente em casos extremos. VLAMIS (20), atribuiu às concentrações do alumínio em solução nutritiva as diferenças de rendimento da cevada, e não ao pH. SOILEAU *et alii* (18), constataram que o desenvolvimento da cultura do algodão não foi relacionado com o pH, mas com o alto teor de alumínio solúvel o qual produziu danos morfológicos no sistema radicular. Pesquisas como estas levam à conclusão de que o pH do solo em si, não é o principal fator limitante às culturas em solos ácidos, mas as consequências da condição ácida, entre as quais destaca-se a toxidez de alumínio. Este elemento ataca principalmente o sistema radicular da planta, acumulando-se na superfície das raízes e no protoplasma das células do córtex radicular, BLACK (5). O alumínio em níveis tóxicos inibe o desenvolvimento radicular, reduzindo o comprimento das raízes, REID *et alii* (16), ADAMS e LUN (2), inibindo também a absorção dos demais nutrientes, EVANS e KAMPRATH (8), FOY e BROWN (10), LEE (13), LANCE e PEARSON (12).

Considerando-se que o alumínio atua no sistema radicular da planta, não havendo evidências de que transloca-se à parte aérea em níveis tóxicos, a produção das raízes pode ser considerada um bom índice para a avaliação da toxidez deste elemento.

O principal efeito da calagem em solos ácidos é a redução do alumínio trocável, fato que justifica a recomendação da calagem através do teor deste elemento no solo. REEVE e SUMNER (15), estudando oxissolos da África do Sul, encontraram que a recomendação do calcário com base no alumínio trocável era uma prática recomendável, sendo que a necessidade de calcário por este método era 1/6 da dose recomendada para atingir o pH 6,5. EVANS e KAMPRATH (8), observaram que a cultura do milho respondeu à calagem quando a percentagem de saturação do alumínio no complexo coloidal era superior a 70% e quando a concentração do alumínio na solução do solo era de 0,4 me/litro. Em cultura de soja já a resposta foi obtida quando a percentagem de saturação do alumínio era de 30% ou a concentração na solução do solo era igual ou maior que 0,2 me/litro.

O presente trabalho teve o objetivo de verificar a influência da calagem na toxidez de alumínio para a cevada e quais são os índices mais adequados para avaliar esta toxidez, especialmente no que se refere a formas de alumínio no solo e suas relações com os demais cations.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram coletadas amostras de solos pertencentes às seguintes unidades: Santa Maria (SM) - UMBRAQUALF; São Gabriel (SG) - ARGUODOLL; Júlio de Castilhos (JC) - PALEHUMULT; Bom Jesus (BJ) - HAMPLUMBREPT e Rocinha (Ro) - HUMAQUEDT. As características destes solos encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Análises químicas e granulométrica dos solos estudados, realizadas antes do início do experimento.

Solos	pH em H ₂ O	%		me/100g				ppm P	%		
		C	Al troc.	Ca troc.	Mg troc.	K troc.	CTC*		Areia	Silte	Argila
SM	5,3	1,39	1,00	6,86	3,36	0,30	15,83	3,0	28,10	49,02	22,88
SG	5,2	1,78	1,88	10,53	8,38	0,56	27,45	1,6	16,95	47,61	35,44
JC	5,0	1,91	2,82	1,74	3,18	0,48	15,40	1,5	23,54	33,08	43,38
BJ	4,8	3,37	5,25	1,01	1,54	0,27	22,91	1,5	17,63	25,51	56,86
Ro	4,8	13,20	8,05	0,14	0,79	0,32	52,78	2,3	12,90	41,30	45,80

* CTC determinada por saturação com acetato de amônio 1N, pH 7,0.

Com as amostras coletadas realizaram-se experimentos em casa de vegetação com potes de 1 kg de solo, usando-se quatro níveis de Ca(OH)_2 , como tratamentos. As doses de Ca(OH)_2 foram calculadas com base na curva de neutralização, conforme ABRUNĂ e VICENT (1), sendo a dose máxima dada pela quantidade necessária para elevar o pH a 7,0. As demais doses de calagem foram 50% e 25% da dose máxima. Para o solo Rocinha, usou-se mais uma dose correspondente a 12,5% da dose máxima.

Dez dias após a calagem, os solos receberam adubação (NPK e micronutrientes), necessária para suprir a necessidade da planta, sendo a quantidade igual para todos os solos. Vinte e um dias após a calagem, foi realizada a semeadura da cevada, tendo sido feita a colheita 35 dias após a semeadura, procedendo-se a secagem em estufa a 70° C. As raízes foram coletadas usando-se jato de água para separar o solo, sendo após examinadas com lupa, classificando-se segundo o desenvolvimento (com índices de 0 a 10), e então secadas a 70° C.

As análises dos solos foram feitas utilizando-se as seguintes métodos: Alumínio trocável pelo método YUAN (23), carbono orgânico pelo método de Walkey e Black, conforme ALLISON (3). Os cations trocáveis foram extraídos com acetato de amônio 1N, pH 7,0. Uma vez extraídos, os cations Ca, K e Na foram analisados por fotometria de chama e o Mg por absorção atômica. O fósforo disponível foi extraído

do com H_2SO_4 0,025 N + HCl 0,05 N e analisado por fotocolorimetria usando-se ácido ascórbico como redutor, VETTORI (19). Em amostras retiradas dos potes por ocasião da colheita do experimento, foram analisados os cations trocáveis pelo método já citado, e hidrossolúveis cuja extração procedeu-se conforme BOWER e WILCOK (6), usando-se a relação solo:água 1:2, por oferecer maior repetibilidade para o alumínio. A determinação dos cations hidrossolúveis Ca, K, Mg e Na, nos extratos foram feitas pelos métodos usados para estes cations trocáveis, sendo que o alumínio foi determinado colorimetricamente, conforme McLEAN (14).

O cálculo da atividade iônica dos diversos cations solúveis foi feito de acordo com a lei de Debye - Hückel para soluções, usando-se a forma simplificada recomendada por FASSBENDER (9), onde:

$$a = c.f$$

$$-\log f = A.Z^2 (I)^{1/2}, \text{ sendo:}$$

a = atividade iônica
 c = concentração
 f = coeficiente de atividade
 z = valência dos íons
 I = força iônica
 A = constante (0,509 a 25º C)

A força iônica calculada para os cations foi multiplicada por 2, considerando-se uma igual força aniônica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2, são apresentados os dados de produção de matéria seca da parte aérea da planta e de raízes, sendo que as análises estatísticas para todos os solos, em conjunto, estão apresentadas nas Tabelas 3 e 4. Encontrou-se diferenças significativas entre os diversos tratamentos assim como interação entre tratamentos e solos, o que indica que os solos reagiram à calagem de maneira diferente.

Nas Tabelas 5 e 6 são apresentados os teores de Al, Ca, Mg, K e Na, trocáveis e hidrossolúveis, assim como atividade química do alumínio e pH do solo, em amostras submetidas aos diversos tratamentos e coletadas por ocasião da colheita do experimento.

O efeito da calagem na eliminação da toxidez do alumínio para a planta foi avaliado através de observações feitas no sistema radicular, com lupa, pelo peso de raízes e produção de matéria seca da parte aérea da planta.

Evidenciou-se que certas raízes em solos sem calagem estavam degeneradas, tortuosas, sem pelos absorventes e com extremidades entumecidas nos casos mais graves (Fig. 1).

Tabela 2. Dados de produção de matéria seca da parte aérea da planta e de produção de raízes, em gramas por pote, (médias de três repetições).

Solos	Níveis de Calagem									
	0		1/2		1		2		4	
	Parte aérea	Raízes	Parte aérea	Raízes	Parte aérea	Raízes	Parte aérea	Raízes	Parte aérea	Raízes
SM	1,88	1,57	-	-	1,84	1,10	2,03	1,05	1,93	0,94
SG	1,63	1,23	-	-	2,03	0,95	1,89	1,25	2,03	1,36
JC	0,93	0,65	-	-	1,66	1,09	1,98	1,31	1,82	1,15
BJ	0,55	0,30	-	-	1,38	1,35	1,65	1,33	1,73	1,55
Ro	0,35	0,29	0,67	0,46	1,13	0,74	1,55	1,10	1,48	0,70

Tanto a toxidez do alumínio como a carência de cálcio têm uma influência degenerativa sobre o desenvolvimento e funcionamento das raízes. Segundo JACKSON (11), RIOS e PEARSON (17), a inibição do desenvolvimento radicular, causada pela toxidez do alumínio, é uma consequência degenerativa da divisão celular.

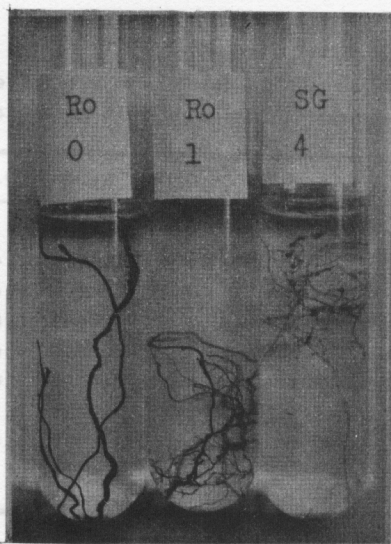


Figura 1. Raízes de cevada apresentando sintomas de toxidez de alumínio.

- Ro - 0 (sem $\text{Ca}(\text{OH})_2$) - Índice de desenv. radicular = 1
 Ro - 1 (dose 1 de ") - Índice de desenv. radicular = 6
 SG - 4 (dose 1 de ") - Índice de desenv. radicular = 10

Tabela 3. Análise da variância entre produção de massa seca e níveis de calagem nas cinco unidades de solo estudadas.

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.
Tratamentos	19	13,3828	1,4435	
Fator A (solos)	4	5,7440	1,8225	186,339**
Fator D (doses Ca(OH)_2)	3	5,4676	3,4656	235,270**
Regressão linear	1	3,4656	1,9618	447,370**
Regressão quadrática	1	1,9618	0,0401	253,257**
Desvios de regressão	1	6,0401	0,1784	5,184**
Interação A x D	12	2,1411	0,0077	23,032**
Resíduo	40	0,3098		
Total	59	13,6926		

Coefficiente de variação = 5,6%

Tabela 4. Análise da variância entre peso das raízes e níveis de calagem nas cinco unidades de solo estudadas.

C. V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.
Tratamentos	19	7,5889		
Solo	4	1,9688	0,4922	16,229**
Doses de Ca(OH)_2	3	1,4866	0,4955	16,339**
Regressão Linear	1	0,8063	0,8063	26,587**
Regressão quadrática	1	0,6720	0,6720	22,158**
Desvios da regressão	1	0,0082	0,0082	0,273
Interação solo x doses de Ca(OH)_2	12	4,1434	0,3452	11,385**
Resíduo	40	1,2131	0,0303	
Total	59	8,8120		

Coefficiente de variação = 16,5%

Tabela 5. Efeito da calagem sobre o pH e teor de alumínio no solo, (médias de três repetições).

Solo	Níveis de calagem	pH H ₂ O (1:1)	me/100 g		$\left(\frac{Al \cdot 100}{C \cdot T \cdot C}\right)$	$\left(\frac{Al \cdot 100^*}{T}\right)$	$\left(\frac{meles \cdot 10^4}{litro \cdot aMl}\right)$
			Al troc.	Al hidros.			
SM	0	5,2	0,822	0,0026	5,2	7,92	0,0249
	1	5,5	0,308	0,0014	2,0	2,73	0,0128
	2	5,8	0,206	0,0000	1,3	1,64	-
	4	6,5	0,103	0,0000	0,7	0,70	-
SG	0	5,2	1,661	0,0062	5,9	8,54	0,0556
	1	5,4	0,623	0,0032	2,2	3,06	0,0279
	2	5,9	0,208	0,0027	0,7	0,94	0,0226
	4	6,5	0,208	0,0020	0,7	0,83	0,0141
JC	0	4,9	2,166	0,0074	14,7	32,32	0,0713
	1	5,2	0,823	0,0067	5,3	11,67	0,0638
	2	5,6	0,309	0,0049	2,0	3,66	0,0434
	4	6,4	0,109	0,0026	0,7	0,90	0,0174
BJ	0	4,6	4,897	0,0226	21,4	58,05	0,1939
	1	5,2	2,067	0,0107	9,1	24,16	0,0909
	2	5,6	0,313	0,0080	1,4	3,02	0,0650
	4	6,4	0,104	0,0028	0,5	0,63	0,0160
Ro	0	4,9	7,181	0,0453	13,6	84,00	0,4301
	1/2	5,1	3,917	0,0317	7,4	46,10	0,2834
	1	5,3	1,741	0,0264	3,3	16,90	0,2052
	2	5,8	0,435	0,0246	0,8	2,46	0,1818
	4	6,7	0,326	0,0106	0,6	0,96	0,0563

* Al . 100/Al+Ca+Mg+K+Na; Ions trocáveis

Tabela 6. Efeito da calagem no teor de cálcio, magnésio e potássio trocáveis e hidrossolúveis no solo após a colheita, em me/100g, (médias de três repetições).

Solo	Níveis de calagem	Cations trocáveis				Cations hidrossolúveis			
		Ca	Mg	K	Na	Ca	Mg	K	Na
SM	0	7,182	2,119	0,138	0,133	0,077	0,021	0,010	0,034
	1	8,721	2,008	0,141	0,112	0,109	0,028	0,008	0,035
	2	10,003	2,114	0,141	0,095	0,147	0,036	0,007	0,030
	4	12,363	1,903	0,148	0,095	0,404	0,076	0,011	0,031
SG	0	9,841	7,471	0,289	0,197	0,077	0,051	0,015	0,051
	1	11,794	7,471	0,289	0,180	0,097	0,060	0,010	0,047
	2	14,503	7,044	0,292	0,164	0,132	0,064	0,010	0,043
	4	17,611	6,884	0,289	0,147	0,278	0,109	0,010	0,034
JC	0	2,066	2,116	0,309	0,035	0,032	0,021	0,037	0,045
	1	3,874	2,116	0,191	0,050	0,062	0,036	0,016	0,021
	2	5,811	2,116	0,155	0,048	0,109	0,051	0,013	0,021
	4	9,940	1,904	0,191	0,073	0,359	0,076	0,023	0,027
BJ	0	1,690	1,552	0,223	0,074	0,067	0,081	0,040	0,042
	1	4,940	1,446	0,120	0,045	0,130	0,047	0,013	0,025
	2	8,579	1,286	0,120	0,068	0,192	0,032	0,009	0,020
	4	15,339	0,750	0,123	0,074	0,621	0,032	0,010	0,019
Ro	0	0,417	0,503	0,324	0,124	0,013	0,010	0,036	0,040
	1/2	3,665	0,503	0,282	0,130	0,081	0,010	0,037	0,043
	1	7,736	0,503	0,212	0,109	0,190	0,010	0,627	0,041
	2	16,559	0,392	0,181	0,112	0,278	0,010	0,015	0,027
	4	33,118	0,168	0,181	0,147	0,780	0,010	0,016	0,027

A carência de cálcio, conforme JACKSON (11), não somente inibe a divisão celular, mas também o alongamento celular. Entre os danos e fenômenos correlatos deve ser apontado, principalmente a destruição do tecido meristemático da ponta da raiz. A regulagem da absorção de íons e o metabolismo interno são fortemente perturbados.

Na Figura 2, relacionou-se alumínio trocável e cálcio trocável com índices de desenvolvimento radicular dados por números de 1 a 10, onde o índice 1 significa danos severos e o índice 10 significa nenhum dano às raízes. Observa-se que os números mais baixos, que indicam danos mais acentuados, estão relacionados com os altos teores de alumínio trocável, havendo indicação de que existe relação também com os teores de cálcio mais magnésio.

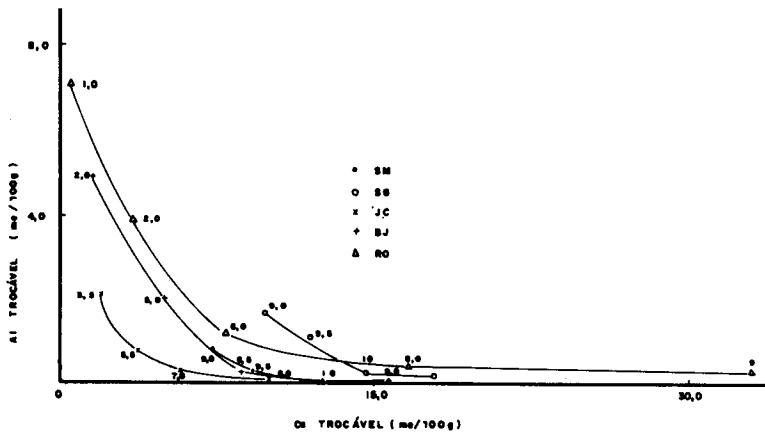


FIG 2 - CORRELAÇÃO ENTRE ALUMÍNIO TROCÁVEL E CÁLCIO TROCÁVEL NOS CINCO SOLOS ESTUDADOS, COM ÍNDICES DE DESENVOLVIMENTO DAS RAÍZES: 1 - RAIZ MUITO POUCO DESENVOLVIDA (DANIFICADA) 10 - RAIZ BEM DESENVOLVIDA (BADIÁ COM BOA QUANTIDADE DE PELOS ABSORVENTES).

Sabe-se que em solos ácidos, é possível manifestar-se a toxidez de manganês, principalmente para leguminosas. Para melhor avaliar a possibilidade da toxidez deste elemento, foi feita a análise de manganês na parte aérea da planta. Esses dados, encontram-se na Tabela 7.

WHITE (21) observou sintomas de toxidez de Mn com 200 ppm na planta de cevada. Segundo LABANAUSKA, citado por WOLKWEISS e LUDWICK (22), a concentração de 173 ppm de manganês na planta pode ser tóxica para a soja que, como leguminosa, deve ser mais sensível que a cevada.

Os teores encontrados na parte aérea da planta, mostram ser pouco provável uma toxidez de manganês no caso deste experimento, devendo ainda ser considerado que não foram observados sintomas visuais.

Conclui-se que os danos encontrados nas raízes foram causados

preponderantemente pela toxicidade de alumínio e, considerando a intensidade destes danos, é lógico supor uma grande influência no rendimento das plantas.

Tabela 7. Teores de Manganês na parte aérea da planta, em ppm, (médias de três repetições).

Níveis de calagem	Solos				
	SM	SG	JC	BJ	Ro
0	125,0	107,5	85,0	107,0	75,5
1/2	-	-	-	-	67,5
1	107,5	107,5	75,0	100,0	85,0
2	92,5	57,5	75,0	75,0	75,5
4	92,5	57,5	75,0	92,5	82,5

Foram feitas análises de correlação entre peso de raízes com teores de alumínio e cálcio trocáveis e hidrossolúveis, atividades químicas dos mesmos no extrato aquoso do solo e relação destes com os demais cations do solo. Estes resultados encontram-se na Tabela 8.

Tabela 8. Equações de regressão e coeficientes de correlação entre as variáveis, peso das raízes e formas de alumínio e cálcio para os solos em conjunto.

Y	X	Equação	Correlação
Peso das raízes	Al trocável	$Y = 1,245 - 0,178X + 0,003X^2$	$R = 0,762^{**}$
Peso das raízes	Al hidrossolúvel	$Y = 1,247 - 19,682X + 70,415X^2$	$R = 0,720^{**}$
Peso das raízes	Al.100/C.T.C.	$Y = 1,187 - 0,023X + 0,001X^2$	$R = 0,647^{**}$
Peso das raízes	Al.100/(Al+Ca+Mg+K+Na)-TR	$Y = 1,214 - 0,013X$	$r = 0,770^{**}$
Peso das raízes	Al.100/(Al+Ca+Mg+K+Na)-TR	$Y = 1,220 - 0,014X + 0,0001X^2$	$R = 0,771^{**}$
Peso das raízes	Al-H ₂ O/(Ca+Mg+K+Na)-H ₂ O	$Y = 1,262 - 5,902X + 7,972X^2$	$R = 0,725^{**}$
Peso das raízes	aAl	$Y = 1,246 - 27,849 \cdot 10^3 + 73,316X^2 \cdot 10^6$	$R = 0,725^{**}$
Peso das raízes	aAl/(aCa+aMg+aNa+aK)	$Y = 1,227 - 8,694X + 0,018X^2$	$R = 0,634^{**}$
Peso das raízes	Al(Ca+Mg)-TR	$Y = 1,196 - 0,757 + 0,082X^2$	$R = 0,784$
Peso das raízes	Ca trocável	$Y = 0,442 + 0,102X - 0,003X^2$	$R = 0,704^{**}$
Peso das raízes	Ca hidrossolúvel	$Y = 0,672 + 3,198 - 3,891X^2$	$R = 0,474$
Peso das raízes	Ca.100/(Al+Ca+Mg+K+Na)-TR	$Y = 0,134 + 0,035X - 0,002X^2$	$R = 0,748^{**}$
Peso das raízes	aCa	$Y = 0,0604 + 2,559X \cdot 10^3 - 2,284X^2 \cdot 10^6$	$R = 0,498$
Peso das raízes	aCa/(aAl+aMg+aK+aNa)	$Y = 0,690 + 0,430X - 0,063X^2$	$R = 0,475$

X - H₂O = cation hidrossolúvel

TR = cations trocáveis

Observa-se que as correlações feitas entre peso de raízes e as formas de alumínio apresentam os maiores coeficientes de correlação quando comparados com os coeficientes de correlação entre peso de raízes e formas de cálcio, podendo-se deduzir que o alumínio é o fator que mais influi no peso do sistema radicular. Entretanto a toxicidade de alumínio parece estar na dependência dos teores dos demais cations, especialmente do cálcio e magnésio, em vista dos altos coe

ficientes de correlações quando se consideram as relações do alumínio com os demais cations.

Observou-se também que tanto as formas trocáveis como hidrossolúveis e atividades químicas dos elementos apresentam boas correlações com a produção de raízes. Nas Figuras 3 e 4 são relacionados o alumínio trocável e atividade de íon alumínio no extrato aquoso do solo com o peso de raízes, onde pode-se notar boa correlação entre estas variáveis.

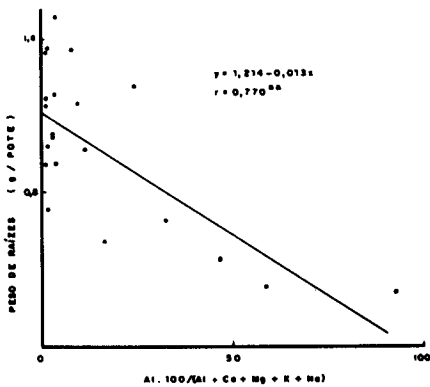


FIG. 3 - CORRELAÇÃO ENTRE PESO DE RAÍZES E Al.100/Y.

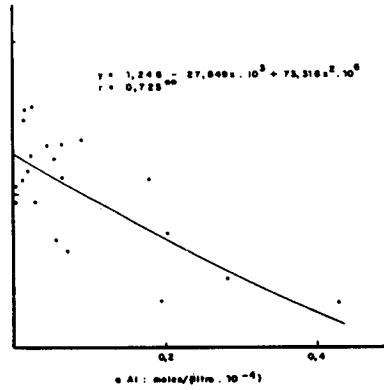


FIG. 4 - CORRELAÇÃO ENTRE PESO DE RAÍZES E ATIVIDADE DE ÍON ALUMÍNIO NO EXTRATO AQUOSO.

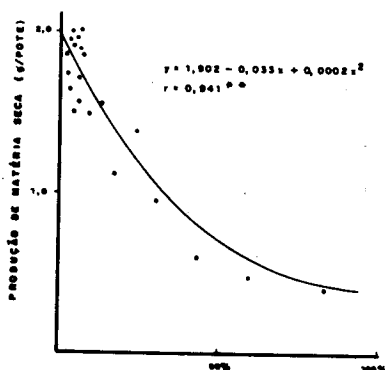
Uma vez constatado o efeito tóxico do alumínio avaliado pela produção de raízes, procura-se correlacionar os dados de produção de matéria seca da parte aérea da planta com as formas trocável e hidrossolúvel de alumínio no solo, bem como relações que podem servir como índice de toxidez deste elemento. Estes resultados encontram-se na Tabela 9.

Tabela 9. Equações de regressão e coeficientes de correlação entre as variáveis produção de matéria seca e formas de alumínio, para os solos em conjunto.

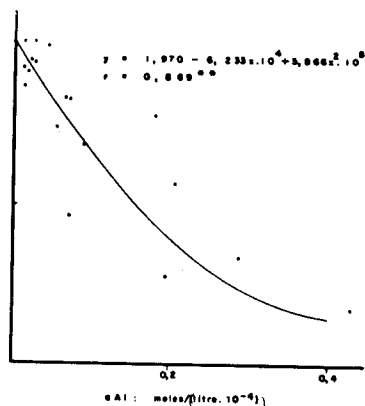
Y	X	Equação	Correlação
Produção	Al trocável	$Y = 1,954 - 0,405X + 0,025X^2$	$R = 0,931^{**}$
Produção	Al.100/C.T.C.	$Y = 1,927 - 0,100X + 0,001X^2$	$R = 0,816^{**}$
Produção	Al.100/(Al+Ca+Mg+K+Na)	$Y = 1,902 - 0,033X + 0,0002X^2$	$R = 0,941^{**}$
Produção	Al/(Ca+Mg)	$Y = 1,809 - 1,206X + 0,131X^2$	$R = 0,918^{**}$
Produção	Al hidrossolúvel	$Y = 1,600 - 47,723X + 0,304X^2 \cdot 10^3$	$R = 0,864^{**}$
Produção	aAl	$Y = 1,97 - 6,233X \cdot 10^4 + 5,866X^2 \cdot 10^8$	$R = 0,889^{**}$
Produção	aAl/(aCa+aMg+aK+aNa)	$Y = 1,83 - 12,134X + 6,871X^2$	$R = 0,672^{**}$

Observou-se o maior índice de correlação quando se considerou a relação Al.100/(Al+Ca+Mg+K+Na) na forma trocável, havendo também boa correlação para as demais variáveis, notando-se que a atividade química do íon alumínio no extrato aquoso do solo pode ser um bom

Índice de toxidez, Figuras 5 e 6.



Al.100/(Al+Ca+Mg+K+Na)
 FIG. 5 - CORRELAÇÃO ENTRE A PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DA PARTE AÉREA DA PLANTA E Al.100/T.



Al : mg/litre.10⁻⁴)
 FIG. 6 - CORRELAÇÃO ENTRE PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DA PARTE AÉREA DA PLANTA E ATIVIDADE DO IÃO ALUMÍNIO NO EXTRATO AQUOSO DO SOLO.

O alto coeficiente de correlação entre alumínio trocável e produção mostra a grande influência deste elemento no desenvolvimento da planta, entretanto, levando-se em consideração os dados da Figura 1, assim como as correlações entre produção e as relações Al.100/(Al+Ca+Mg+K+Na) e Al/(Ca+Mg), pode-se inferir que a toxidez do alumínio, depende em grande parte, dos teores das bases existentes no solo.

CONCLUSÕES

Os resultados encontrados neste trabalho permitem as seguintes conclusões:

1. A toxidez de alumínio foi o principal fator limitante à produção de matéria seca da cevada.
2. As correlações encontradas indicam que a toxidez de alumínio depende dos teores das bases existentes no solo.
3. As relações Al.100/(Al+Ca+Mg+K+Na) trocáveis e Al/(Ca+Mg) trocáveis, assim como a atividade química do alumínio no extrato aquoso do solo e alumínio trocável, apresentaram boa correlação com o peso de raízes e peso da parte aérea da planta, podendo ser usadas como índices de toxidez do alumínio do solo.
4. Os altos coeficientes das correlações entre produção de raízes ou de matéria seca, e os índices de toxidez de alumínio no solo, mostram ser conveniente o estudo da determinação da necessidade de calagem com base na relação entre o teor de alumínio e teores das bases do solo.

LITERATURA CITADA

1. ABRUÑA, F. & VICENT, J. - Refinement of a quantitative method for determining the lime requirements. *J. Agric., Porto Rico*, 39:65-76, 1965.
2. ADAMS, F. & LUND, Z. F. - Effects of chemical activity of soil solution aluminum on cotton root penetration for acid subsoils. *Soil. Sci.*, 101(3):193-8, 1966.
3. ALLISON, L. E. - Organic carbon. In: BLACK, C. A., ed. *Methods of soil analysis: part 2 - chemical and microbiological properties*. Madison, Wis., American Society of Agronomy, 1965, p. 1367-78.
4. ARNON, D. I. *et alii* - Hydrogen ion concentration in relation to absorption of inorganic nutrients by higher plants. *Plant Physiol.*, 17:515-24, 1942.
5. BLACK, C. A. - *Soil-plant relationships*. 2 ed. New York, John Wiley & Sons, 1967, 792 p.
6. BOWER, C. A. & WILCOX, L. V. - Soluble salts. In: BLACK, C. A. ed. *Methods of soil analysis. part 2 - chemical and microbiological properties*. Madison, Wis., American Society of Agronomy, 1965, p. 933-51.
7. BRASIL - Ministério da Agricultura. Dep. Nac. Pesq. Agropec. Div. Pesq. Pedol. *Levantamento de reconhecimento de solos do Estado do Rio Grande do Sul*. Recife, 1973, 431 p. (Bol. 30).
8. EVANS, C. E. & KAMPRATH, E. J. - Lime response as related to percent aluminum saturation, solution aluminum, and organic matter content. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.*, 34(6): 893-6, 1970.
9. FASSBENDER, H. W. - *Química de suelos - Con énfase en suelos de América Latina*. Turrialba, C. Rica, IICA. 1975, 398 p.
10. FOY, C. D. & BROWN, J. C. - Toxic factors in acid Soil. Characterization of aluminum toxicity in cotton. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 27(4):403-7, 1963.
11. JACKON, W. A. - Physiological effects of soil acidity. In: PEARSON, R. W. & ADAMS, F., ed. *Soil acidity and liming*. Madison, Wis. American Society of Agronomy, 1967, Cap. 2, p. 43-124. (Agronomy Monograph, 12).
12. LANCE, J. C. & PEARSON, R. W. - Effects of low concentration of aluminum on growth and water and nutrient uptake by cotton roots. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 33(1):95-8, 1969.
13. LEE, C. R. - Influence of aluminum on plant growth and mine