

# EFEITO DE NÍVEIS DE FÓSFORO E ALUMÍNIO SOBRE OS SISTEMAS AÉREO E RADICULAR DO TRIGO<sup>1</sup>

ANA CHRISTINA ALBUQUERQUE ZANATTA<sup>2</sup> e CLÁUDIO MÁRIO MUNDSTOCK<sup>3</sup>

**RESUMO** - Os genótipos de trigo (*Triticum aestivum* L.) CNT 10 e PAT 7392 foram cultivados em baldes com solo Latossolo Vermelho Escuro Álico, textura argilosa, sob duas concentrações de fósforo (40 e 160 ppm de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e quatro níveis de calcário (zero, 1/4, 1/2 e 1 SMP). As plantas foram mantidas em casa de vegetação e câmara de crescimento com temperatura, luz e umidade controladas. Na maturação, foram avaliados o comprimento e o peso seco das raízes, além do peso da parte aérea das plantas. Observou-se que a presença de alumínio tóxico ou baixa concentração de fósforo no solo afetou os processos de crescimento e diferenciação, reduzindo o comprimento das raízes e a produção de matéria seca e elevando a relação parte aérea/sistema radicular. Houve um efeito de compensação entre os dois elementos, com os efeitos se fazendo sentir mais acentuadamente sobre as raízes e CNT 10 caracterizando um germoplasma mais tolerante ao alumínio tóxico.

Termos para indexação: *Triticum aestivum*, matéria seca total, parte aérea/raízes, genótipos.

## EFFECTS OF PHOSPHORUS AND ALUMINUM LEVELS ON SHOOT AND ROOT SYSTEMS OF WHEAT

**ABSTRACT** - Two wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes (CNT 10 and PAT 7392) were grown under two phosphorus levels (40 and 160 ppm P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) and four lime levels (zero, 1/4, 1/2 and 1 SMP). Plants were grown in greenhouse and phytotron with controlled temperature, light and umidity. Both root dry weight and length were evaluated and also the shoot weight. Aluminum or low phosphorus affected growth and differentiation, reducing root length and dry matter production and increasing the shoot:root ratio. A compensation effect between Al and P was observed and its effects were stronger on the roots and CNT 10 characterizing a germplasm more tolerant to Al than PAT 7392.

Index terms: *Triticum aestivum*, total dry matter, shoot:root ratio, root length, genotypes.

## INTRODUÇÃO

Existe significativa variabilidade na capacidade dos vegetais utilizarem eficientemente o fósforo (Clark & Brown 1974, McLachlan 1976, Clark 1983), bem como de se desenvolverem em condições de toxidez mineral (Rees & Sidrak 1961, Andrade 1976). Inúmeras são as evidências indicando que a tolerância ao alumínio pode estar ligada à capacidade de utilizar o P (Foy & Brown 1964, MacLeod & Jackson 1967). A bibliografia indica

a ação deste nutriente não apenas no desenvolvimento e produção vegetal (Saggar et al. 1974, Kaishtha & Marwaha 1977, Rahman & Wilson 1977, Greenwood et al. 1980), mas também no sentido de reduzir a manifestação dos sintomas de toxidez do Al (Vidor & Freire 1972, Foy et al. 1974). Para Jones & Fox (1978), o efeito benéfico da aplicação de fosfato em solos ácidos resulta de um efeito corretivo (redução de efeito tóxico do Al) associado ao nutricional (suprimento de P para o desenvolvimento da planta).

A toxidez do Al e a utilização do P são dois problemas difíceis de separar, pela afinidade química entre os elementos, sendo necessário considerar as interações Al - P ao avaliar germoplasma tolerante a ambos os problemas (Salinas & Sanchez 1976). Em genótipos sensíveis ao Al, a resposta ao P depende também da calagem efetuada (Long et al. 1973), cujo uso aumentaria a disponibilidade do nutriente no solo. O P absorvido pelas plantas atua diretamente no metabolismo vegetal como fonte de energia, sendo que, na

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 17 de novembro de 1987. Parte do trabalho apresentado pela autora para obtenção do grau de Mestre em Agronomia, área de concentração Fitotecnia, Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), CEP 90000 Porto Alegre, RS.

<sup>2</sup> Enga. - Agr., M.Sc., EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Trigo (CNPT), Caixa Postal 569, CEP 99001 Passo Fundo, RS.

<sup>3</sup> Eng. - Agr., Ph.D., Prof. - Tit., UFRGS/Dep. de Fitot., Fac. de Agron. Bolsista do Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq).

deficiência de fosfato, os processos de crescimento e diferenciação são limitados pela taxa com que este pode ser transportado até os pontos de desenvolvimento (Verhoeven & Engelbrecht 1979).

O Al reduz o desenvolvimento da planta como um todo (Randall & Vose 1963), ou mais acentuadamente em um ou outro sistema (Brauner & Saruge 1980b), na medida em que interfere não só na alongação radicular e divisões celulares (Matsumoto & Morimura 1980) provoca o decréscimo na taxa de respiração das raízes e afeta as reações enzimáticas que governam a deposição de polisacarídeos nas paredes celulares (Foy 1976), como também mostra um efeito inibidor sobre o tubo polínico (Konishi & Miyamoto 1983). Ao mesmo tempo, interfere na absorção, transporte e utilização de muitos elementos, dentre os quais o P (McCormick & Borden 1972, McCormick 1974, Andrew & Berg 1973, Fleming 1983), de modo que o efeito do elemento se faz sentir sobre os sistemas aéreo e radicular também por um efeito indireto (Clarkson 1965).

O desenvolvimento da parte aérea e das raízes dos vegetais é controlado por um sistema genético coordenado, característico de cada genótipo (Monyo & Whittington 1970). A variação intraspecífica observada no desenvolvimento dos dois sistemas deve-se não apenas ao potencial genético do material, mas também aos efeitos do ambiente (Davidson 1969a, Davidson 1969b, Brouwer 1977). A relação entre o peso dos dois sistemas é similar sob idênticas condições ambientais, podendo ocorrer alterações na medida em que diferentes microambientes afetam sua atividade. As influências se manifestam de tal sorte que geralmente a reação será maior naquela parte do organismo que está diretamente sujeita à alteração (Mac Key 1973).

Historicamente, o suprimento de P e a correção da acidez do solo têm sido associados com o crescimento e a diferenciação das raízes (Clarkson 1966, Fowler & Gusta 1982). Todavia, para Mitchell (1975), o sistema mais próximo do fator limitante tem seu crescimento relativo favorecido. O uso do P em plantas com deficiência do nutriente acarretaria uma produção de elementos da parte aérea relativamente maior que a de raiz absorvente (Black 1968).

Os solos onde se desenvolve grande parte da

triticultura nacional caracterizam-se por serem ácidos, apresentando altos teores de Al tóxico. Além dos problemas de toxidez ao Al em solos ácidos tropicais, ocorre também a deficiência em P, fator crítico para o desenvolvimento do trigo.

Partindo do pressuposto de que a análise dos efeitos ambientais pode contribuir para o conhecimento da longa cadeia de processos interdependentes envolvendo o ambiente e o vegetal, foi realizado este trabalho, onde se procurou determinar como as alterações no nível de Al e P no solo, problemas comuns à cultura do trigo, afetariam a produção de matéria seca nos sistemas aéreo e radicular de dois genótipos nacionais.

## MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi conduzido durante o ano de 1983, em Passo Fundo, RS. O plantio foi efetuado no início do mês de julho, com as plantas sendo conduzidas inicialmente em casa de vegetação. A partir do período de alongação, foram mantidas em câmara de crescimento, com temperatura e luz controladas, até haverem alcançado o estágio de grão em massa na planta-mãe. Neste estágio, retornaram para casa de vegetação, ali permanecendo até a colheita, no início do mês de dezembro.

Foram ensaiadas as cultivares de trigo PAT 7392 (J 12326-67/IAS 55) e CNT 10 (IAS-C 46-Curitiba/IAS 49-Pioneiro//IAS-C 46-Curitiba/Tokay 66). O solo empregado (Latossolo Vermelho Escuro Álico, textura argilosa), caracteriza-se por ser ácido, com elevado teor de AL trocável e forte limitação da fertilidade natural (Lemos et al. 1967).

O solo foi coletado a uma profundidade de 0-20 cm. Após a secagem em casa de vegetação (7,2% de umidade residual), o mesmo foi homogeneizado, para ser, então, efetuada a análise química para determinação do PH em água (4,8), Al trocável (3,6 me/100 g de solo), necessidade de calcário para atingir pH 6,0 (10,6 t/ha), P disponível (3,0 ppm), disponibilidade de K (45 ppm), teor de matéria orgânica (5,0%) e de Ca + Mg trocáveis (2,3 me/100 g de solo).

A correção do teor de Al trocável pela redução da acidez foi efetuada em volumes de solo correspondentes a quatro vasos de três litros, empregando uma mistura de  $3\text{CaCO}_3:1\text{MgCO}_3$  aplicada em quatro níveis, segundo a necessidade de calcário previamente determinada pelo método SMP (Shoemaker-Pratt-McLean) modificado por Kussov (Mielniczuk et al. 1979): zero SMP (ausência de calcário), 1/4 SMP (um quarto da recomendação - 2,6 t/ha de calcário), 1/2 SMP (metade da recomendação - 5,3 t/ha de calcário) e 1 SMP (toda a recomendação - 10,6 t/ha de calcário).

Após a mistura manual do calcário com o solo, foi adicionada água destilada desmineralizada, até 60% da capacidade de campo, quantidade suficiente para ocorrerem as reações de neutralização (Siqueira 1972). Sema-

nalmente, a mistura foi revolvida a fim de evitar condições de anaerobiose, e acompanhada a marcha da neutralização através de análises quinzenais do pH em água.

Dos níveis de calcário empregados, após a estabilização do pH ocorrida em noventa dias, resultaram solos considerados como muito ácidos (0 SMP - pH 4,2), ácidos (1/4 SMP - pH 4,6), medianamente ácidos (1/2 SMP - pH 5,1) e levemente ácidos (1 SMP - pH 6,0) (Manual ... 1981).

A seguir foi efetuado, de forma individual para cada vaso, o tratamento de P com duas doses de superfosfato triplo (46% de  $P_2O_5$ ) triturado em gral até estado de pó, perfazendo a aplicação de 40 a 160 ppm de  $P_2O_5$ , respectivamente 80 e 320 kg/ha de  $P_2O_5$ . Vinte dias após, o solo foi colocado nos vasos (2.900 g de solo seco). Em cada vaso, foram adicionados 5 ppm de enxofre de uma solução heterogênea e também 50 ml de uma solução nutritiva contendo 50 ppm de N (uréia); 100 ppm de K (KCl); 1,5 ppm de Zn ( $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ); 1,5 ppm de Cu ( $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ); 1 ppm de B ( $H_3BO_3$ ); e 0,5 ppm de Mo [ $(NH_4)_6 Mo O_{24} \cdot 4H_2O$ ].

Em função das concentrações de P empregadas de forma associada à calagem (Tabela 1), após o período de cultivo das plantas, as situações de acidez do solo caracterizaram os mesmos padrões evidenciados antes da semeadura. Os teores disponíveis de P corresponderam a valores tidos como baixos (3,1 - 6,0 ppm), limitando o desempenho da cultura, e próximos do crítico (9,0 ppm) - níveis considerados satisfatórios; valores inferiores a 9,0 ppm são limitantes ao máximo desenvolvimento do trigo (Manual ... 1981).

De cada um dos genótipos, empregou-se semente proveniente da multiplicação de uma única espiga, a qual, por sua vez, adveio de uma planta anteriormente selecionada para estabilidade meiótica. Com isto, foi assegurada a semelhança genética das plantas de uma mesma cultivar.

Na semeadura, foram empregadas cinco sementes pré-germinadas, havendo sido efetuado o desbaste oito dias após, permanecendo quatro plantas por vaso.

Visando também a maior uniformidade ambiental, o controle hídrico dos vasos foi efetuado diariamente, sendo empregada água destilada desmineralizada, até perto de 70-80% da capacidade de campo do solo. A temperatura e umidade relativa do ar em casa de vegetação situaram-se entre 5°C e 30°C e 50% e 95% até a alongação, e entre 17°C e 35°C e 90% após o estágio de grão em massa. Na câmara de crescimento, utilizou-se um fotoperíodo de doze horas, com temperatura de 20°C durante o dia e 14°C à noite, e umidade relativa do ar ao redor de 80%.

Em cada vaso, as plantas foram individualizadas por um anel de lã colorida. Em três delas, foram realizadas coletas de espiga para posterior exame de grão-de-pólen binucleado e análise de metáfase, com a quarta ficando reservada para exames fenológicos.

Por ocasião da maturação, foi efetuado o corte das espigas (logo abaixo do colar) e dos colmos (imediatamente acima do solo), os quais foram guardados em câmara (12-15°C e 25-30% UR) até serem trabalhados. A determinação do peso da parte aérea do material ensaiado resultou do somatório do peso da palha da espiga, do colmo e das folhas, após a secagem em estufa regulada para 55°C durante cinco dias, acrescido do peso dos grãos. Já a matéria seca total foi obtida a partir do peso da parte aérea da planta-mãe somado ao peso seco das raízes das quatro plantas do vaso, o que evidencia o caráter relativo das medidas obtidas neste trabalho.

As raízes foram lavadas e mantidas sob congelamento até o início das avaliações. O comprimento e o peso seco foram determinados sobre as raízes das quatro plantas, empregando-se o método de Tennant (1975) para a primeira medida. A seguir, as mesmas foram secadas em estufa (55°C) até atingirem estabilidade de peso.

A relação parte aérea/sistema radicular foi determinada pela divisão entre o peso do sistema aéreo da planta-mãe da planta reservada exclusivamente para observações fenológicas, e o peso seco das raízes das quatro plantas de cada vaso, caracterizando ser esta, então, uma medida essencialmente relativa, servindo para comparação apenas dos tratamentos empregados neste trabalho, sob estas circunstâncias.

TABELA 1. Características químicas de solo Passo Fundo, coletado na sede do IBDF e submetido a dois genótipos de trigo, quatro níveis de calcário (2/3  $CaCO_3$  + 1/3  $MgCO_3$ ) e duas concentrações de P (superfosfato triplo), na média de quatro repetições. CNPT/EMBRAPA, Passo Fundo, 1983.

Níveis de calcário (SMP)	Concentração de fósforo (ppm $P_2O_5$ )	pH em $H_2O$ (1:1)	Al trocável (me/100 g solo)	Ca + Mg trocável (me/100 g solo)	P disponível (ppm)
0	40	4,02	3,42	4,03	5,0
	160	4,2	3,17	3,7	9,4
1/4	40	4,45	1,5	6,04	4,2
	160	4,65	1,51	5,96	7,2
1/2	40	5,0	0,40	7,95	2,8
	160	5,0	0,39	8,82	8,4
	40	5,8	0,0	12,14	3,8
1	160	5,8	0,0	13,44	10,1

O trabalho seguiu um delineamento experimental completamente casualizado, com os tratamentos de calcário, P e cultivares arranjados em fatorial  $4 \times 2 \times 2$ , utilizando quatro repetições. Para homogeneizar as variações decorrentes da localização dos vasos, foi efetuado o rodízio diário dos mesmos.

Os resultados alcançados foram submetidos à análise de variância, com o significado dos efeitos simples e interações dos fatores avaliados pelo teste F a 1% e 5%. Já as diferenças entre as médias foram analisadas pelo teste de Duncan ao nível de 5%. Para efeito de análise, os dados envolvendo contagem e percentagem foram transformados por raiz quadrada e arcoseno da raiz quadrada, respectivamente.

## RESULTADOS

Os caracteres enfocados neste trabalho foram afetados pelos tratamentos ensaiados (cultivares, adubação fosfatada e calagem).

### Materia seca total

As diferenças verificadas no peso da matéria seca total da planta-mãe do material resultaram das interações entre as cultivares e a calagem (Fig. 1) e também entre a adubação fosfatada e a calagem (Fig. 2).

Na Fig. 1, evidencia-se que CNT 10 foi superior a PAT 7392 quando não aplicada toda a recomendação de calcário. Já com o emprego de 1 SMP de calcário, os dois genótipos não diferiram significativamente em relação ao caráter enfocados. Ao mesmo tempo, níveis crescentes de calcário determinaram aumentos significativos no peso da matéria seca de ambas as cultivares. Quanto à interação entre adubação fosfatada e calagem, observa-se (Figura 2) que 160 ppm de  $P_2O_5$  conferiram maior peso seco às plantas, em todos os níveis de calcário. Por outro lado, enquanto com 160 ppm de  $P_2O_5$  os aumentos na dose de calcário foram acompanhados de acréscimo na matéria seca das plantas, com 40 ppm tal só se verificou na ausência ou aplicação de apenas 1/4 SMP de calcário. Com calagem nos níveis 1/2 e 1 SMP, não houve alteração no peso seco. Da Figura 2 extrai-se também que a matéria seca total das plantas, na ausência de calagem, quando empregada a maior concentração de P, foi a mesma de quando utilizado 1/4 ou mesmo 1/2 SMP de calcário em presença de 40 ppm de  $P_2O_5$ .

### Comprimento das raízes

O comprimento das raízes do germoplasma estudado acompanhou o aumento na concentração de  $P_2O_5$ , independentemente da cultivar e da calagem. Já o efeito desta última dependeu do genótipo utilizado (Fig. 3): na ausência de calagem, CNT 10 mostrou raízes mais compridas que PAT 7392, mas, quando a calagem foi empregada, as duas cultivares não se diferenciaram. Ao mesmo tempo, foi com zero e 1 SMP que o material atingiu o menor e maior comprimento de raízes, respectivamente. Por outro lado, os valores atingidos por CNT 10 na ausência de calcário foram semelhantes aos obtidos por PAT 7392 com 1/4 e 1/2 SMP.

### Peso seco das raízes

O peso seco das raízes de CNT 10 foi superior ao mostrado por PAT 7392 em qualquer das combinações de P e calcário empregadas. Outrosim, foi significativo o efeito da interação entre adubação fosfatada e calagem sobre o caráter em questão. O peso das raízes aumentou em ambas as concentrações de P na medida em que aumentou também o nível de calcário (Fig. 4). Porém, comparando concentrações de  $P_2O_5$  em cada nível de calcário, percebe-se que o emprego de 160 ppm na presença de calagem proporcionaram raízes com maior peso seco, sendo que o aumento na concentração de  $P_2O_5$  não chegou a afetar significativamente o caráter em questão quando não foi efetuada calagem. Ao mesmo tempo, o peso de raiz observado no material na ausência de calagem com 160 ppm de  $P_2O_5$  foi semelhante ao obtido com 40 ppm de  $P_2O_5$  em qualquer nível de calcário.

### Peso da parte aérea

O peso da parte aérea da planta-mãe dos dois genótipos foi afetado pelos três fatores em estudo (cultivares, adubação fosfatada e calagem), os quais interagiram na sua ação sobre o caráter (Fig. 5). Observa-se, na Fig. 5, que, quando do emprego da menor concentração de P, CNT 10 superou PAT 7392 na ausência de calagem e doses intermediárias de calcário, não se diferenciando no nível máximo. Porém, com 160 ppm de  $P_2O_5$ ,

CNT 10 foi superior a PAT 7392 em zero e 1/4 ppm de calcário, com a situação chegando a se inverter no nível máximo do produto. Por outro lado, o aumento na concentração de P propiciou maior peso da parte aérea do material, apesar de não terem sido significativas, as diferenças encontradas para PAT 7392 em zero e 1/4 SMP de calcário, e em 1/2 SMP para CNT 10.

Ao se avaliar o efeito da calagem, percebe-se que CNT 10 não foi afetado por ela quando

utilizada a maior concentração de P, com o peso da parte aérea se mantendo em valores elevados. Todavia, com 40 ppm de  $P_2O_5$ , a presença de calcário elevou o caráter em questão, com os valores obtidos se mantendo nas diferentes doses aplicadas. Já em PAT 7392, independentemente do teor de P, aumentos no nível de calcário foram seguidos de acréscimos no peso do sistema aéreo da cultivar.

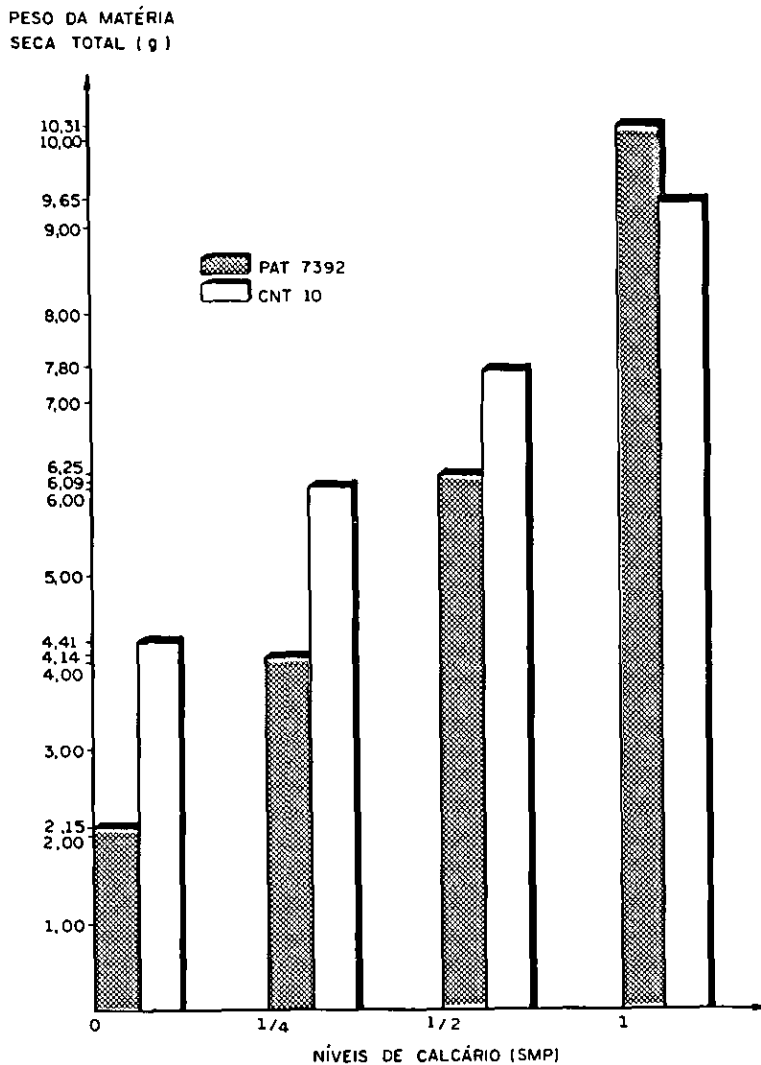


FIG. 1. Efeito da calagem sobre a matéria seca total da planta-mãe de duas cultivares de trigo, na média de duas doses de fósforo e quatro repetições. CNPTrigo, Passo Fundo, RS. 1984.

PESO DA MATÉRIA  
SECA TOTAL (g)

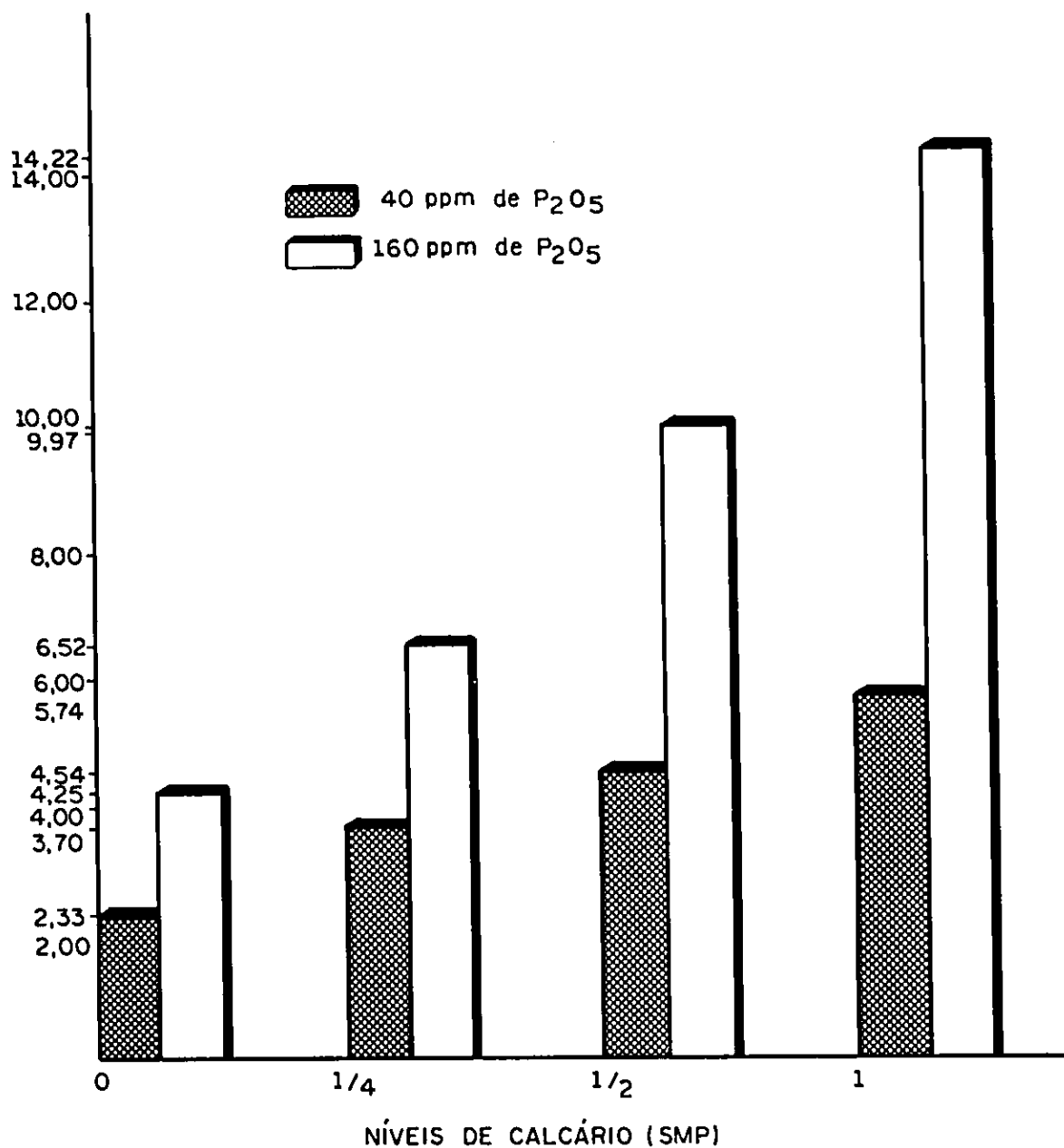


FIG. 2. Efeito da calagem e da adubação fosfatada sobre a matéria seca total da planta-mãe, na média de duas cultivares de trigo e quatro repetições. CNPTrigo, Passo Fundo, RS. 1984.

**Relação parte aérea/sistema radicular**

Em face dos tratamentos ensaiados, PAT 7392 e CNT 10 não mostraram diferença quanto à relação entre o peso da parte aérea e o peso seco do sistema radicular. O caráter em questão foi afetado, outrossim, pela interação entre teores de P e níveis de calcário. A relação obtida não se alterou pela utilização de maior concentração

de P na ausência de calagem, ou mesmo pelo uso de calcário quando da menor adubação fosfatada. Por outro lado, na presença de calcário, o aumento na concentração de  $P_2O_5$  levou a uma redução na relação parte aérea/sistema radicular; e o efeito da calagem, também reduzindo esta relação, só foi significativo quando empregada a maior concentração de P (Fig. 6).

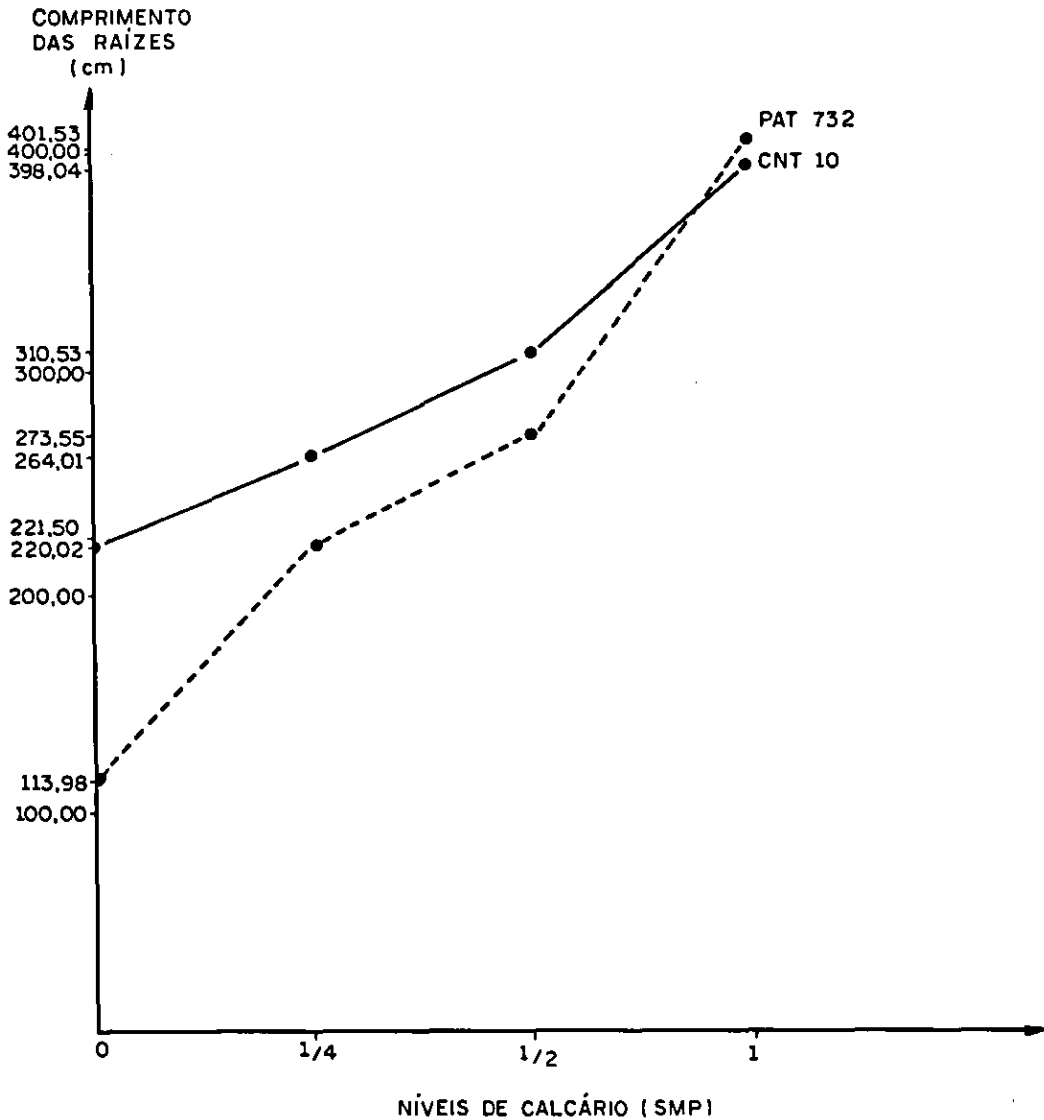


FIG. 3. Efeito da calagem sobre o comprimento das raízes de duas cultivares de trigo, na média de duas concentrações de fósforo e quatro repetições. CNPTrigo, Passo Fundo, RS. 1984.

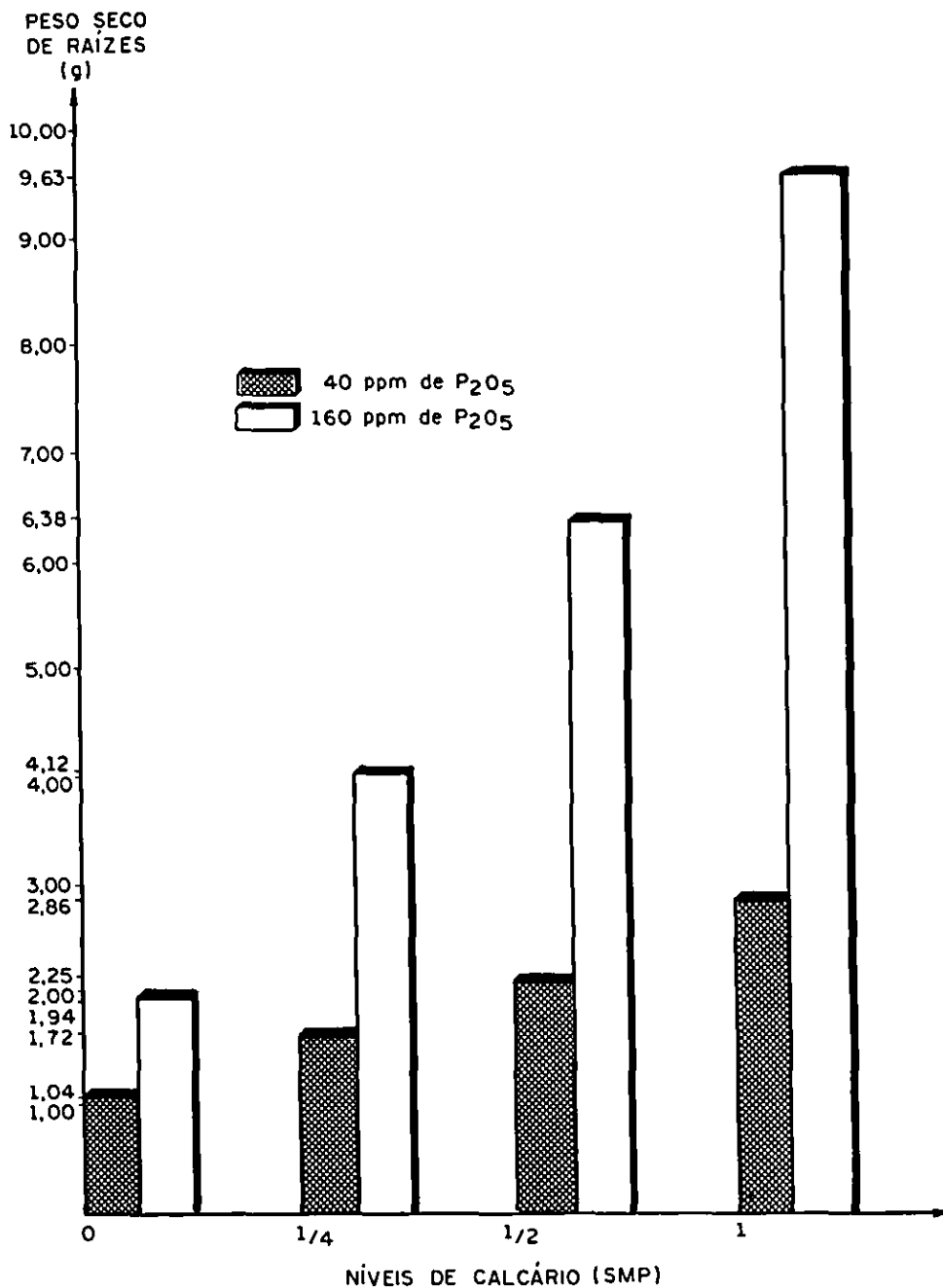


FIG. 4. Efeito da calagem e adubação fosfatada sobre o peso seco de raízes, na média de duas cultivares de trigo e quatro repetições. CNPTrigo, Passo Fundo, RS. 1984.



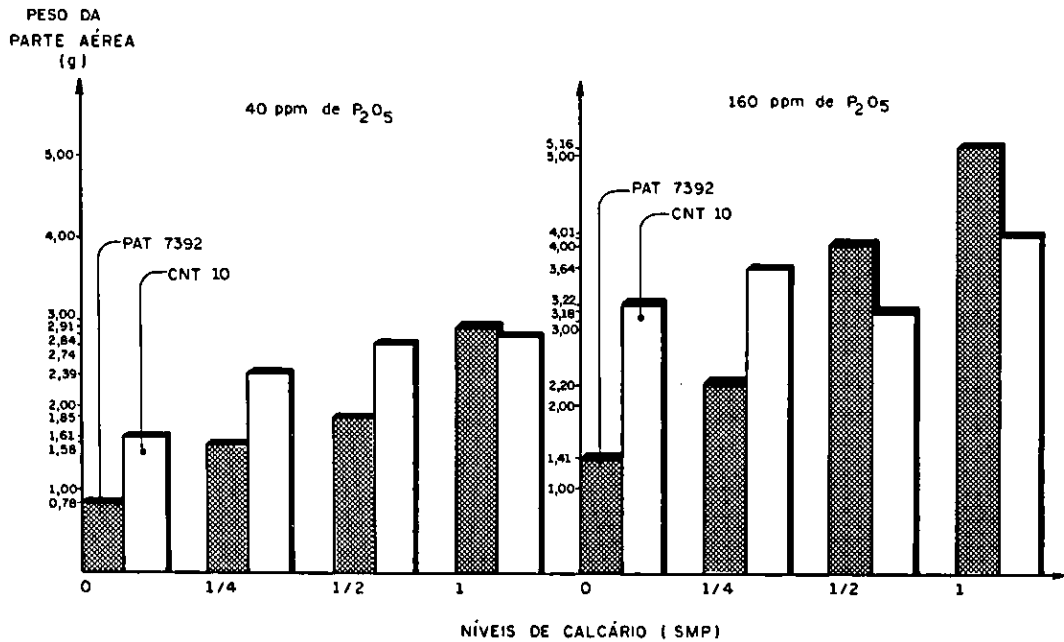


FIG. 5. Peso da parte aérea da planta-mãe de duas cultivares de trigo submetidas a quatro níveis de calcário e duas concentrações de fósforo, na média de quatro repetições. CNPTrigo, Passo Fundo, RS. 1984.

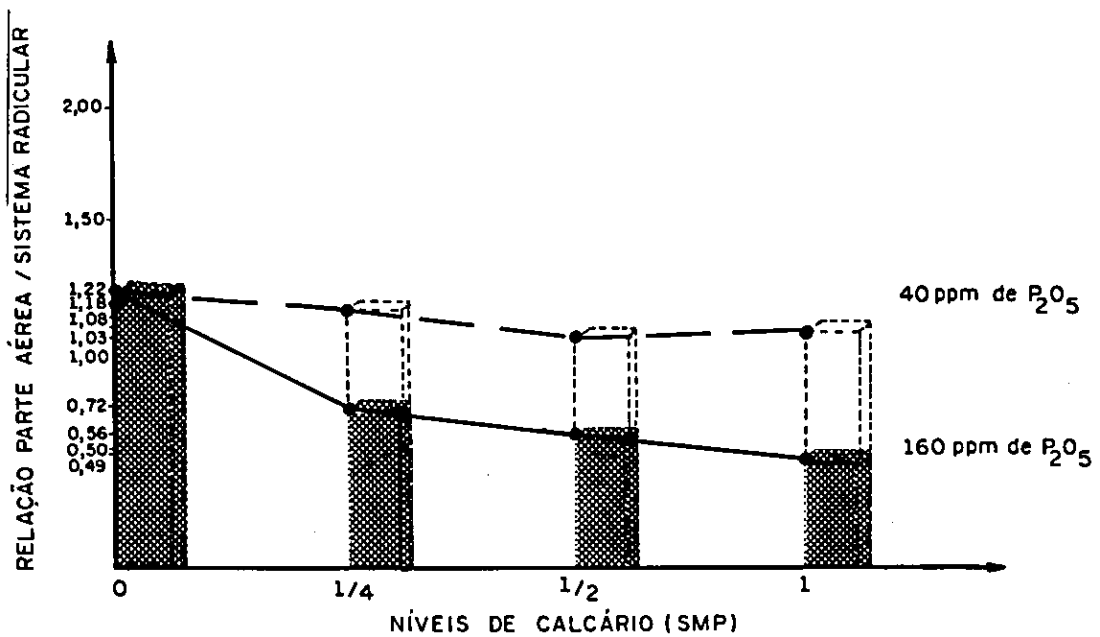


FIG. 6. Efeito da calagem e da adubação fosfatada sobre a relação parte aérea/sistema radicular, na média de duas cultivares de trigo e quatro repetições. CNPTrigo, Passo Fundo, RS. 1984.

## DISCUSSÃO

Um número bastante relevante de estudos apontam a ação do P e da calagem no aumento do peso seco das plantas (Awad et al. 1976, Mugwira et al. 1980, Bouton et al. 1982), à semelhança do observado neste trabalho, onde os genótipos utilizados responderam ao aumento nos níveis de calcário, bem como na adubação fosfatada, independentemente da calagem, mostrando uma maior matéria seca.

A extrema importância da combinação de calcário e adubo fosfatado ficou demonstrada pelas variações observadas no peso seco das raízes: os acréscimos observados com o emprego da calagem foram mais acentuados e de maior magnitude, quando existia no solo maior concentração de fosfato. Assim, apesar de CNT 10 haver mostrado valores superiores aos de PAT 7392, independentemente do nível de calagem empregada, este maior peso foi mais evidente quando empregada maior adubação fosfatada: variou de 1,2 g para 6,6 g em PAT 7392 e de 2,7 g para 7,1 g em CNT 10. Além de neutralizar níveis tóxicos de Al, a calagem reduz também a adsorção do P (Sims & Ellis 1983). Em *Avena sativa* L. e *Pennisetum typhoides* (Burm. f.), sensíveis ao Al, 83-90% da variabilidade na produção detectada por Long et al. (1973) foi devida ao calcário. P e K, com o P sendo o fator mais crítico, e a sua resposta dependendo da calagem (e também do nível de K). Igualmente em outras espécies foi observado haver grande interação entre a calagem e a aplicação de P (Pinkerton & Simpson 1983).

Os resultados obtidos com o aumento na concentração de fosfato mostraram que este elemento promove o maior desenvolvimento das plantas pelo seu efeito nutricional, ao mesmo tempo que, num efeito corretivo, desempenha um papel semelhante ao do calcário na correção dos sintomas de fitotoxidez do Al (Vidor & Freire 1972, Mendez & Kamprath 1978, Smyth & Sanchez 1980). Esta situação corresponde ao processo de aumento em um fator em detrimento da quantidade necessária de outro, de modo a manter uma mesma resposta. A isto, Dumenil (1961) referiu como um efeito de "reposição" ou "substituição" de um pelo ou-

tro, não ocorrendo ao nível de substituição fisiológica.

Outrossim, as respostas de PAT 7392 para peso da parte aérea denotam não apenas a importância da combinação calcário-P para a cultivar, mas também sua maior responsividade aos fertilizantes, sugerindo o germoplasma com eficiente resposta aos fertilizantes apontado por Clarkson & Hanson (1980): aquele capaz de absorver grandes quantidades de nutrientes em solos ricos e convertê-los em produção, superando o platô alcançado por outros genótipos.

As variações no peso da matéria seca dos dois genótipos ensaiados foram reflexo das modificações na parte aérea e sistema radicular das plantas, cuja relação se alterou em função da concentração de P e do nível de calcário utilizado. Quando a adubação fosfatada foi aquém da recomendada na análise do solo, o uso de calcário não modificou a relação entre o peso da parte aérea e das raízes, à semelhança da falta de resposta ao P verificada na ausência de calagem. Na Fig. 7, onde foi somado o peso da parte aérea da planta-mãe ao peso das raízes das quatro plantas do vaso, dividido por quatro, percebe-se que a contribuição do sistema aéreo para o peso da matéria seca total quase não se modificou em PAT 7392 e CNT 10, uma vez que com deficiência de nutrientes o desenvolvimento da parte aérea se faz mais lento, e relativamente mais carboidratos são distribuídos para as raízes (Mitchell 1975, Hunt 1975). Mas, com o uso da maior adubação fosfatada, a aplicação de calcário levou a uma menor proporção de sistema aéreo, a qual diminuiu ainda mais com o aumento no nível de calcário, praticamente dobrando a participação das raízes no peso da planta em CNT 10 (Figura 7). Ao contrário do verificado em termos absolutos, nas condições mais favoráveis para o desenvolvimento da planta, foram observadas as menores proporções de parte aérea. Este comportamento vem ao encontro da idéia de que, proporcionalmente, as raízes foram os elementos que maior contribuição deram para a alteração da relação parte aérea/sistema radicular ocorrida com a aplicação de calcário e a deficiência em P corrigida. Clarkson (1966) também verificou maior efeito da redução no teor de alumínio sobre o sistema radicu-

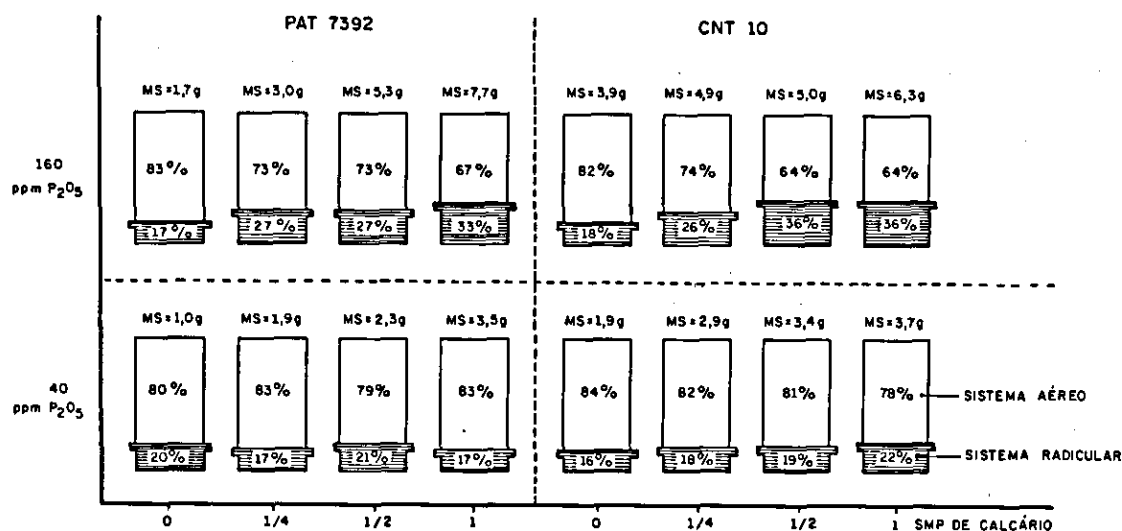


FIG. 7. Distribuição da matéria seca (MS) em dois genótipos de trigo submetidos a níveis de fósforo e calcário. CNPTrigo, Passo Fundo, RS, 1984.

lar: determinou que as raízes de plantas de trigo tratadas com Al foram dez vezes menores, enquanto o sistema aéreo foi reduzido em três vezes.

Todavia, em inúmeras espécies, incluso o próprio trigo e também a cevada, investigadores evidenciaram ser o efeito nocivo da toxidez de Al mais intenso na parte aérea que nas raízes (Foy et al. 1965, Svoboda 1976, Fernandes et al. 1984). Tal fato talvez possa ser atribuído à variabilidade de mecanismos de tolerância ao Al tóxico (Dodge & Hiatt 1972, Andrew et al. 1973, Foy 1977, Howeler & Cadavid 1976, Mugwira et al. 1978) ou à diferente capacidade do material de suportar maior concentração do Al nas raízes ou sistema aéreo (Mugwira et al. 1980).

Através da avaliação das respostas obtidas para os tratamentos envolvendo a aplicação de calcário, evidencia-se quão prejudicial é o Al para o desenvolvimento das raízes: (1) tanto o peso quanto o comprimento aumentaram com a redução deste elemento em qualquer nível de P ou genótipo; (2) unicamente na presença deste produto as duas cultivares passaram a mostrar comprimento de raiz semelhante; (3) enquanto havia Al trocável no solo, as plantas das duas cultivares não puderam expressar o máximo comprimento de seu sistema radicular; (4) a

correção da deficiência em P levou ao maior comprimento das raízes, independentemente da cultivar e do nível de calcário, a exemplo do que ocorreu na ausência de calagem. A este respeito, sabe-se que o Al, além de inibir as divisões celulares (Clarkson 1965), destrói as células como um todo (Hecht-Buchholz & Foy 1981) e limita o desenvolvimento radicular na medida em que reduz a plasticidade das paredes celulares, não permitindo o processo de alongação (Klimashevskii & Dedov 1975).

Igualmente o papel do P no desenvolvimento radicular ficou evidenciado: (1) na presença de calcário, o peso seco e comprimento das raízes foi maior com o incremento no adubo fosfatado; e (2) com menor concentração do nutriente, as respostas dos genótipos à calagem, em termos de peso seco, foram menos acentuadas. Assim, poderia estar envolvida também a capacidade das plantas de absorver, translocar e metabolizar o P (MacLeod & Jackson 1967, Foy 1976) e/ou Ca (Foy et al. 1974, 1978) e o Mg (Clark 1977), por exemplo; apesar de que também o P afetaria mais a raiz (Fowler & Gusta 1982) ou a parte aérea (Black 1968), dependendo do germoplasma.

Ao mesmo tempo, Foy et al. (1974) atribuí-

ram a maior variação nas respostas dos genótipos ao estresse de Al em termos de raiz do que da parte aérea não ao fato de, diretamente, o Al ser mais prejudicial às raízes, mas ao fato de o Ca e o P em solução nutritiva serem menos limitantes que em solo. A mesma associação poderia ser feita para o presente caso, onde o trabalho foi realizado em solo restrito, de modo que um sistema radicular menor já supriria as necessidades de desenvolvimento aéreo, conforme já colocado anteriormente. Deste modo, a redução observada na relação peso da parte aérea sistema radicular indica, fundamentalmente, que os efeitos da combinação de calagem e P se fizeram sentir em maior grau sobre o sistema radicular das plantas, por ser este o sistema mais próximo do fator limitante (Mitchell 1975).

Chung et al. (1982) apontam que, com deficiência em elementos nutricionais, as plantas aloca-riam maior proporção de seu peso total para as raízes a fim de manter o comprimento do sistema radicular às custas da aérea foliar. De fato, basicamente, o comprimento das raízes acompanhou a variação observada no peso seco das mesmas.

O porquê de o P promover o aumento verificado no comprimento do sistema radicular das plantas conduzidas em condições de pH ácido já foi extensivamente debatido na literatura. Poetsch (1958) verificou experimentalmente que o P, até certo ponto, assume o papel do calcário na correção da acidez do solo, na medida em que permite à planta tolerar alguma redução no desenvolvimento radicular (Sheppard & Floate 1984) e controla a concentração de Al solúvel no solo (Haynes 1984). Mas, as variações observadas no pH e teor de Al foram muito pequenas (Tabela 1) para se considerar o papel corretivo do P como de maior ou mesmo semelhante importância que seu papel nutritivo. O aumento na dose de P aplicado neste trabalho não alterou acentuadamente outras características químicas do solo que não o teor do próprio nutriente.

Relacionando as alterações ocorridas no sistema radicular das cultivares, verifica-se que aumentos no comprimento foram seguidos de acréscimos também no peso das raízes. Já o maior peso seco do sistema radicular de CNT 10 que de PAT 7392, apesar de os dois genótipos haverem mostra-

do comprimentos de raiz semelhantes quando efetuada a calagem, deveu-se talvez a uma maior deposição de polissacarídeos nas paredes celulares das raízes de CNT 10, ou mesmo ao maior comprimento médio das mesmas, e que não chegou a ser detectado pela análise estatística. Ao mesmo tempo, deve-se ter em mente também que nem todos os genótipos, por características próprias, mostram o mesmo tipo de resposta diante de alterações no ambiente (Brauner & Sarruge 1980a).

O comportamento do comprimento e peso seco do sistema radicular pode ser explicado também pelo fato de ser o engrossamento e encurtamento um dos principais, se não o primeiro efeito do Al tóxico sobre o sistema radicular de plantas sensíveis ao elemento (Long et al. 1973, Foy et al. 1978, Vilela 1982). Realmente, apesar do menor comprimento de raízes verificado com a mais baixa concentração de P, o peso delas não foi também significativamente diminuído, igualando-se ao verificado com maior concentração do elemento. A partir de constatações como esta, pode-se assumir que o maior peso seco do sistema radicular de genótipos tolerantes a solos ácidos, em relação ao de genótipos sensíveis, seria função realmente do maior comprimento das raízes.

Em vista de ocorrerem situações semelhantes às colocadas, em que alguns genótipos têm maior e outros menor comprimento de raiz, sem qualquer alteração no seu peso (Brauner & Sarruge 1980a), evidencia-se não ser o peso seco das raízes um método preciso na avaliação de diferentes tratamentos sobre a acidez do solo. Nem para avaliar o nível de tolerância de genótipos a esta condição, em função de que poderia refletir também uma extrema sensibilidade ao Al tóxico. Autores como Howeler & Cadavid (1976) e Lafever & Campbell (1978) indicam o comprimento como a mais útil ferramenta neste tipo de estudo. E, considerando a variabilidade genética para caracteres relativos ao sistema radicular propriamente dito (O' Brien 1979, Atale & Joshi 1981), seria mais aconselhável uma medida relativa deste comprimento, a qual daria realmente a extensão do efeito do Al (Lafever et al. 1977).

Outrossim, os resultados alcançados sugerem igualmente uma maior capacidade de CNT 10 se desenvolver em condições de acidez nociva no so-

lo, apesar de também haver sentido os efeitos danosos do Al tóxico.

O maior comprimento das raízes de CNT 10 que de PAT 7392 verificado na ausência de calagem, sugere uma maior tolerância de CNT 10 à acidez nociva. Mas, poderia indicar também a existência de variabilidade dentro da espécie para o sistema radicular propriamente dito devido ao potencial genético do material (Mac Key 1973, Lafever et al. 1977). Todavia, tal sugestão é refutada, pelo fato de que com o emprego de calcário não mais se percebeu esta diferença no comprimento radicular, a qual seria realmente devida à variabilidade genotípica na capacidade de desenvolvimento em solo com alta acidez nociva. Além disso, indicando ainda o melhor desempenho de CNT 10 em uma condição de estresse por Al, estaria o fato de que os valores de comprimento de raiz alcançados nesta cultivar, sem haver sido realizada qualquer correção na acidez do solo, foram semelhantes aos obtidos em PAT 7392 com 1/4 e até 1/2 SMP de Ca.

Expressivo é o número de trabalhos que apontam a existência de diferenças intra e interespecíficas para tolerância a solos com acidez nociva, dentre os quais os de Foy & Brown (1964) e Long et al. (1973). Além destes, podem ser citados também os de Foy et al. (1965) e Mugwira et al. (1981), que reportam ao germoplasma brasileiro como maior fonte de tolerância ao Al. Assim sendo, os trabalhos de melhoramento em trigo no País vêm sendo conduzidos de maneira a manter esta característica nas cultivares criadas.

### CONCLUSÕES

1. CNT 10 caracteriza um genótipo com maior tolerância ao Al tóxico que PAT 7392.
2. A ocorrência de Al tóxico e/ou baixa concentração de P no solo provoca redução nos processos de diferenciação e acúmulo de matéria seca na planta, quer por efeito direto da presença ou ausência dos elementos em questão, quer por efeito indireto do Al sobre o aproveitamento do P disponível no solo.
3. A presença de Al tóxico inibe a resposta à adubação fosfatada, assim como a deficiência

em P limita as respostas à calagem.

4. O Al tóxico ou a baixa concentração de P no solo reduz a produção de matéria seca na planta, com os efeitos se fazendo sentir de forma mais acentuada sobre o sistema radicular.

5. Sob condições de estresse de P ou Al, a planta distribui maior proporção de sua matéria seca em estruturas de parte aérea.

### REFERÊNCIAS

- ANDRADE, J.M.V. de. Identificação e seleção, em casa de vegetação, de genótipos de trigo (*Triticum aestivum* L.) tolerantes ao alumínio e ao manganês com modificações das características químicas do solo. Porto Alegre, UFRGS, 1976. 100p. Tese Mestrado.
- ANDREW, C.S.; JOHNSON, A.D. SANDLAND, R.L. Effect of aluminum on the growth and chemical composition of some tropical and temperate pasture legumes. *Aust. J. Agric. Res.* 24:325-9, 1973.
- ANDREW, C.S. & BERG, P.J. V. The influence of aluminum on phosphate adsorption by whole plants and excised roots of some pasture legumes. *Aust. J. Agric. Res.*, 24:341-51, 1973.
- ATALE, S.B. & JOSHI, M.G. Root and shoot development in triticale. *Indian J. Genet. Plant Breed.*, 41:41-5, 1981.
- AWAD, A.S.; EDWARDS, D.G. & MILHAM, P.J. Effect of pH and phosphate on soluble soil aluminum and on growth and composition of kikuyu grass. *Plant Soil*, 45:531-42, 1976.
- BLACK, A.L. Phosphorus. In: ————. *Soil plant relationships*. 2ed. New York, J. Wiley, 1968. Cap.5, 273-355.
- BOUTON, J.H.; HAMMEL, J.E. SUMNER, M.E. Alfafa, *Medicago sativa* L., in highly weathered, acid soils. IV. Root growth into acid subsoil of plants selected for acid tolerance. *Plant Soil*, 65:187-92, 1982.
- BRAUNER, J.L. & SARRUGE, J.R. Tolerância de cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.) ao alumínio e ao manganês. I. Determinação da tolerância ao alumínio. *An. Esc. Super. Agric. Luiz de Queiroz*, 37: 805-23, 1980a.
- BRAUNER, J.L. & SARRUGE, J.R. Tolerância de cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.) ao alumínio e ao manganês. III. Influência do alumínio e do grau de tolerância ao alumínio sobre as concentrações de P, Ca e Mg das partes aéreas. *An. Esc. Sup. Agric. Luiz de Queiroz*, 37:837-48, 1980b.
- BROUWER, R. Root functioning. In: LANDSBERG, J.J. & CUTTING, C.V. *Environmental effects on crop physiology*. London, Academic Press, 1977. Cap. 3, p.229-45.
- CHUNG, G.C.; ROWE, R.N. FIELD, R.J. Relationship between shoot and roots of cucumber plants under nutritional stress. *Ann. Bot.*, 50:859-61, 1982.

- CLARK, R.B. Effect of aluminum on growth and mineral elements of Al-tolerant and Al-intolerant corn. *Plant Soil*, 47:653-62, 1977
- CLARK, R.B. Plant genotype differences in the uptake, translocation, accumulation, and use of mineral elements required for plant growth. *Plant Soil*, 72: 175-96, 1983.
- CLARK, R.B. & BROWN, J.C. Differential phosphorus uptake by phosphorus stressed corn inbreds. *Crop Sci.*, 14:505-8, 1974.
- CLARKSON, D.T. The effect of aluminum and some other trivalent cations on cell division in the root apices of *Allium cepa*. *Ann. Bot.*, 29:309-15, 1965.
- CLARKSON, D.T. Effect of aluminum on the uptake and metabolism of phosphorus by barley seedlings. *Plant Physiol.*, 41:165-72, 1966.
- CLARKSON, D.T. & HANSON, J.B. The mineral nutrition of higher plants. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, 31:239-98, 1980.
- DAVIDSON, R.L. Effect of root/leaf temperature differentials on root/shoot ratio in some pasture grasses and clover. *Ann. Bot.*, 33:561-9, 1969a.
- DAVIDSON, R.L. Effects of edaphic factors on the soluble carbohydrate content of roots of *Lolium perenne* L. and *Trifolium repens* L. *Ann. Bot.*, 33:579-89, 1969b.
- DODGE, C.D. & HIATT, A.J. Relationship of pH to ion uptake imbalance by varieties of wheat (*Triticum vulgare* L.). *Agron. J.*, 64:476-81, 1972.
- DUMENIL, L. Nitrogen and phosphorus composition of corn leaves and corn yields in relation to critical levels and nutrient balance. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 25:295-8, 1961.
- FERNANDES, M.S.; ROSSIELLO, R.O.P.; ARRUDA, M.L.R. Relações entre capacidade de troca de cátions de raízes e toxidez de alumínio em duas gramíneas forrageiras. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 19(5):631-7, 1984.
- FLEMING, A.L. Ammonium uptake by wheat varieties differing in Al tolerance. *Agron. J.*, 75:726-30, 1983.
- FOWLER, D.B. & GUSTA, L.V. Fall growth and cold acclimation of winter wheat and rye differentially fertilized with phosphorus. *Agron. J.*, 74:539-40, 1982.
- FOY, C.D. Differential aluminum and manganese tolerances of plant species and varieties in acid soil. *Ci. Cult.*, 28:150-5, 1976.
- FOY, C.D. Effects of aluminum on plant growth. In: CARSON, E.W. ed. *The plant root and its environment*. Charlottesville, University Press of Virginia, 1977, p.601-42.
- FOY, C. D.; ARMINGUER, W.H.; BRIGGLE, L.W., REID, D.A. Differential aluminum of wheat and barley varieties in acid soil. *Agron. J.*, 57:413-7. 1965.
- FOY, C.D. & BROWN, J.C. Toxic factors in soils. II. Differential aluminum tolerance of plant species. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 28:27-32, 1964.
- FOY, C.D.; CHANEY, R.L.; WHITE, M.C. The physiology of metal toxicity in plants. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, 29:511-66, 1978.
- FOY, C.D.; LAFEVER, H.N.; SCHWARTZ, J.W.; FLEMING, A.L. Aluminum tolerance of wheat cultivars related to region of origin. *Agron. J.*, 66:751-8, 1974.
- GREENWOOD, D.J.; CLEAVER, T.J.; TURNER, M.K.; HUNT, J.; NIENDORF, K.B.; LOQUENS, S.M.H. Comparison of the effects of phosphate fertilizer on the yield, phosphate content and quality of 22 different vegetable and agricultural crops. *J. Agric. Sci.*, 95:457-69, 1980.
- HAYNES, R.J. Effect of lime, silicate, and phosphate applications on the concentrations of extractable aluminum and phosphate in a spodosol. *Soil Sci.*, 138: 8-14, 1984.
- HECHT-BUCHHOLZ, C. & FOY, C.D. Effect of aluminum toxicity on root morphology of barley. *Plant Soil*, 63:93-5, 1981.
- HOWELER, R.H. & CADAVID, L.F. Screening of rice cultivars for tolerance to Al-toxicity in nutrient solutions as compared with a field screening method. *Agron. J.*, 68:551-5, 1976.
- HUNT, R. Further observations on root-shoot equilibria in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Ann. Bot.*, 39:745-55, 1975.
- JONES, J.P. & FOX, R.L. Phosphorus nutrition of plants influenced by manganese and aluminum uptake from an oxisol. *Soil Sci.*, 126:230-6, 1978.
- KAISHTHA, B.P. & MARWAHA, B.C. Response of Sonalika wheat to graded doses of phosphorus in acid soils of different available phosphorus status at Palampur. *Fert. Technol.*, 14:235-9, 1977.
- KLIMASHEVSKII, E.L. & DEDOV, V.M. Localization of the mechanism of growth-inhibiting action of Al<sup>3+</sup> in the elongating cell walls. *Fiziol. Rast.*, 22: 1183-90, 1975.
- KONISHI, S. & MIYAMOTO, S. Alleviation of tea pollen tube growth by fluorine. *Plant Cell Physiol.*, 24:857-62, 1983.
- LAFEVER, H.N. & CAMPBELL, L.G. Inheritance of aluminum tolerance in wheat. *Can J. Genet. Cytol.*, 20: 355-64, 1978.
- LAFEVER, H.N.; CAMPBELL, L.G.; FOY, C.D. Differential response of wheat cultivars to Al. *Agron. J.*, 69:563-8, 1977.
- LEMO, R.C.; AZOLIN, M.A.D.; ABRÃO, U.R.; SANTOS, M.C.L.; CARVALHO, A.P. Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul. Primeira etapa, Planalto rio-grandense. *Pesq. agropec. bras.*, 2:71-209, 1967.

- LONG, F.L.; LANGDALE, G.W.; MYHRE, D.L. Response of an Al-tolerant and an Al-sensitive genotype to lime, P, and K on three Atlantic Coast flatwood soils. *Agron. J.*, **65**:30-4, 1973.
- MCCORMICK, L.H. The occurrence of aluminum phosphate precipitate in plant roots. *Agron. J.*, **38**:931-4, 1974.
- MCCORMICK, L.H. & BORDEN, F.Y. Phosphate fixation by aluminum in plant roots. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **36**:799-802, 1972.
- MAC KEY, J. The wheat root. In: INTERNATIONAL WHEAT GENETICS SYMPOSIUM, 4, Columbia, 1973. Proceedings... Columbia, University of Missouri, 1973, p.827-42.
- MCLACHLAN, K.D. Comparative phosphorus responses in plants to a range of available phosphorus situations. *Aust. J. Agric. Res.*, **27**:323-41, 1976.
- MACLEOD, L.B. & JACKSON, L.P. Aluminum tolerance of two barley varieties in nutrient solution, peat, and soil culture. *Agron. J.*, **59**:359-63, 1967.
- MANUAL de adubação e calagem para cultivos agrícolas do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Trigo e Soja, (56):6-34, 1981.
- MATSUMOTO, H. & MORIMURA, S. Repressed template activity of chromatin of pea roots treated by aluminum. *Plant Cell Physiol.*, **21**:951-9, 1980.
- MENDEZ, J. & KAMPRATH, E.J. Liming of latosols and the effect on phosphorus response. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **42**:86-8, 1978.
- MIELNICZUCK, J.; LÜDWICK, A.; BOHNEN, H. Recomendações de adubo e calcário para os solos e cultivares do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, UFRGS - Faculdade de Agronomia, 1979. 38p. (Boletim Técnico, 2).
- MITCHELL, R.L. Root growth and development. In: ———. *Crop growth and culture*. Ames, The Iowa State University, 1975. Cap. 9, p.173-94.
- MONYO, J.H. & WHITTINGTON, W.J. Genetic analysis of root growth in wheat. *J. Agric. Sci.*, **74**:329-38, 1970.
- MUGWIRA, L.M.; ELGAWHARY, S.M.; PATEL, S.U. Aluminum tolerance in triticale, wheat and rye as measured by root growth characteristics and aluminum concentration. *Plant Soil*, **50**:681-90, 1978.
- MUGWIRA, L.M.; PATEL, S.U.; FLEMING, A.L. Aluminum effects on growth and Al, Ca, Mg, K and P levels in triticale, wheat and rye. *Plant Soil*, **57**:467-70, 1980.
- MUGWIRA, L.M.; SAPRA, V.T.; PATER, S.U.; SHOUUDRY, M.A. Aluminum tolerance of triticale and wheat cultivar developed in different regions. *Agron. J.*, **73**:470-5, 1981.
- O'BRIEN, L. Some aspects of root growth in wheat. Melbourne, University of Melbourne, 1979. 187p. Tese Mestrado.
- PINKERTON, A. & SIMPSON, J.R. Effects of subsoil acidity and phosphorus placement on growth, root development and phosphorus uptake by *Stylosanthes humilis* and *Desmodium intortum*. *Aust. J. Agric. Res.*, **34**:109-18, 1983.
- POETSCH, E. Influência da calagem e da adubação fosfatada sobre algumas propriedades do solo. Pelotas, Escola de Agronomia Eliseu Maciel, 1958. 90p. Tese Cátedra.
- RAHMAN, M.S. & WILSON, J.H. Effect of phosphorus applied as superphosphate on rate of development and spikelet number per ear in different cultivars of wheat. *Aust. J. Agric. Res.*, **28**:183-6, 1977.
- RANDALL, P.J. & VOSE, P.B. Effect of aluminum on uptake & translocation of phosphorus by perennial ryegrass. *Plant Physiol.*, **38**:403-9, 1963.
- REES, W.J. & SIDRAK, G.H. Inter-relationship of aluminum and manganese toxicities toward plants. *Plant Soil*, **14**:101-7, 1961.
- SAGGAR, S.; DEV, G.; BAJWA, M.S. The efficiency of five high-yielding wheat varieties to absorb fertilizer phosphorus. *J. Res.*, **11**:392-6, 1974.
- SALINAS, J.G. & SANCHEZ, P.A. Soil-plant relationships affecting varietal and species differences in tolerance to low available soil phosphorus. *Ci. Cult.*, **28**:156-68, 1976.
- SHEPPARD, L.J. & FLOATE, M.J.S. The effects of soluble - Al on root growth and radicle elongation. *Plant Soil*, **80**:301-6, 1984.
- SIMS, J.T. & ELLIS, B.G. Adsorption and availability of phosphorus following the application of limestone to an acid, aluminous soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **47**:888-93, 1983.
- SIQUEIRA, O.J.F. Resposta do trevo vermelho (*Trifolium pratense*) à calagem e adubação fosfatada e suas relações com a disponibilidade de fósforo em solos ácidos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, UFRGS Faculdade de Agronomia, 1972. 137p. Tese Mestrado.
- SMYTH, T.J. & SANCHEZ, P.A. Effects of lime, silicate, and phosphorus applications to an oxisol on phosphorus sorption and ion retention. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **44**:500-5, 1980.
- SVOBODA, L.H. Comportamento do sistema radicular e de algumas características da parte aérea de dois cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.) conduzidos em dois níveis de acidez do solo. Porto Alegre, UFRGS—Faculdade de Agronomia, 1976. 75p. Tese Mestrado.
- TENNANT, D. A test of modified line intersect method of estimating root length. *J. Ecol.*, **63**:995-1000, 1975.
- VERHOEVEN, R.L. & ENGELBRECHT, A.H.P. Effects of nitrogen, phosphorus, potassium and sulphur deficiencies on the chloroplasts of *Triticum aestivum*. *S. Afr. J. Sci.*, **75**:307-10, 1979.

- VIDOR, C. & FREIRE, J.R.J. Controle da toxidez de alumínio e manganês em *Glycine max* (L.) Merrill pela calagem e adubação fosfatada. *Agron. Sulriogr.*, 8:73-87, 1972.
- VILELA, L. Absorção de fósforo por cultivares de soja afetadas por alumínio. Porto Alegre, UFRGS – Faculdade de Agronomia, 1982. 79p. Tese Mestrado.