EFICIÊNCIA NA UTILIZAÇÃO DE FÓSFORO PELO MILHO EM RELAÇÃO AO MÉTODO DE APLICAÇÃO DO FERTILIZANTE

Danilo Dufech Castilhos

Dissertação apresentada como um dos requisitos ao Grau de Mestre em Agronomia, área de Concentração Solos, Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre

Março, 1982

1/Engenheiro Agrônomo (UFRGS-RS)

Homologada por:

Professor Ivanor Anghinoni

Orientador

Professor João Mielniczuk

Coordenador do Curso de Pós-Graduação

Professor Ruben Markus

Diretor da Faculdade de Agronomia

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Ibanor Anghinoni, pela orientação, amizade e estímulo dispensados durante o curso de Pós-Graduação e no desenvolvimento deste trabalho.

Aos demais professores, colegas e funcionários da Faculdade de Agronomia, pelas experiências e colaborações transmitidas.

Ao Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS, pela oportunidade de realização deste trabalho.

Ao CNPq, pelo suporte financeiro concedido.

À minha família e à Engº Agrº Rosa Maria Beal Vargas, pela compreensão e estímulo.

EFICIÊNCIA NA UTILIZACÃO DE FOSFORO PELO MILHO EM RELACÃO AO MÉTODO DE APLICACÃO DO FERTILIZANTE

Autor: Danilo Dufech Castilhos
Orientador: Prof. Ibanor Anghinoni

RESUMO

A alta necessidade de aplicação de fósforo (P) dos solos brasileiros e o elevado custo deste insumo determinam o desenvolvimento de práticas para aumentar a eficiência de sua utilização pelas plantas. A influência do suprimento de fósforo a diferentes frações do sistema radicular e a influência de doses e métodos de aplicação de superfosfato triplo plo e calcário como efeito imediato e residual de um ano sobre a absorção de P, crescimento de raizes e rendimento de matéria seca e grãos de milho foi avaliada em experimento em casa de vegetação (solução nutritiva) e a campo em solo Durox (Latossolo Húmico Distrófico) respectivamente.

A redução do suprimento de P à parte do sistema radicular determinou um incremento no crescimento de raizes e na taxa de absorção de P na fração suprida com esse nutriente. Aplicações localizadas de superfosfato triplo (faixa e linha) aumentaram o teor de P na fração fertilizada de solo. Isto, no entanto, não afetou o crescimento e a distribuição de raizes, P absorvido e rendimento de matéria seca e grãos das plantas, tanto no seu efeito imediato como residual. O efeito residual da aplicação de calcário a lanço foi maior que a aplicação em faixa e em linha.

[1] Dissertação de Mestrado em Agronomia (Setor de Fertilidade do Solo), Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (96 p.) - março, 1982.

EFFICIENCY OF PHOSPHATE UTILIZATION BY CORN AS AFFECTED BY FERTILIZER PLACEMENT

Author: Danilo Dufech Castilhos
Adviser: Prof. Ibanor Anghinoni

SUMMARY

The development of procedures to increase phosphate efficiency by plant in brazilian soils is important due to their high phosphate requirement and the high fertilizer cost. The influence of phosphorus (P) supply to a portion of *corn (Zea mays,* L.) root system in the plant parameters and the influence of superphosphate and lime placement (broadcast, strip and row), as immediate and/or one year residual effect, in plant and soil characteristics was evaluated, respectively, in solution culture study and soil (Durox, Typic Haplohumox) experiment under field conditions.

The rate of root growth and the rate of P absorption (per unit of root) increased by decreasing the portion of the roots supplied by P. Strip or band superphosphate applications increased P availability in the fertilized fraction of the soil. However, root growth and distribution, P absorption and corn yield were not affected by phosphate placement. The residual effect of lime in broadcast application was higher than in strip or band application.

1/ M.Sc. in Agriculture (Soils) - Agricultural School - Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre (96p.) - March, 1982.

SUMÁRIO

		Página
1.	Introdução	1
2.	Revisão Bibliográfica	3
	2.1. Influência do método de aplicação de P sobre o suprimento e absorção de P pelas plantas	3
	2.1.1. Parâmetros de solo que determinam o suprimento de fósforo para as plantas	6
	2.1.2. Parâmetros de planta que influem na absorção de P	8
	2.1.3. Suprimento e absorção de P pelas raízes das plantas em função da fração do solo que é fertilizada	13
	2.2. Influência do método de aplicação de P no efeito residual da adubação fosfatada	16
	2.3. Influência do método de aplicação de calcário na correção da acidez, na absorção de nutrientes e rendimento das culturas	20
3.	Material e Métodos	25
	3.1. Experimento em casa de vegetação	25
	3.1.1. Tratamentos	25
	3.1.2. Determinação dos parâmetros cinéticos de absorção de P	26
	3.1.3. Determinações e análises químicas ...	27
	3.2. Experimento de campo	28
	3.2.1. Preparo do solo e tratamentos - ano de 1978	29
	3.2.2. Preparo do solo e tratamentos - ano de 1979	30
	3.2.3. Semeadura	31
	3.2.4. Amostragens	32
	3.2.5. Análises químicas e determinações ..	33
4.	Resultados e Discussão	35
	4.1. Absorção de P em função do suprimento e diferentes frações do sistema radicular	35

Página

4.1.1. Efeitos no crescimento das plantas . 35
4.1.2. Efeitos nos parâmetros de absorção . 38
4.2. Efeitos imediatos e residuais da aplicação de superfosfato triplo em diferentes métodos sobre parâmetros de planta e solo 43
4.2.1. Com a aplicação de uma mesma dose de superfosfato triplo 43
4.2.2. Com a aplicação de doses de superfosfato triplo 51
4.3. Efeitos da aplicação de calcário sobre a correção da acidez, absorção de nutrientes e rendimento de milho 59
4.3.1. Efeito residual da aplicação de calcário em diferentes frações de quantidades proporcionais à dose a lanço 59
4.3.2. Efeitos imediatos da interação calcário-fósforo 64

5. Conclusões 68

6. Bibliografia Citada 69

7. Apêndices 77

RELAÇÃO DE TABELAS

Página

1. Matéria seca produzida, P absorvido e crescimento radicular de plantas de milho, aos 21 dias, em função do suprimento de P a diferentes frações do sistema radicular 36

2. Parâmetros cinéticos de absorção e teores de P da parte aérea e da raiz de plantas de milho aos 21 dias após a germinação em função do suprimento de P a diferentes frações do sistema radicular 39

3. Teores de P extraível e P solução em solo Durox em função da aplicação de 100 Kg P_2O_5/ha, na forma de superfosfato triplo, métodos de aplicação de P e distância do caule da planta aos 60 dias após semeadura 44

4. Área radicular, P absorvido e rendimento de matéria seca por plantas de milho aos 60 dias após a semeadura em solo Durox, em função da aplicação de 100 Kg P_2O_5/ha na forma de superfosfato triplo, métodos de aplicação e tempo de aplicação do P 48

5. P absorvido na floração e rendimento relativo de milho em solo Durox em função da aplicação de 100 Kg P_2O_5/ha na forma de superfosfato triplo, métodos de aplicação de P e tempo de aplicação . 49

Página

6. Teores de P extraível pelo método Mehlich em solo Durox, em função de doses de P_2O_5 e métodos de aplicação de P na semeadura e como residual de 1 ano 52

7. Teores de P extraível, Ca, Mg, Al e Mn trocáveis, Saturação de Al e pH em solo Durox em função da aplicação de calcário em diferentes frações do solo (efeito residual de 14 meses) 62

8. Teores de P, Ca, Mg, Al e Mn na parte aérea de milho na época da floração em função de aplicação de calcário em diferentes frações do solo após 14 meses da aplicação 63

9. Teores de P extraível, Ca, Mg, Al e Mn trocáveis, Saturação de Al e pH em solo Durox em função da aplicação de 0 a 200 kg P_2O_5/ha a lanço e aplicação de calcário a lanço três meses antes da semeadura do milho 66

10. Teores de P, Ca, Mg, Al e Mn na parte aérea de milho na época da floração em função da aplicação a lanço de 0 e 200 kg P_2O_5/ha e aplicação de calcário a lanço três meses antes da semeadura . 67

RELAÇÃO DE FIGURAS

Página

1. Taxa de absorção de P do milho em função da concentração e diferentes frações do sistema radicular supridas com P 41

2. Área radicular de milho em solo Durox, em função da aplicação de 100 kg P_2O_5/ha na forma de superfosfato riplo, métodos de aplicação e distância do caule da planta 46

3. P absorvido, rendimento de matéria seca e P extraído por planta de milho em solo Durox, em função de doses de P como residual de 1 ano e métodos de aplicação de P 54

4. Rendimento de grãos de milho em solo Durox em função da aplicação de doses de P_2O_5 na forma de Superfosfato Triplo em residual de 1 ano e métodos de aplicação de P 56

5. Rendimentos de grãos e rendimento de matéria seca de milho cultivado em solo Durox em função de doses de P_2O_5 aplicados a lanço 58

6. Rendimento de grãos e matéria seca de milho na floração em função de métodos de aplicação de calcário em solo Durox e aplicação de 200 Kg P_2O_5/ha a lanço (residual 1 ano) 60

7. Rendimento de grãos e de matéria seca do milho no estágio da floração em função da aplicação de P e calcário a lanço na semeadura, em solo Durox . 66

1. INTRODUÇÃO

A aplicação de fertilizantes fosfatados nos solos brasileiros é uma prática necessária,em virtude do baixo nível deste nutriente, o que restringe os altos rendimentos, e para repor as quantidades removidas pelas culturas.

Os elevados custos dos adubos fosfatados usados na agricultura e a alta capacidade dos solos de fixarem fósforo, tornam necessário o desenvolvimento de métodos de aplicação de fertilizantes, objetivando-se alcançar a máxima eficiência de utilização deste insumo.

Quando um adubo fosfatado solúvel é uniformemente distribuído e incorporado ao solo, adubação a lanço, maior fração deste é fixada pelo solo diminuindo a disponibilidade para as plantas. A adubação em linha reduz a fixação, porém, supre fósforo a uma pequena fração do sistema radicular da planta. Estes métodos usuais de aplicações de adubos representam situações extremas e nem sempre promovem a sua maior eficiência de utilização. A aplicação do P em uma posição intermediária poderá aumentar esta eficiência, por propiciar menor insolubilidade do P que a aplicação a lanço e suprir maior fração do sistema radicular em relação a aplicação em linha.

Aplicações localizadas de P ao solo e o não revolvimento do solo antes da semeadura das culturas, também, podem aumentar o efeito residual dos fosfatos solúveis devido à manutenção das zonas de alta concentração ao redor dos grânulos e à menor insolubilização do P.

A aplicação de calcário é comumente feita a lanço, facilitando sua dissolução e reação com o solo. No entanto, a sua aplicação localizada tem se difundido, principalmente no cultivo de soja no RS. Torna-se, por isso, necessária a realização de pesquisas para determinar o efeito desta prática na correção da acidez (eliminação de fatores tóxicos), disponibilidade de nutrientes e, principalmente, à duração destes efeitos.

A partir disso, este trabalho foi executado com o objetivo de avaliar na cultura do milho: a) a influência do suprimento de P a diferentes frações do sistema radicular sobre a cinética de absorção de P, desenvolvimento e morfologia do sistema radicular e crescimento das plantas; b) o efeito imediato e residual da aplicação de Superfosfato sob diferentes métodos através da dinâmica do P no solo, crescimento radicular, absorção de P e rendimento de matéria seca e grãos das plantas; c) o efeito residual da aplicação de calcário em diferentes porções do solo sobre a correção da acidez, absorção de nutrientes e rendimento de matéria seca e grãos do milho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Influência do método de aplicação de P sobre o suprimento e absorção de P pelas plantas

A eficiência de absorção de nutrientes do fertilizante vai depender, em grande parte, da porção de nutrientes nele contida que atinge a superfície das raízes. Considerando o pequeno volume de solo explorado pelas raízes (1 a 2%) (MENGEL e KIRKBY, 1978) e à baixa concentração de P na solução do solo (ADAMS, 1974), o mecanismo de difusão torna-se responsável por 90-95% do suprimento de P do solo para as plantas (BARBER, 1962). A baixa mobilidade do íon $H_2PO_4^-$ em água ($0,89 \times 10^{-5}$ $cm^2.s^{-1}$, PEARSONS, 1958), e a sua alta reatividade com as partículas do solo são fatores determinantes do baixo aproveitamento (recuperação) do P pelas plantas. Como a distância que o P pode percorrer (0,2-0,3 cm/ciclo da cultura) é menor do que a distância média entre raízes de milho (1,0-1,5cm) por exemplo, grande parte do fósforo aplicado a lanço, em culturas plantadas em linha, estaria muito longe da superfície das raízes para ser absorvido (BARBER, 1981).

A maioria dos trabalhos visando a determinar a

eficiência de métodos de aplicação de fertilizantes fosfatados, se restringe ao uso de fosfatos solúveis. Quando são utilizados fosfatos pouco solúveis em água, como fosfatos naturais, a reação do P com o solo é um fator menos importante que a sua velocidade de dissolução. Conseqüentemente, a utilização destes produtos finamente moídos e misturados uniformemente ao solo é prática comprovada para aumentar a sua eficiência de utilização pelas plantas (FOX e KANG, 1978).

Aplicações localizadas de fosfatos solúveis são propostas para plantas cultivadas em solo com alta capacidade de fixação e baixos teores de P disponível (FOX e KANG, 1978) ou para máximo retorno por unidade de insumo investido (TISDALE e NELSON, 1977).

Experimentos realizados por MUZZILI (1977), com soja, demonstram maior eficiência de utilização do P, quando baixas doses são aplicadas em linhas. Rendimentos superiores são obtidos por combinações a lanço e em linha. A aplicação em linha supriria fósforo a um sistema radicular jovem, porém, com alta necessidade de P. Aplicações a lanço, supririam as necessidades de um sistema radicular mais desenvolvido, porém, menos exigente deste elemento.

Resultados de cultivos de milho em dois anos, em solo com alta capacidade de fixação de P, feitos por CHAUDHARY e PHIHAR (1974), demonstram que a aplicação de P em linha, ao lado e abaixo da semente, aumentou o rendimento de grãos em 40%, em comparação com a aplicação a lanço, quando a irrigação da lavoura não era efetuada. No cultivo

em que era utilizada irrigação, o rendimento de grãos com a aplicação de fósforo em linha era 170% superior que a aplicação a lanço. Influência da umidade do solo no efeito da localização do fósforo também foi verificada por SOBULO et alii (1978) em lavouras de tomate. Neste trabalho, a aplicação em linha foi superior à aplicação a lanço em um ano úmido. Em um ano seco, entretanto, a aplicação a lanço foi superior.

Maior economia na utilização do fertilizante como resultado da aplicação localizada de P ao solo nem sempre é alcançada, como demonstra um estudo com milho conduzido por FOX e KANG (1978). Este trabalho mostra que vantagens na aplicação localizada somente são constatadas com a utilização de baixas doses de P. Rendimentos elevados são obtidos com a utilização de altas doses aplicadas e incorporadas em todo o volume de solo.

Diferenças no rendimento de grãos de soja e no total de P absorvido em relação à aplicação de P a lanço ou em linha próximo a semente não foram verificadas por HAM e CALDWELL (1978). A absorção de fósforo pelas raízes de soja foi menor que nas raízes de milho nos primeiros dias após germinação, tornando-se maior à medida em que as duas culturas apresentam um maior estágio de desenvolvimento. Isto indica que a soja pode não apresentar respostas à aplicação de fósforo nos primeiros dias após a semeadura. Entretanto, a grande absorção de P pelas raízes de soja à medida em que a planta adquire maior desenvolvimento, exige um

alto teor de P em todo volume de solo explorado pelas raízes.

Os trabalhos até aqui apresentados indicam que a vantagem na utilização de um ou outro método depende de diversas condições tais como: clima (umidade), dose de fertilizante, características (solubilidade) do fertilizante, cultura e capacidade de fixação do solo. Além disso a maioria dos trabalhos avalia a eficiência do modo de aplicação através do rendimento de grãos, rendimento de matéria seca ou, eventualmente, da absorção de P. Como conseqüência, as respostas das culturas a um determinado método de aplicação não são consistentes e por isso difíceis de se generalizar.

Para melhor avaliação dos resultados, os trabalhos visando a determinar a eficiência do método de aplicação devem levar em consideração as características de planta (parâmetros cinéticos e morfológicos) que determinam a absorção e utilização dos nutrientes e as características do solo (poder tampão, capacidade de fixação, teor de P na solução) que determinam o suprimento de P até as raízes.

2.1.1. Parâmetros de solo que determinam o suprimento de fósforo para as plantas

O suprimento de fósforo da solução do solo para as raízes das plantas é realizado principalmente pelo mecanismo de difusão. Devido aos baixos teores de fósforo na solução do solo, os mecanismos de fluxo de massa e intercepção

radicular contribuem pouco para esse suprimento (BARBER, 1962). Por sua vez, a quantidade de fósforo que chega até a superfície das raízes por difusão é diretamente proporcional à concentração de P na solução do solo (Cs), ao coeficiente de difusão efetiva de fósforo no solo (De) e à relação entre P adsorvido e P na solução, denominado poder tampão de P (NYE, 1977).

Quando o P é adicionado ao solo, uma grande parcela é rapidamente adsorvida por suas partículas ou precipitado nas formas de fosfatos de cálcio, alumínio ou ferro. A intensidade desses efeitos vai depender das propriedades do solo como pH e teores de cálcio, alumínio ou ferro (REITH, 1974). Devido principalmente a essas reações, ao pequeno volume de água no solo e à tortuosidade do movimento, o coeficiente de difusão de P no solo é muito baixo.

Um alto poder tampão de P no solo, inicialmente causaria uma diminuição na absorção de P pela planta, em virtude de um efeito negativo no coeficiente de difusão efetiva (BARBER, 1974). Entretanto, quando as raízes das plantas competem por um mesmo volume de solo, tal como nas regiões onde o fósforo é aplicado em linha, o poder tampão é de grande importância no suprimento deste nutriente, por manter constante a sua concentração na solução do solo próximo à raíz da planta (ANGHINONI, 1979).

As aplicações localizadas de P ao solo tendem a aumentar o teor deste elemento na solução, na zona fertilizada, determinando uma saturação dos seus sítios de retenção

no solo. A aplicação uniforme ao solo de uma certa quantidade de P comparada com a mesma quantidade aplicada em somente 25% do seu volume, esta poderá ser mais efetiva no suprimento de P, pois, a concentração deste nutriente nesse volume será mais do que quatro vezes a concentração na solução do solo onde o P foi uniformemente aplicado. Nessa situação, a quantidade que difunde até as raízes das plantas aumenta, em virtude de um aumento no coeficiente de difusão e do estabelecimento de um gradiente de concentração entre o P da solução do solo e na superfície da raiz. Estudos de localização de fertilizantes fosfatados em posição intermediária entre a aplicação a lanço e em linha feitos por YOST et alii (1979) e BARBER (1981) mostram que, para uma mesma quantidade de P adicionado, a quantidade absorvida pela planta aumenta com a diminuição do volume do solo fertilizado até 12,5% do total.

2.1.2. Parâmetros de planta que influem na absorção de P

Quando o fertilizante fosfatado é localizado, parte das raízes serão supridas com uma alta concentração de fósforo e parte com baixa concentração. A área total de raízes para absorção de P será menor do que quando o fertilizante contacta com todo o sistema radicular da planta. A quantidade de P que será absorvida da solução do solo vai depender da área de raízes que contacta com a solução que

contém esse nutriente, da concentração de P na solução do so
lo e da capacidade das raízes em absorver P (ANGHINONI,
1979).

No caso de um baixo suprimento de P às raízes, have
rá um baixo teor desse nutriente no tecido da planta, até um
ponto em que a planta se utiliza de mecanismos para aumen-
tar a absorção de P. Um desses mecanismos é o aumento no
crescimento das raízes que se desenvolvem na fração fertili
zada do solo (MILLER e OHLROGGE, 1958; DREW, 1975). Em um
estudo feito por SCHENK e BARBER (1979) com diferentes genó
tipos de milho foi evidenciada uma diminuição do raio da rai
sem aumentar o seu peso, quando o suprimento de fósforo era
deficiente. Com isto, a área de raízes por unidade de peso
era aumentada, suprindo maior quantidade de fósforo a parte
aérea da planta. Resultados semelhantes foram constatados
por ANGHINONI e BARBER (1980b) em que a redução do volume
de solo fertilizado com P provocou um aumento na densidade
de raízes de milho na área fertilizada, aumentando a área
radicular para absorção de fósforo. Todavia, a quantidade
total absorvida pela planta, para uma mesma concentração na
superfície da raíz, será maior quando todas as raízes esti-
verem em contato com o P aplicado.

STRYKER et alii (1974), analisando em solução nutri
tiva o crescimento de raízes pela presença de fósforo, cons
tataram que, com o aumento do suprimento externo de fósforo
à zona de raízes supridas com P, havia um grande aumento no
teor deste elemento nas raízes supridas com P e um pequeno

aumento nas raízes sem P, demonstrando uma certa dependência dessas raízes (sem P) da translocação interna de P. O baixo crescimento das raízes na zona não fertilizada foi relacionado a uma baixa disponibilidade de fósforo orgânico (P interno), principal componente do teor total de P em raízes dependentes do suprimento interno. ROBERTSON et alii (1966) afirmam que o transporte não uniforme de P às plantas, resultado do suprimento desuniforme de P às raízes, implica um transporte preferencial de fotossintatos responsáveis pelo crescimento às raízes supridas com P, diminuindo o desenvolvimento daquelas sem esse suprimento.

A capacidade das raízes em absorver fósforo é uma característica da espécie ou variedade da planta. Aumenta com o aumento da concentração do mesmo na superfície da raiz até que o valor máximo é atingido. Esta taxa de absorção é descrita pela equação de MICHAELIS-MENTEN (EPSTEIN, 1975),

$$v = Vmax \cdot C/Km+C \quad (1)$$

onde, v é a taxa de absorção do íon, supondo-se não haver retorno para a solução ($\mu moles.cm^{-2}.hora^{-1}$), C é a concentração do íon próximo à superfície da raiz (μM), Vmax é a velocidade máxima de absorção ($\mu moles.cm^{-2}.hora^{-1}$) e km é a constante de Michaelis-Menten e representa a concentração do íon em que ocorre metade da velocidade máxima de absorção (μM).

O valor de Km é a medida do grau de afinidade entre

o íon e o sítio de absorção da membrana celular da raiz e reflete principalmente a capacidade das plantas em absorver nutrientes em baixas concentrações. Assim sendo, quanto menor o valor de Km maior é a capacidade de absorção a baixas concentrações.

Um método para caracterizar o fluxo de entrada (absorção) de nutrientes em raízes intactas (passagem do nutriente da superfície para o interior da raiz), baseado na diminuição da concentração do nutriente de solução em função do tempo, foi desenvolvido por CLAASSEN e BARBER (1974). A relação entre a concentração do nutriente na solução e a taxa líquida de absorção é obtida introduzindo-se na Equação 1 o "fluxo de saída" (movimento do íon do interior da raiz para a solução externa), devido à concentração da solução não se reduzir a zero durante o período de absorção,

$$In = (Vmax.C/Km+C) - E \qquad (2)$$

onde, In é o fluxo de entrada líquido ($\mu moles.cm^{-2}.hora^{-1}$) e E é o fluxo de saída ($\mu moles.cm^{-2}.hora^{-1}$).

Os parâmetros de absorção da planta afetados pelo suprimento de P a somente parte do sistema radicular, são normalmente avaliados em experimentos com solução nutritiva. Em estudos feitos por GILE e CARRERO (1917), citado por JUNGK e BARBER (1974), foi verificado que, quando 50% das raízes de plantas de arroz eram expostas ao fósforo, a absorção deste nutriente por grama de raiz exposta ao P foi

28% maior, que quando comparada com todas as raízes expostas ao P. Entretanto, o total absorvido pela planta foi maior com todas as raízes em contato com o P. JUNGK e BARBER (1974), através do suprimento de fósforo a diferentes frações do sistema radicular de milho, concluiram que, quando o nível de P no tecido da planta não era afetado pelos tratamentos, a taxa de absorção de P por metro de raiz exposta ao nutriente também não eram influenciada pela proporção de raízes em contato com o P. Contudo, nos tratamentos onde uma pequena porção de raízes foi exposta ao P, o teor na parte aérea da planta manteve-se baixo e foram registrados aumentos na taxa de absorção de P. No período em que foi analisada a absorção (4 horas), a demanda de P pela parte aérea da planta não influenciou a sua absorção. Para os autores, a absorção neste período foi controlada por processos localizados na raiz, através do rápido crescimento e alta absorção pelas raízes novas.

Em trabalho semelhante, ANGHINONI (1979) constatou aumentos de 65% na velocidade máxima de absorção de P em raízes de milho, quando 12,5% dessas raízes eram expostas a este nutriente. Uma alta correlação (negativa) foi encontrada entre a % P na raiz e Vmax, sugerindo que a baixa concentração nas raízes teve um grande efeito na taxa de absorção de fósforo a essas raízes. Apesar do comprimento total de raízes não ser afetado pelos tratamentos, as raízes em contato com o fósforo, nos tratamentos em que a fração a ele exposta era menor, tiveram uma taxa de crescimento maior.

Conclui-se desta forma que a absorção de P pelas raízes será governada pela área de raízes que contacta com o fertilizante fosfatado e a taxa de absorção de P por unidade de área de raiz. Modificações na morfologia do sistema radicular e na capacidade de absorção de fósforo atuam como uma compensação da planta em situações onde o suprimento deste elemento é afetado, aumentando dessa forma a sua absorção na porção de raízes que contacta com o fertilizante.

2.1.3. Suprimento e absorção de P pelas raízes das plantas em função da fração de solo que é fertilizada

A quantidade de fósforo aplicado que contacta com o sistema radicular da planta é função da taxa de crescimento das raízes e do volume de solo que é fertilizado. A absorção de P pela planta atingirá o máximo, quando o fertilizante fosfatado for aplicado de tal forma que todas as raízes estejam contactando com o solo fertilizado. Entretanto, quando se deseja diminuir a quantidade de P fixada pelo solo, deve-se aplicar o fertilizante de tal forma que contacte somente com uma pequena porção de solo. Como essas duas situações são conflitantes, BARBER (1981) baseado em resultados com milho durante 5 anos, sugere a aplicação do fertilizante em faixas; método intermediário entre aplicação a lanço e em linhas. Neste tratamento foi observado o mais alto rendimento e teor de P no tecido de milho. Segundo o autor,

nos tratamentos em linha, um número muito pequeno de raízes (em relação ao total) se desenvolveu na fração fertilizada de solo, enquanto na aplicação a lanço grande porção do P adicionado foi fixada pelo solo em formas não disponíveis.

A localização de P no solo pode aumentar a absorção de P pela planta. Esses efeitos, entretanto, variam com o solo, cultura e condições climáticas. Estudos procurando incluir parâmetros de planta e solo são citados para determinar a eficiência de utilização do fertilizante em função de sua localização no solo. Partindo deste propósito, ANGHINONI e BARBER (1980c) propuseram um método para avaliar esta eficiência através da utilização do modelo matemático de CLAASSEN e BARBER (1976), que utiliza parâmetros que descrevem o crescimento, a morfologia, a cinética de absorção de nutrientes pelas raízes e a cinética de suprimento de nutrientes pelo solo.

Determinações efetuadas no crescimento de plantas de milho e na absorção de P, em função de doses aplicadas em três solos diferentes, quanto a capacidade de fixação de fósforo (ANGHINONI e BARBER, 1980b) foram utilizadas para estabelecer o relacionamento entre a absorção de P pelo milho e a dose aplicada por vaso, em diferentes frações do mesmo. Neste trabalho foi observado que, na medida em que a dose aplicada diminuía, a absorção de fósforo aumentava com a diminuição da fração fertilizada de solo. Com a adição de fósforo em um menor volume de solo, a taxa adicionada por unidade de solo fertilizado aumentava. Isto, causa um

aumento no suprimento de P às raízes na zona do solo tratada com esse elemento e, em conseqüência, ocorre um aumento na taxa de absorção até que a taxa máxima de absorção (Vmax) é atingida. Além disso, o aumento da densidade de raízes na fração de solo fertilizada favorecia a absorção de fósforo pelas raízes. Quando uma mesma dose de P foi aplicada nos três solos diferentes, observou-se que quanto maior a capacidade de fixação do solo menor era a fração de solo a ser fertilizada para maior absorção de fósforo.

Na aplicação do fertilizante a campo procura-se determinar um método de aplicação que, além de aumentar a absorção, aumente também a eficiência de utilização do fertilizante pelas plantas. No entanto, o aumento na absorção de P devido a localização do adubo nem sempre produz aumentos nos rendimentos das plantas na mesma proporção. TREBIEN (1980) observou que, para uma mesma dose de fósforo (100 kg P_2O_5/ha), a eficiência de absorção por plantas de milho aumenta com a redução da fração de solo fertilizada. Já a eficiência de utilização do P (kg grãos/kg P_2O_5 aplicado) foi mais alta quando este foi incorporado em todo volume de solo. A menor eficiência de utilização do P nas aplicações localizadas, poderia ser decorrente do suprimento inadequado de algum outro nutriente, devido à competição entre as raízes na zona fertilizada e/ou como sugerem STRYKER et alii (1974), devido a ineficiência na translocação interna de fósforo, resultante de sua deposição em posições específicas das folhas.

Estes estudos demonstram que o conhecimento dos fatores de planta (fisiológicos e morfológicos) e dos fatores de solo são fundamentais para a interpretação dos resultados de experimentos de campo ligados aos aspectos de localização de fertilizantes. Os aumentos na absorção de P e no rendimento das plantas, devido à aplicação de fósforo em um menor volume de solo, dependerão dos aumentos no crescimento de raízes na zona de solo tratada com P e na taxa de suprimento de P a essas raízes.

2.2. Influência do método de aplicação de P no efeito residual da adubação fosfatada

Quando um fertilizante solúvel é aplicado ao solo, a sua dissolução processa-se rapidamente, aumentando o teor de P na solução do solo. Devido às reações pelas quais o fósforo é retirado da solução e à baixa mobilidade do íon $H_2PO_4^-$ (BARBER, 1976), apenas uma pequena fração aplicada é absorvida pela planta em um primeiro cultivo. O restante reage com os componentes do solo formando compostos de relativa baixa solubilidade (LARSEN, 1967; BARROW, 1974).

A insolubilização do fósforo processa-se rapidamente. Simultaneamente, podem ocorrer adsorção e/ou precipitação do P através de reações com óxidos de ferro, alumínio ou cálcio. Com o passar do tempo, outras ocorrem lentamente, tal como retenção do fósforo no interior de sesquióxidos de Al e Fe (oclusão) ou, também,

cristalização de precipitados amorfos de P (HARTER, 1969; FOX e KAMPRATH, 1970; VOLKWEISS e VAN RAIJ, 1977). Em virtude de equilíbrios químicos entre os fosfatos de cálcio, alumínio e ferro e de transformações microbiológicas envolvidas com formas orgânicas de P, uma certa quantidade dessa fração insolúvel torna-se disponível com o tempo, para culturas subseqüentes, como efeito residual (CAMPBELL, 1965; BARROW, 1975; ALESSI e POWER, 1980).

Muitos fatores influem no efeito residual de P. Segundo BARROW (1974), altas temperaturas aceleram as reações do fósforo com o solo, diminuindo o efeito residual. A umidade do solo teria efeitos semelhantes, quando em teores acima do ponto de murcha permanente (BARROW e SHAW, 1974).

A capacidade de adsorção de P no solo é um dos fatores que influem no efeito residual da adubação fosfatada. BARROW (1973), utilizando superfosfato simples, aplicado em pó na superfície de vários solos em vasos cultivados com trevo subterrâneo, encontrou uma tendência de aumento na eficiência relativa do adubo com o aumento da capacidade de adsorção de P do solo. MILLAN (1981), trabalhando em casa de vegetação com treze solos do Rio Grande do Sul, não obteve correlações significativas entre o efeito residual do superfosfato triplo granulado e características físicas e químicas dos solos como teor de argila, Ca trocável e óxidos de Al e Fe.

Os dados de literatura diferem quanto à influência da dose do adubo fosfatado no efeito residual. YOST et alii (1979) e FOLE e GRIMM (1973) observaram que doses baixas de

P, reduzem a disponibilidade do P aplicado, diminuindo o efeito residual, em comparação com doses mais elevadas. Entretanto, OLIVEIRA (1981), avaliando a influência de doses no efeito residual de superfosfato triplo aplicado seis meses antes da semeadura do trigo, constatou em casa de vegetação que a dose de P não influiu no efeito residual. No entanto, para o rendimento de matéria seca, em alguns casos, houve aumento no efeito residual com o aumento das doses e, em outros, diminuição.

O efeito residual da aplicação de P ao solo também é afetado pelo modo de aplicação do fertilizante. YOST et alii (1979) mostraram, através de experimento a campo com milho, que num total de 4 cultivos, o rendimento máximo foi obtido com a dose de 560 Kg P/ha aplicada a lanço. Por outro lado, para a aplicação total de 140 ou 280 Kg P/ha a lanço no primeiro cultivo, ou em 4 parcelas iguais aplicadas em linha antes de cada cultivo, a aplicação em linha manteve um efeito residual maior, alcançando 84% do rendimento máximo. Resultados semelhantes com trigo, em 6 cultivos, foram constatados por ALESSI e POWER (1980). Trabalhando com soja, HANSON (1978), mostrou que, em um segundo ano de cultivo, a aplicação de 140 Kg P/ha em linha foi superior em rendimento que a aplicação da mesma dose a lanço.

Esses resultados sugerem um maior efeito residual de P quando um pequeno volume de solo reage com o fósforo aplicado. Nesta situação, ocorre um atraso nas reações de insolubilização do P em comparação com a aplicação em um maior

volume de solo. YOST et alii (1979) e ALESSI e POWER (1980) afirmam que a maior disponibilidade do P como efeito residual para as culturas, quando aplicado em linha é, em grande parte devida ao alto teor de P que permanece na solução do solo, causado pela saturação das superfícies de adsorção de P, que são em número menor que na aplicação a lanço. Deste modo, em virtude do maior teor de P na solução e da menor relação P adsorvido/P solução no volume de solo fertilizado, a quantidade do fósforo aplicado recuperada pela planta é maior, pois, ocorre uma difusão mais rápida do P a um sistema radicular maior na porção de solo fertilizada (ANGHINONI, 1979).

A aplicação de adubos fosfatados solúveis a lanço em grânulos, aumenta o efeito residual de P (BARRETO, 1977; SOUSA, 1980). Este fato está ligado a uma possível maior solubilidade dos compostos formados ao redor dos grânulos e à menor fixação de P, em virtude da diminuição da área total do fertilizante que contacta com o solo.

O revolvimento do solo é um fator que contribui para um decréscimo no efeito residual de P, tal como verificado por SOUSA (1980) e OLIVEIRA (1981). O revolvimento do solo antes de um segundo cultivo resulta na distribuição do P concentrado em torno dos grânulos, em um maior volume de solo, dando início a reações de fixação, diminuindo a sua disponibilidade para as plantas.

2.3. Influência do método de aplicação de calcário na correção da acidez, na absorção de nutrientes e rendimento das culturas

A prática da calagem é comumente utilizada visando a corrigir a acidez do solo, proporcionando melhores condições de desenvolvimento às plantas. Os efeitos da calagem induzem a aumentos no valor de pH do solo e à diminuição dos teores tóxicos de alumínio e manganês. Em solos ácidos, o alumínio se encontra nas formas trocável e de compostos simples de hidróxidos de alumínio; e o manganês na forma divalente, que é solúvel e disponível para as plantas. Com o aumento do pH a valores acima de 5,5, o alumínio, já em formas polimerizadas, será transformado, vagarosamente, em gibsita ou material similar, de baixa solubilidade no solo e o manganês passa à forma de óxidos mangânicos, ambos não assimiláveis pelas plantas (TISDALE e NELSON, 1975). Nos coloides minerais, os sítios liberados pela precipitação do Al e Mn e pela neutralização do H trocável e covalente (cargas dependentes de pH), são ocupados pelo Ca e Mg oriundos da aplicação do corretivo, (COLEMAN e THOMAS, 1967).

O grande efeito benéfico da calagem, segundo FOY (1974), é a neutralização do Al trocável (Al^{+3}). A ação tóxica do alumínio é caracterizada pela inibição da divisão celular nas raízes tornando-as grossas, entumecidas, tortuosas e pardas. Há ausência de pêlos absorventes, resultando um sistema radicular restrito e pouco eficiente na absorção

de água e nutrientes (FLEMING e FOY; 1968); CLARK, 1977). Com a calagem também é aumentado o suprimento de cálcio e magnésio para as raízes das plantas. O cálcio é essencial para a seletividade dos mecanismos de transporte de íons através das membranas celulares, e o magnésio atua principalmente como ativador de enzimas relacionadas com o metabolismo energético (EPSTEIN, 1975).

Segundo FOX (1979), não existe um valor de pH considerado mínimo para um ótimo desenvolvimento e produção de milho. Outros autores, não tem encontrado boa correlação entre os valores de saturação de alumínio (%Al) e o decréscimo na produção de milho. Enquanto KAMPRATH (1970) e WADE e SANCHES (1976) encontraram que uma saturação de Al superior a 35% é crítica para a produção de milho, PEARSON (1975) e FOX (1979) afirmam o mesmo para uma saturação de 15%. A variação nesses valores está relacionada com a diferença nas características físicas e químicas dos solos. O excesso de alumínio no solo, se manifesta com sintomas de deficiência de fósforo nas plantas, devido à interação Al-P a nível radicular que provoca uma redução no transporte de fósforo da raiz para a parte aérea (CLARKSON, 1966; McCORMICK e BORDEN, 1972).

Devido à baixa dissolução no solo dos corretivos utilizados comercialmente, a aplicação de calcário é feita a lanço na superfície do solo e incorporada uniformemente em uma camada ao redor de 20 cm. Desse modo, haveria maior neutralização de elementos tóxicos em toda zona de desenvolvimento de raízes e maior

suprimento de cálcio e magnésio a essas raízes.

Nas aplicações localizadas, além de ser diminuída a reação do corretivo com o solo dificultando a solubilização, a porção de raízes da planta que se beneficia dos efeitos de calagem é reduzida. Deste modo, o Al^{+3} não será totalmente neutralizado em toda a zona de desenvolvimento das raízes, e causará além dos danos no desenvolvimento radicular, uma redução no mecanismo de absorção e translocação de cálcio (JOHNSON e JACKSON, 1964). A translocação descendente de cálcio através do floema para a extremidade de raízes de milho é muito baixa (CANAL, 1980). Em conseqüência, o contínuo crescimento radicular depende de um suprimento permanente e uniforme de cálcio em toda zona explorada pelas raízes.

Vantagens na aplicação do calcário nas linhas de soja foram constatadas por ABRÃO e ROSITO (1976), quando os tratamentos que continham calcário dolomítico (500 Kg/ha)+ adubo NPK, colocados 5 cm abaixo da semente apresentaram os maiores rendimentos em relação à mesma quantidade de adubo aplicada na ausência de calcário. Entretanto, com aplicação de calcário a lanço (1 SMP) foram determinados rendimentos de 3752 Kg contra 3379 Kg obtido com a aplicação de 500 Kg de calcário na linha. Esses dados confirmam os encontrados por ABRÃO (1975).

As aplicações localizadas de calcário também devem ser analisadas quanto às mudanças nas propriedades químicas do solo. CARVALHO e MEURER (1978), com a aplicação de

calcário nas linhas de soja nas doses de 300 Kg/ha e 450 Kg/ha observaram rendimentos de 0,37 t/ha e 0,43 t/ha a mais que a testemunha. Entretanto, os menores rendimentos em relação à aplicação a lanço estão associados com os valores de pH de 4,7 na linha de calcário contra 5,5 na aplicação a lanço, resultando maior atividade do AL e aumento das concentrações tóxicas de manganês no tecido.

BEN et alii (1980), aplicando doses de calcário de 0, 150, 300 e 450 Kg/ha nas linhas de soja, em parcelas já corrigidas com calcário aplicado a lanço, constataram que somente houve resposta significativa no rendimento de grãos da cultura, quanto à média de três cultivos, no nível de correção de 1/2 SMP para pH 6,0 em solo Passo Fundo e em 1/4 SMP para o solo Erexim. Comparando-se os dados obtidos em amostras coletadas na linha e na entrelinha no solo Passo Fundo, observou-se que, com a aplicação de 450 Kg/ha de calcário na linha em solo não corrigido, o pH elevou-se de 4,6 para 5,0, o teor de cálcio + magnésio trocáveis de 1,9 para 4,4 me/100 g de solo e o teor de alumínio trocável reduziu-se de 3,2 para 1,5 me/100 g de solo.

As aplicações de calcário a lanço na superfície do solo e sua adequada incorporação têm apresentado um melhor efeito na correção da acidez do solo e proporcionado melhores rendimentos. Em muitas situações esses efeitos podem ser verificados em cultivos seguintes. LIM e SHEN (1977), com a aplicação de calcário a lanço, na dose de 3.000 Kg/ha, em solo da Malásia, obteve aumentos de pH de 4,3 a 5,5,

diminuição do Al trocável de 1,9 a 0,3 meq/100 g, e aumentos nos teores de P e Mg no tecido de milho, respectivamente 0,22% a 0,32% e 0,14% a 0,40%. Esses valores mantiveram-se altos até um quinto cultivo, demonstrando o alto efeito residual.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho consta de dois experimentos envolvendo a cultura do milho (*Zea mays* L. cv. Ag. 64). O primeiro, conduzido a campo, na Estação Experimental da Secretaria da Agricultura, município de Nova Prata, RS, no período de 1979/80. O segundo, conduzido em casa de vegetação no Departamento de Solos da FA-UFRGS, no ano de 1980.

3.1 - Experimento em casa de vegetação

Foi conduzido um experimento em solução nutritiva, com o objetivo de avaliar o efeito do suprimento de fósforo a diferentes porções do sistema radicular de milho sobre a absorção de P e desenvolvimento radicular da planta.

3.1.1 - Tratamentos

Dois recipientes plásticos de 2,5 litros cada um foram acoplados, de modo a formar um conjunto contendo em um lado uma solução nutritiva completa, e no outro, a mesma solução completa, porém, com a ausência de P. A solução nutritiva possuía a seguinte composição: 3,0 mM K, 1,0 mM Mg,

4,5 mM N (3,0 mM NO_3 e 1,5 mM NH_4), 1,0 mM Ca, 2,0 mM S, 89 µM Fe, 5,4 µM Mn, 24 µM B, 1,5 µM Zn, 4,7 µM Cu, 0,1 µM Mo e 480 µM P na forma de $NH_4H_2PO_4$.

Plantas de milho contendo 8 a 12 raízes foram obtidas, envolvendo-se as sementes em papel toalha, formando um cartucho cuja extremidade oposta às sementes foi depositada em um recipiente contendo uma solução com $Ca(NO_3)_2$ 1 mM e KH_2PO_4 0,06 mM suficiente para manter a umidade até a germinação. Após sete dias, três plantas tiveram suas raízes subdivididas para cada recipiente de modo a formar os seguintes tratamentos: 12,5, 25 e 100% das raízes em contato com a solução contendo P e as restantes em solução sem P.

Foram utilizadas três repetições por tratamento em um Delineamento em Blocos Casualizados. Durante o período de crescimento, o arejamento da solução foi mantido constante. A solução era analisada e renovada sempre que a concentração de P se aproximava de 200 µM. O pH foi mantido em torno de 5,0 através da troca da solução e o volume de água evapotranspirada foi compensada diariamente.

3.1.2 - Determinação dos parâmetros cinéticos de absorção de P

Os parâmetros cinéticos de absorção de P foram determinados, em ambos os compartimentos do conjunto de vasos, a partir da diminuição da concentração de P na solução nutritiva em função do tempo, conforme CLAASSEN e BARBER

(1974).

A absorção de P da solução foi determinada, 21 dias após a germinação. No dia anterior às determinações, a solução nutritiva foi trocada, omitindo-se o fósforo em ambos os compartimentos. De acordo com um teste realizado no dia anterior, foi adicionado, a partir de uma solução de $NH_4H_2PO_4$, em todos os compartimentos (c/P e s/P), quantidades de P a serem exauridas por um período de 6 horas.

A amostragem da solução foi realizada em intervalos de 30 minutos, estendendo-se por um período de 9,30 horas. Na manhã do dia seguinte foi realizada uma última amostragem para garantia de obtenção do "C" min (concentração de fósforo na solução, no qual o fluxo líquido de P é zero), sendo então coletadas as plantas. O arejamento da solução foi mantido durante o período de coleta das amostras. A água evapotranspirada foi compensada e o nível inicial da solução foi mantido pela adição de bolinhas de vidro. Os valores de "V max"; velocidade máxima de absorção de fósforo, e "Km"; concentração de P em que ocorre metade da velocidade máxima de absorção, foram então determinados graficamente conforme procedimento descrito por OLIVEIRA e MIELNICZUK (1976).

3.1.3 - Determinações e análises químicas

Cada amostra da solução constou de 5 ml, e o P foi determinado pelo método de MURPHY e RILEY (1962).

O comprimento de raízes foi estimado pelo método descrito por TENNANT (1975) e a área radicular calculada a partir da fórmula, $AR = 2\pi rl$, onde:

AR = área de raízes;

r = raio médio de raízes;

l = comprimento de raízes;

pu = peso úmido de raízes

$$r = (pu/\pi.l)^{1/2}$$

As plantas colhidas foram secadas em estufa à temperatura de 50 - 60 ^{o}C durante 72 horas, pesadas para determinação de matéria seca e, então, moídas. A extração de P no tecido foi realizada, digerindo-se 0,200 g de tecido com 2 ml de H_2SO_4 concentrado e aplicações sucessivas de 0,2 ml de H_2O_3 30% até completa digestão do tecido. O teor de P nessa extração foi determinado pelo método de MURPHY e RILEY (1962).

3.2 - Experimento de campo

O experimento constou de duas áreas. Em uma, no ano de 1978, doses de superfosfatos e calcário foram aplicadas sob diferentes métodos para avaliar a eficiência do milho quanto à absorção e utilização de P. Para avaliação do efeito residual, em 1979, uma nova área foi preparada e aplicados novos tratamentos.

O solo utilizado pertence à unidade de mapeamento DUROX classificado como Latossolo Húmico Distrófico (BRASIL, 1973), em que foi determinado inicialmente: pH em água (1:1),

4,5; teor de matéria orgânica pelo método calorimétrico, 4,8; teor de P pelo método Mehlich, 1,6 ppm; teor de K pelo método Mehlich, 50 ppm e necessidade de calcário pelo método SMP para elevar o pH do solo a 6,0, 10 t/ha (MIELNICZUK et alii, 1969).

3.2.1 - Preparo do solo e tratamentos - ano de 1978

Três meses antes da semeadura, o calcário foi aplicado a lanço a uma profundidade de 15 cm, seguido de uma aração e uma gradagem (TREBIEN, 1980). Os tratamentos principais consistiram na aplicação de doses de fósforo (superfosfato triplo) nos seguintes métodos de aplicação:

- a lanço - 0, 50, 100, 200, 400 Kg P_2O_5/ha;
- em faixa - 50, 100, 200 Kg P_2O_5/ha;
- em linha - 50, 100, 200 Kg P_2O_5/ha.

Combinações de doses e métodos de aplicação de fósforo também foram utilizadas e constaram de:

- 50 Kg P_2O_5 em linha com 50 Kg P_2O_5/ha em faixa;
- 50 Kg P_2O_5 em linha com 100 Kg P_2O_5/ha em faixa;
- 50 Kg P_2O_5 em linha com 100 Kg P_2O_5/ha a lanço;
- 50 Kg P_2O_5 em linha com 200 Kg P_2O_5/ha a lanço.

Os tratamentos de calcário consistiram em sua aplicação a lanço, em faixa e em linha, em quantidades proporcionais a dose a lanço (10 t/ha), respectivamente 3 t/ha e 0,5 t/ha. Uma parcela permaneceu sem aplicação de calcário. Estas parcelas receberam uma aplicação de 200 Kg P_2O_5 / ha,

incorporado a lanço.

No plantio foram aplicados 100 Kg K_2O/ha, a lanço, na forma de KCl, juntamente com os tratamentos de fósforo a lanço. A incorporação foi feita com uma gradagem a profundidade de ≃ 10 cm. A seguir foram aplicados os tratamentos de fósforo e calcário, em faixas (30 cm de largura), espaçadas de tal forma que a linha da cultura coincidisse com a linha central da faixa, sendo incorporados com enxada rotativa à profundidade de 10 cm. Foram feitos sulcos de 10 cm de profundidade e espaçados de 1 m em toda a área. Nas parcelas com tratamentos de P e calcário em linha, estes foram aplicados no sulco. A adubação de N na base (20 Kg de N/ha na forma de Uréia) foi feita, em toda a área, no sulco. Os sulcos foram cobertos e o milho foi semeado, aproximadamente 5 cm ao lado do sulco.

O delineamento utilizado para o estudo de métodos de aplicação de P foi o de Parcelas Subdivididas com três repetições por tratamento. As parcelas principais, com 240 m^2 (8,00 x 30,00), constituíram-se dos métodos de aplicação de P e as sub-parcelas, com 40 m^2 (8,00 x 5,00m) das doses de P. Os tratamentos referentes a métodos de aplicação de calcário e combinações de doses de métodos de aplicação de P foram sorteados entre as subparcelas restantes e foram considerados como Delineamento em Blocos Casualizados.

3.2.2 - Preparo do solo e tratamentos - ano de 1979

No ano de 1979 a área experimental anterior foi

mantida intacta, sendo apenas retiradas, as plantas invasoras, através de capinas manuais. Por ocasião da semeadura foram aplicados, a lanço, 50 Kg K_2O/ha (KCl) e 30 Kg N/ha (Uréia), para restituição dos nutrientes em virtude do cultivo anterior.

Para a avaliação do efeito residual da aplicação de fósforo, uma nova área experimental foi preparada. Foi realizada a aplicação de calcário (mesma dose para a área anterior) e, por ocasião da semeadura, em função dos resultados das análises de solo, foram aplicados a lanço em toda a área 120 Kg K_2O/ha (KCl) e 30 Kg N/ha (Uréia).

Os tratamentos de P (superfosfato triplo) aplicados foram:

- a lanço - 0, 50, 100, 200, 400 Kg P_2O_5/ha;
- em faixa - 100 Kg P_2O_5/ha
- em linha - 100 Kg P_2O_5/ha

Para avaliação de efeito de calcário em combinação com doses de P, duas parcelas foram mantidas sem calcário e aplicados a lanço, respectivamente, o (zero) e 200 Kg P_2O_5/ha.

Para esta área, o delineamento utilizado foi o de Blocos Casualizados, com três repetições e parcelas de 40m^2 (8,00 x 5,00 m).

3.2.3 - Semeadura

A semeadura do milho nas duas áreas experimentais

foi realizado no dia 18 de outubro de 1979. Utilizou-se máquina semeadeira manual, mantendo-se um espaçamento de 1,00 m entre linhas e 0,40 m entre plantas. Na área com aplicação de tratamentos em 1978, procurou-se semear exatamente sobre o mesmo local da linha anterior de plantas. No dia 13 de novembro, foi realizado um desbaste, mantendo-se duas plantas por cova, equivalendo a uma população de 50.000 plantas por hectare. A adubação de 30 Kg N/ha (Uréia) como cobertura foi realizada, nas duas áreas, 45 dias após a semeadura.

3.2.4 - Amostragens

Amostras do sistema radicular de duas plantas na bordadura da parcela foram retiradas 62 dias após a semeadura, na dose de 100 Kg P_2O_5/ha, nos três métodos de aplicação e em ambas as áreas. Utilizaram-se cubos metálicos de 10 cm de lado. Foram coletadas 4 amostras perpendiculares à linha, a distâncias de 10, 20, 30 e 40 cm, do centro do cubo ao colmo das plantas. Após estas coletas, as plantas foram cortadas rente ao solo. Em cada cubo amostrado, as raízes mais grossas foram separadas manualmente. As mais finas foram separadas através de peneiragem úmida em agitador horizontal, colocando-se a amostra no vaso interno de um conjunto de vasos superpostos. O fundo do vaso interno consistia de uma malha de 1,00 mm de diâmetro para que permitisse a passagem das partículas finas de solo, ficando retidas as raízes finas junto com os detritos. Deste material, as

raízes foram separadas manualmente.

Na época do florescimento das plantas, em todas as parcelas e sub-parcela do experimento foram retiradas amostras de solo e colhidas três plantas da bordadura. As amostras de solo foram constituídas de 10 sub-amostras. Nos tratamentos de fósforo e calcário em faixas e/ou em linhas as amostras foram retiradas dentro e fora da faixa e/ou da linha.

3.2.5 - Análises químicas e determinações

As amostras de solo foram secadas a 55 ^{o}C, moídas e o fósforo extraído pelo método Mehlich (relação solo: solução, 1:10) (MIELNICZUK et alii, 1969) Nas amostras de solo coletadas para avaliação do sistema radicular foi extraída a solução do solo conforme procedimento descrito por ADAMS (1974). Nesta técnica, o solo colocado em colunas tem a sua solução deslocada, utilizando-se solução de KCNS 0,5%. O teor de P nessas extrações foi determinado pelo método de MURPHY e RILEY (1962).

Nas amostras de solo retiradas das sub-parcelas com tratamento de calcário a lanço, faixa e em linha, determinaram-se os teores de Ca, Mg e Mn trocáveis, através de extração com acetato de amônio 1N a pH 7,0, relação solo-solução 1:10; alumínio trocável com KCl 1N (VETTORI, 1969) e pH em água, relação solo-solução 1:1. Para as amostras de plantas coletadas na época do florescimento, no mesmo extrato

utilizado para análise de P foi analisado Ca, Mg e Mn. O teor de Alumínio foi determinado pelo método "Aluminom" (GREWELING, 1976). A quantidade de matéria seca produzida, teor de P no tecido, comprimento e área de raízes foram determinadas conforme descrito no item 3.1.3.

Determinou-se o rendimento de grãos, utilizando-se três linhas centrais em cada sub-parcela, desprezando-se 1 metro em cada extremo como bordadura. Foi analisado o teor de P no grão, seguindo-se a mesma extração e determinação utilizada para análise de tecido.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Absorção de P em função do suprimento e diferentes frações do sistema radicular

A influência do suprimento de fósforo em diferentes frações do sistema radicular de milho sobre a morfologia e parâmetros de absorção de P foi estudada no experimento conduzido em solução nutritiva em casa de vegetação.

4.1.1. Efeito no crescimento das plantas

Com o suprimento localizado, observou-se um aumento no crescimento das raízes supridas com P em relação as raízes sem P (Tabela 1). Este incremento foi mais evidente na medida em que a fração de raízes que recebeu suprimento externo de P diminuiu, como pode ser visto no tratamento 12,5% + P, que, no final de 21 dias, apresentou 26% das raízes na zona contendo P.

Resultados semelhantes foram encontrados por ANGHINONI (1979), quando a proporção inicial de 25% e 12,5% de raízes na solução com P foi modificada para 36% e 32%, respectivamente, considerando-se o comprimento de raiz em

TABELA 1. Matéria seca produzida, P absorvido e crescimento radicular de plantas de milho, aos 21 dias, em função do suprimento de P a diferentes frações do sistema radicular.

Raízes com P	Parte aérea		Raízes		
	Materia Seca	P absorvido	Matéria Seca	Superfície radicular	
				Total	Solução c/P
%	g/vaso	mg/planta	g/vaso	cm^2/vaso	%
100	8,5	25,2	1,3	5609	100
25	8,8	13,3	1,4	6466	33
12,5	7,2	8,9	1,5	5655	26
DMS 5%	NS	5,5	NS	NS	-

NS = Não significativo.

plantas de milho com 18 dias de idade. Esses resultados demonstram uma compensação da planta, através do crescimento de raízes, quando o suprimento de P é reduzido. Isto ocorre, segundo STRYKER et alii (1974), em razão do melhor aproveitamento dos fotossintatos descendentes utilizados para o crescimento.

Não foram detectadas diferenças na área total de raízes, apesar da tendência do aumento no peso seco, na medida em que a fração de raízes em contato com o P diminuia, devido a um pequeno aumento no raio dessas raízes nesses tratamentos (Apêndice 1). Esses dados diferem dos encontrados por ANGHINONI (1979), quando o desenvolvimento de raízes finas com a diminuição da fração de raízes em contato com o fósforo refletia o pequeno peso seco de raízes observado nesses tratamentos, apesar do comprimento total de raízes não apresentar diferenças. A redução do suprimento de P as raízes, resulta em raízes com menor raio (ANGHINONI e BARBER, 1980a). Isto parece ser um mecanismo pelo qual a planta obtém maior quantidade de P por grama de raiz, através do aumento da área das raízes.

Embora a redução do suprimento determinasse uma redução acentuada no P absorvido pelas plantas, isto não foi suficiente para reduzir significativamente a quantidade de matéria seca da parte aérea (Tabela 1). Resultados semelhantes foram encontrados por JUNGK e BARBER (1974) e ANGHINONI (1979).

A absorção de fósforo por unidade de raiz exposta

ao P foi superior nos tratamentos com menor porção de raízes em contato com este elemento. No tratamento 12,5% das raízes com P, um terço da máxima absorção de P por planta (obtido com todas as raízes expostas ao P) manteve o rendimento de matéria seca semelhante aos demais tratamentos. Isto indica maior eficiência de utilização do fósforo em situações em que a absorção é limitada pelo suprimento externo, sem, no entanto, atingir, necessariamente, níveis deficientes, conforme mostram os teores de P da parte aérea (Tabela 2).

4.1.2. Efeitos nos parâmetros de absorção

Os valores de Vmax na porção de raízes em contato com o P tendem a aumentar com a diminuição da proporção de raízes expostas ao P (Tabela 2). Plantas com menos raízes recebendo P apresentaram um menor teor de P na parte aérea e, também, nas raízes, tanto na porção com P como na sem P. A tendência de aumento no Vmax, quando a proporção de raízes com P diminui de 100% para 25% (1,77 para 2,35), parece estar mais relacionado à diminuição no teor de P na parte aérea do que na diminuição no teor de P das raízes.

Não foram verificadas diferenças nos valores de Km e Cmin entre os tratamentos, embora no tratamento 12,5% + P os valores de Cmin sejam mais baixos que nos demais. O alto valor de Vmax associado a seu baixo Cmin, verificado nesse caso, definem a maior eficiência de absorção quando

TABELA 2. Parâmetros cinéticos de absorção e teores de P da parte aérea e da raiz de plantas de milho aos 21 dias após a germinação em função do suprimento de P a diferentes frações do sistema radicular.

Tratamentos	Parâmetros de absorção			Concentração de P	
	Vmax	Km	Cmin	Parte aérea	Raiz
%	nmoles.cm^{-2}h^{-1}	µM	µM	%	%
100 + P	1,77	3,1	0,42	0,86	0,38
25 + P	2,35	3,6	0,46	0,47	0,32
75 - P	1,61	4,6	0,40		0,20
12,5 + P	2,49	3,4	0,22	0,37	0,24
87,5 - P	2,20	3,9	0,25		0,15
DMS 5%	NS	NS	NS	0,09	0,07

NS = Não significativo.

apenas uma porção de raízes é suprida com P. ANGHINONI (1979) encontrou valores de Vmax, Km e Cmin crescentes com o decréscimo da proporção de raízes expostas ao P, para tratamentos que variavam de 100 a 12,5% das raízes iniciais em contato com esse elemento.

Os dados de Vmax e Km da Tabela 2 colocados na Equação 1 (MICHAELIS - MENTEN), que descreve a absorção de um íon em função de sua concentração na solução, originam as curvas da Figura 1. Verifica-se que, mesmo em baixas concentrações (2μM de P), a taxa de absorção de P aumenta com o decréscimo da proporção de raízes exposta ao P. Considerando-se que os valores de Km e Cmin foram mais semelhantes entre os tratamentos, os valores de Vmax determinaram o comportamento diferencial das curvas. Para o tratamento 100% de raízes com P, em que a Vmax é baixa, a taxa de absorção de P é inferior aos demais tratamentos. Aumentos na taxa de absorção de P com a redução da proporção de raízes de soja em contato com o P, também foram verificados por EDWARDS e BARBER (1976).

Na medida em que as plantas tendem a se tornar deficientes em P, em virtude de um baixo suprimento, segundo BARBER (1981), o comportamento da planta parece ser modificado de modo a aumentar a taxa de absorção e manter a concentração de P a níveis adequados a um crescimento normal.

Os valores de Vmax no presente trabalho apresentaram uma tendência de aumento com o decréscimo na concentração de P, tanto na parte aérea como na raiz (Tabela 2). Torna-se assim difícil definir

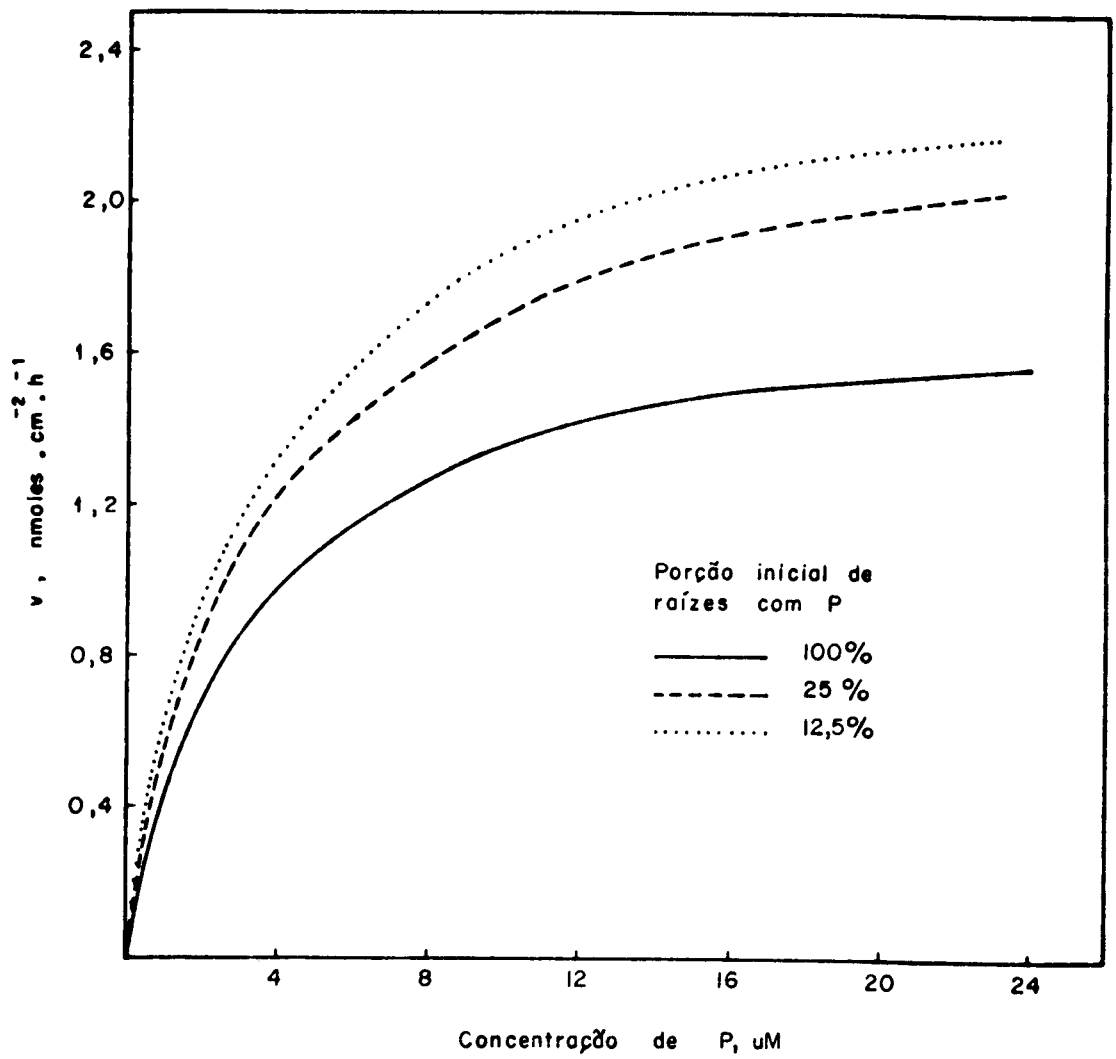


FIGURA 1. Taxa de absorção de P do milho em função da concentração e diferentes frações do sistema radicular supridas com P.

qual parte da planta (parte aérea ou raízes) regula a absorção de P. ANGHINONI (1979) encontrou melhor correlação entre os crescentes valores de Vmax e decrescentes concentrações de P na raiz do milho, quando comparada com as decrescentes concentrações de P da parte aérea, na análise conjunta de experimentos onde diferentes proporções de raízes eram expostas ao P e onde as raízes eram mantidas por diferentes períodos sem receber P. A partir disto, foi proposto que mudanças na absorção de P seriam comandadas pela concentração de P na raiz. No presente trabalho, os parâmetros cinéticos de absorção de P também foram determinados nas raízes que não foram supridas com P (Tabela 2). Se a raiz da planta fosse a parte encarregada de regular a absorção de P, os tratamentos 75% -P e 87,5% -P que possuem menor concentração de P na raiz, deveriam apresentar os mais altos valores de Vmax. Em função disso, sugere-se que a taxa de absorção de P pelas raízes é determinada pela parte aérea da planta. O fósforo, uma vez no tecido foliar, seria metabolizado e translocado para as raízes (com ou sem P), na forma de compostos orgânicos. Evidências de que a parte aérea regularia a absorção de K por plantas de milho foram apresentadas por CLAASSEN (1975).

4.2. Efeitos imediatos e residuais da aplicação de superfosfato triplo em diferentes métodos sobre parâmetros de planta e solo

4.2.1 - Com a aplicação de uma mesma dose de superfosfato triplo

Avaliou-se, a campo, a influência da aplicação de 100 Kg P_2O_5/ha a lanço, em faixas e em linhas sobre os teores de P no solo, crescimento radicular, absorção de P e rendimento de matéria seca e grãos de plantas de milho.

Foram observados efeitos significativos dos métodos de aplicação de P sobre o teor de P extraível (método Mehlich) e P na solução do solo, a diferentes distâncias do caule do milho, tanto na aplicação na semeadura como no residual de 1 ano (Tabela 3). Essas amostras foram retiradas com cubos de 10 cm de lado acompanhando o sistema radicular da planta, perpendicular à linha. Para as duas épocas de aplicação, no tratamento a lanço, os teores de P nas quatro distâncias amostradas não diferiam. Já nas aplicações em faixa e em linha, os teores de P extraível e na solução diferem e são maiores na zona de solo que compreende a aplicação do adubo. Nesses tratamentos o aumento no teor de P da solução através da localização do fertilizante promove uma maior disponibilidade de P para as plantas (YOST et alii, 1979; BARBER, 1981). Os teores de P extraível próximo a planta para a aplicação em faixa e em linha

TABELA 3. Teores de P extraível e P solução[1] em solo Durox em função da aplicação de 100 Kg P O /ha, na forma de superfosfato triplo, métodos de aplicação de P e distância do caule da planta aos 60 dias após semeadura.

Distância do caule	Método de aplicação					
	Lanço		Faixa		Linha	
	P-Mehlich	P-Sol.	P-Mehlich	P-Sol.	P-Mehlich	P-Sol.
cm	ppm	µM	ppm	µM	ppm	µM
..... P na semeadura						
10	4,2	0,8	12,8	1,4	36,4	5,8
20	3,7	0,9	5,4	0,8	2,0	1,2
30	2,7	1,0	3,0	0,7	1,3	0,9
40	2,5	0,7	2,8	0,4	1,2	0,9
..... P residual 1 ano						
10	3,7	1,1	5,7	1,1	33,4	2,5
20	3,6	0,9	4,6	0,9	1,7	1,1
30	4,3	1,0	3,1	0,9	1,3	0,9
40	3,6	1,1	2,9	0,9	1,3	0,7

DMS 5% (Distância x Métodos): P extraível - 6,1 ppm; P solução - 0,46 µM

1 - P na solução obtido pela técnica de deslocamento em colunas (ADAMS, 1974).

(semeadura) e em linha (residual de 1 ano) estão acima do teor considerado como nível crítico de P em solos argilosos (9 ppm) o que não ocorreu com a aplicação a lanço.

Os teores de P na solução em todos os tratamentos apresentados são baixos em virtude da alta capacidade de retenção de P do solo DUROX, conferindo-lhe um alto poder tampão de P. Isto, entretanto, pode não ser necessariamente limitante para as plantas. Tanto os teores de P extraível e na solução no residual de 1 ano são menores do que na aplicação feita na semeadura (Tabela 3), em conseqüência da maior reação do adubo com o solo e da retirada da cultura.

Considerando-se que o desenvolvimento do sistema radicular fosse afetado pela disponibilidade de P no solo, esperava-se que a área de raízes refletisse as diferenças nos valores de P devido ao método de aplicação do fertilizante (Tabela 3). Entretanto, no presente trabalho o desenvolvimento de raízes a partir do colmo da planta foi semelhante para os três métodos de aplicação (Figura 2), não refletindo os teores de P extraível e/ou na solução. A partir de observações de STRYKER et alii (1974), MILLER e OHLROGGE (1958) e ROBERTSON et alii (1966), esperava-se um maior crescimento de raízes para os tratamentos em faixa e em linha na primeira distância do caule da planta.

Não foram detectadas diferenças significativas (ao nível testado) para os parâmetros de planta em função do método de aplicação do fertilizante, tanto no seu efeito

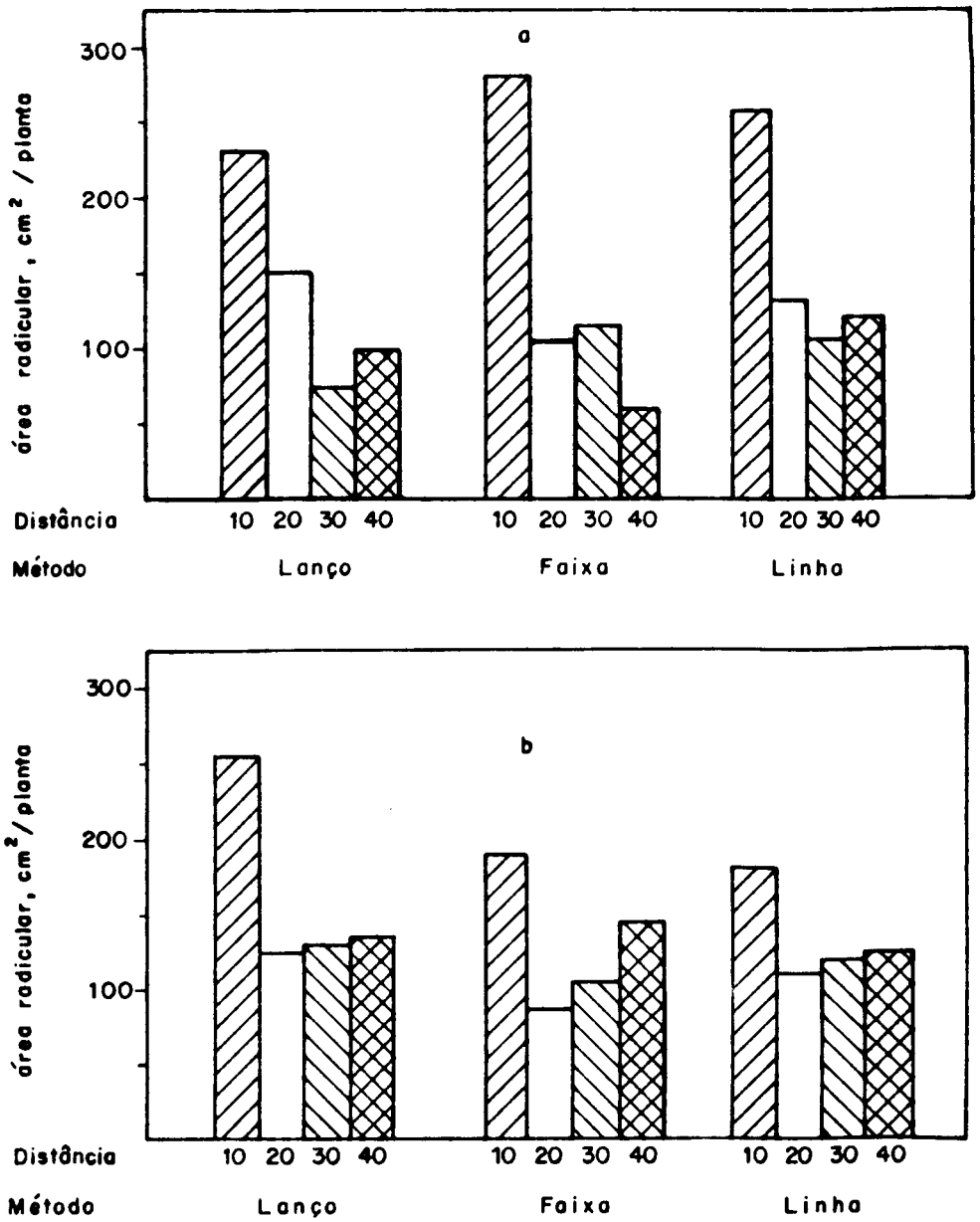


FIGURA 2. Área radicular de milho em Solo Durox, em função da aplicação de 100 kg P_2O_5/ha na forma de Superfosfato triplo, métodos de aplicação e distância do caule da planta.
a - efeito imediato
b - residual de 1 ano

imediato como residual de 1 ano (Tabelas 5 e 6). Para determinação de matéria seca e P absorvido, foram utilizadas três plantas da bordadura por parcela, o que coloca dúvidas sobre a representatividade dessa amostragem. Isto, somado à alta incidência de plantas invasoras, determinou os altos coeficientes de variação verificados (entre 40 a 50%), responsáveis pela não significância dos dados. Entretanto, os resultados serão discutidos em função das tendências apresentadas, relacionando-as com as expectativas das hipóteses levantadas.

No efeito imediato da aplicação de P, nota-se que à medida que o fertilizante foi sendo localizado no solo, houve uma tendência de aumento na área de raízes, no teor de P absorvido e na matéria seca produzida pelas plantas aos 60 dias após a semeadura (Tabela 4). Esses dados concordam com os obtidos por MILLER e OHLROGGE (1958), YOST et alii (1979) e TREBIEN (1980) em que a redução do volume de solo fertilizado estimulou o crescimento de raízes, promovendo uma maior absorção de P. Justifica-se neste caso que as aplicações localizadas de P podem modificar a morfologia e distribuição do sistema radicular. Para Mc LACHLAN (1976) o crescimento e a eficiência de utilização de fósforo por *plantas forrageiras estão relacionados* com a morfologia e a taxa de crescimento das raízes. O surgimento de raízes finas (maior comprimento/g de raiz), em presença de altas concentrações de P, causa maior absorção de P pelas plantas, por efeito de localização do fertilizante, o que confirma

TABELA 4. Área radicular, P absorvido e rendimento de matéria seca por plantas de milho aos 60 dias após a semeadura em solo Durox, em função da aplicação de 100 kg P_2O_5/ha na forma de superfosfato triplo, métodos de aplicação e tempo de aplicação do P.

Aplicação	Método	Área total raízes	P absorvido	Matéria seca
		cm^2/planta	mg/planta	g/planta
Imediato	Lanço	547	31,7	15,9
	Faixa	552	34,8	17,9
	Linha	559	36,3	20,2
Residual	Lanço	616	50,7	23,7
	Faixa	510	42,7	22,1
	Linha	508	37,5	21,4
DMS 5%		NS	NS	NS

NS = Não significativo.

TABELA 5. P absorvido na floração e rendimento relativo de milho em solo Durox em função da aplicação de 100 kg P_2O_5/ha na forma de superfosfato triplo, métodos de aplicação de P e tempo de aplicação.

Aplicação	Método	P absorvido	Rendimento relativo (grãos)
		mg/planta	%
Imediato	Lanço	159,3	100
	Faixa	121,2	112
	Linha	161,0	94
Residual	Lanço	195,5	105
	Faixa	130,3	106
	Linha	117,2	116
	Linha + Faixa[1]	131,7	119
DMS 5%		NS	

1 - Aplicação de 50 kg P_2O_5/ha em linha + 50 kg P_2O_5/ha em faixa.

NS = Não significativo.

as observações de DUNCAN e OHLROGGE (1959).

Na avaliação do efeito residual de 1 ano, encontrou-se um comportamento inverso, embora não significativo, do anteriormente apresentado. A aplicação do fertilizante a lanço promoveu os maiores valores de P absorvido pelo milho, área de raízes e matéria seca. Esperava-se esse comportamento na localização do fertilizante, promovida pela menor reação com o solo, o que aumentaria o efeito residual (ALESSI e POWER, 1980). Se, de um lado, os dados de P no solo e P na solução (Tabela 3) não justificam esses altos valores para a aplicação a lanço, por outro lado, decréscimos no desenvolvimento de raízes com a adição de fósforo foi verificado por ASHER e LONERAGAN (1967) em experimentos em solução nutritiva e BREWSTER et alii (1976) em experimentos com solo em casa de vegetação. O aumento no crescimento de raízes e também na absorção de fósforo pode ser atribuído a um estímulo da planta quando o teor de P no tecido é prejudicado devido à baixa disponibilidade de P no solo.

Além dos teores de P absorvidos no florescimento e o rendimento relativo de grãos não apresentaram diferenças significativas entre os métodos (Tabela 5),os dados não coincidem com os apresentados na Tabela 4. Nos tratamentos onde o P absorvido tende a ser maior não apresentaram os maiores rendimentos. O maior rendimento relativo de grãos para a aplicação de 100 kg P_2O_5/ha na semeadura foi obtido com o método em faixas e com residual na aplicação em linha. Nota-se, entretanto, que os valores de P absorvido nesses dois casos,

121 e 117 mg/planta, respectivamente tendem a ser menores que nos demais métodos, significando que o P absorvido pela planta não foi unicamente utilizado para a formação de grãos ou não estaria representando o tratamento, pois foram determinados em duas plantas da bordadura. O alto rendimento alcançado com o residual da aplicação combinada de linha + faixa reflete a alta eficiência da combinação de P em torno das raízes.

4.2.2. Com a aplicação de doses de Superfosfato Triplo

A aplicação de doses de P sob diferentes métodos na semeadura e como residual de 1 ano foi avaliada a campo, quanto ao teor de P no solo, absorção de P e rendimento de matéria seca e grãos de milho.

Os dados de P extraível pelo método Mehlich (Tabela 6), em função dos métodos de aplicação tanto na semeadura como no residual de 1 ano foram crescentes com as doses aplicadas. Na região de solo entre faixa e entre linha, como são zonas de solo que não receberam a aplicação de fertilizante fosfatado, os teores de P deveriam ser semelhantes ao da parcela testemunha (sem aplicação de fósforo). O aumento nesses teores com o aumento da dose, pode ser atribuído a possível contaminação devida às capinas efetuadas para eliminar as invasoras. A interação significativa entre doses e métodos de aplicação (no residual de 1 ano) é

TABELA 6. Teores de P extraível pelo método Mehlich em solo Durox, em função de doses de P_2O_5 e métodos de aplicação de P na semeadura e como residual de 1 ano.

P_2O_5 aplicado	Método	P - Mehlich	
		Residual	Imediato
--- kg/ha ---		------- ppm -------	
0	-	1,3	1,7
50	Lanço	1,7	1,9
100	Lanço	2,1	4,3
200	Lanço	3,0	7,0
400	Lanço	5,0	13,8
50	Faixa	2,5	
100	Faixa	4,5	3,4
200	Faixa	16,4	
50	Linha	2,4	
100	Linha	7,6	7,2
200	Linha	25,9	
50	entre Faixa	1,6	
100	entre Faixa	2,0	2,3
200	entre Faixa	2,6	
50	entre Linha	1,4	
100	entre Linha	1,9	1,8
200	entre Linha	2,2	
DMS 5%	(Doses x Métodos)	3,4	NS

NS - Não significativo.

visualizada pelo aumento da disponibilidade de P no solo com a localização do fertilizante, sendo esse aumento proporcionalmente maior na medida em que aumenta a dose aplicada. Aumentos na disponibilidade de P com a localização do fertilizante em soja foram verificados por HANSON (1978).

O efeito residual da aplicação localizada manteve-se alto e similar ao efeito da aplicação desses tratamentos por ocasião da semeadura, como demonstram os valores de 4,5 e 3,4 ppm de P para o tratamento em faixa e 7,6 e 7,2 para o tratamento em linha, respectivamente, como residual e aplicação na semeadura. HANSON (1978) encontrou com a aplicação de 70 kg P/ha teores no solo de 4,8 ppm em um primeiro cultivo de soja contra 6,8 ppm em um segundo cultivo. Esse comportamento, semelhante ao verificado no presente trabalho, pode ser atribuído à menor insolubilização do P com as aplicações localizadas mantendo a sua disponibilidade para cultivos seguintes.

Embora as diferenças em muitos casos fossem consideráveis, não foram encontradas diferenças significativas entre as doses e métodos de aplicação de P para P absorvido, rendimento de matéria seca, P retirado pela cultura e rendimento de grãos,em que os tratamentos eram o residual de 1 ano.

A análise dos dados da Figura 3 mostram apenas, uma pequena resposta às doses de P aplicadas, não havendo diferenças entre os métodos de aplicação. Esperava-se resultados superiores para as aplicações localizadas, pois, sendo efeito residual, as aplicações a lanço possuem desvantagens

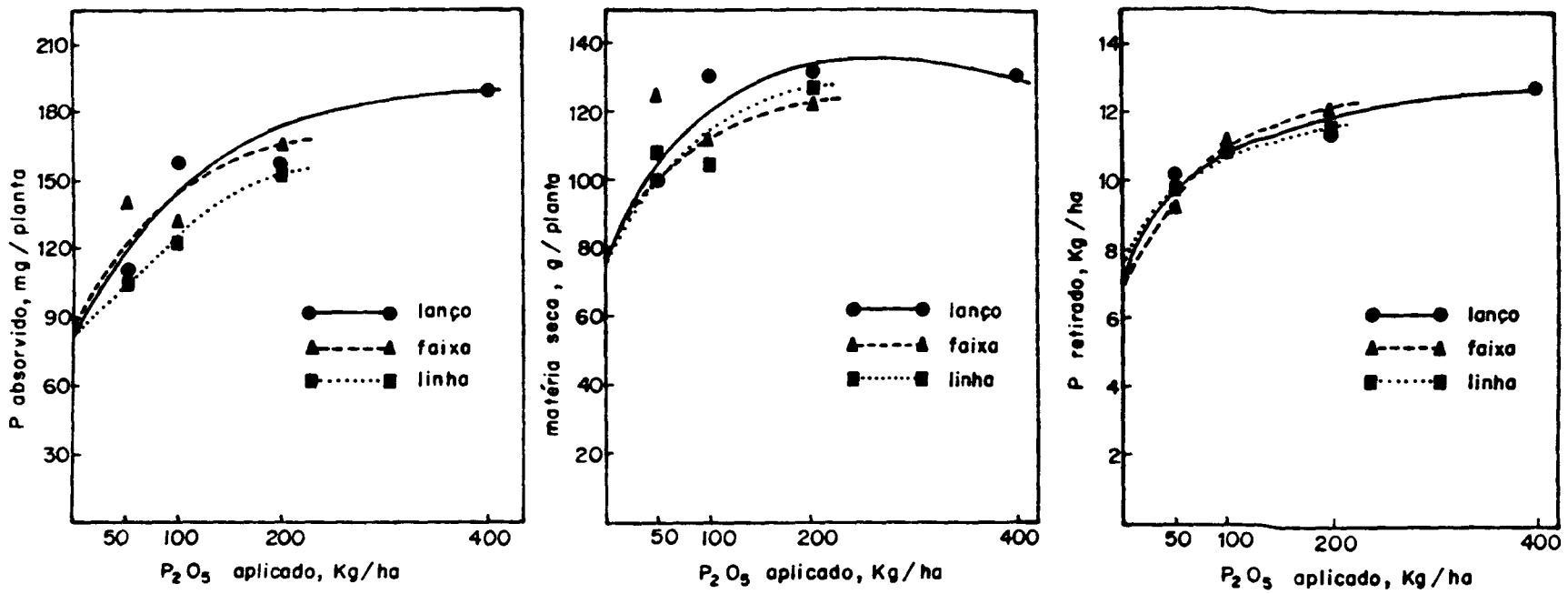


FIGURA 3. P absorvido, rendimento de matéria seca e P extraído por plantas de milho em solo Durox, em função de doses de P como residual de 1 ano e métodos de aplicação de P.

em relação às efetuadas em faixa e em linha, em virtude da maior reação e insolubilidade do P com o solo. O solo utilizado no experimento, embora apresente um baixo P extraível e principalmente baixo P na solução, como verificado no presente trabalho, possui um alto teor de P adsorvido e conseqüente poder tampão de P, segundo VOLKWEISS (1973) em trabalho com solo com as mesmas características. Isto aumenta o poder de suprimento de P mesmo na testemunha, diminuindo a probabilidade de resposta dos tratamentos, já que 70% do máximo rendimento de matéria seca foi obtido com o tratamento zero Kg P_2O_5/ha (Apêndice 8).

As curvas de rendimento de grãos para os três métodos apresentadas na Figura 4 mostram que, para as doses de 50 e 100 Kg P_2O_5/ha, apesar da não significância, para método de aplicação em linha os rendimentos tendem a ser maiores, o que demonstra a possibilidade de aumento no efeito residual do fósforo, quando o fertilizante é aplicado em menor volume do solo. Aumentos no efeito residual com a aplicação localizada de P foram verificados por HANSON (1978) com soja, ALESSI e POWER (1980) com trigo e YOST et alii (1979) com milho. Nesses casos o retardamento das reações de insolubilização do P com a localização aumentam a sua eficiência de utilização em cultivos seguintes.

TREBIEN (1980), analisando o efeito imediato deste mesmo experimento (safra 78/79), não encontrou diferenças entre métodos para rendimento de grãos, atribuindo o fato ao longo período de estiagem ocorrido durante o crescimento do milho, que limitou a resposta da cultura à aplicação de

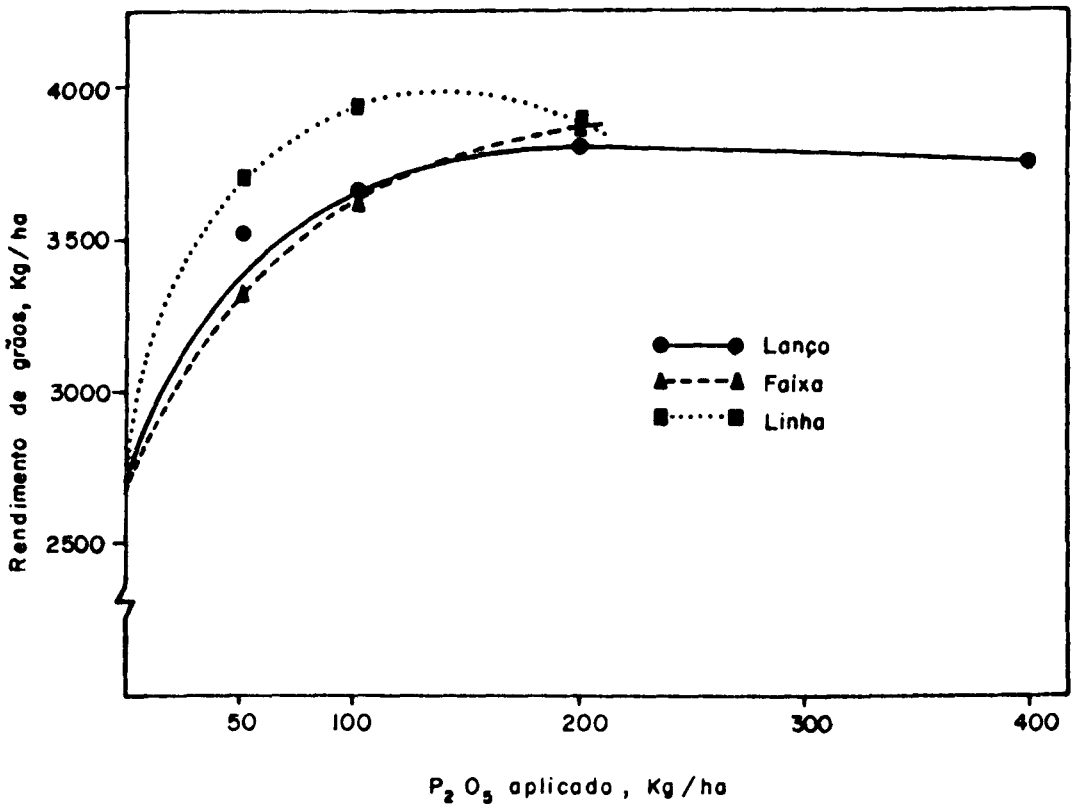


FIGURA 4. Rendimento de grãos de milho em solo Durox em função da aplicação de doses de P_2O_5 na forma de Superfosfato triplo em residual de 1 ano e métodos de aplicação de P.

fósforo. Mesmo assim, observou que a aplicação do fósforo em faixas resultou nos mais baixos rendimentos de matéria seca, não existindo diferenças entre a aplicação a lanço e em linha.

Tendências de maiores rendimentos verificados no presente trabalho, com as doses menores de P aplicadas em linha, concordam com as previsões feitas através de modêlos matemáticos por ANGHINONI (1979), em que doses baixas de P aumentam a sua eficiência quanto à absorção de P e o rendimento de matéria seca do milho, quando incorporadas em um menor volume de solo.

O efeito residual verificado, é expresso na Figura 5, onde as curvas de rendimento de grãos e matéria seca para as duas épocas de aplicação de fósforo a lanço são muito próximas. Os valores de 90 e 130 Kg P_2O_5/ha, respectivamente, os equivalentes em superfosfato triplo que originam 90% do rendimento máximo de grãos, para a aplicação recente e como residual, comprovam um efeito residual em torno de 70%. A ausência de revolvimento do solo, desde a instalação da área (TREBIEN, 1980), parece ter contribuído para o aumento no efeito residual, diminuindo a fixação do P após a dissolução dos grânulos do fertilizante. Aumentos no efeito residual do P na ausência do revolvimento do solo, também foram observados em vasos por SOUSA (1980) e OLIVEIRA (1981) em cultivos de milho e trigo, respectivamente.

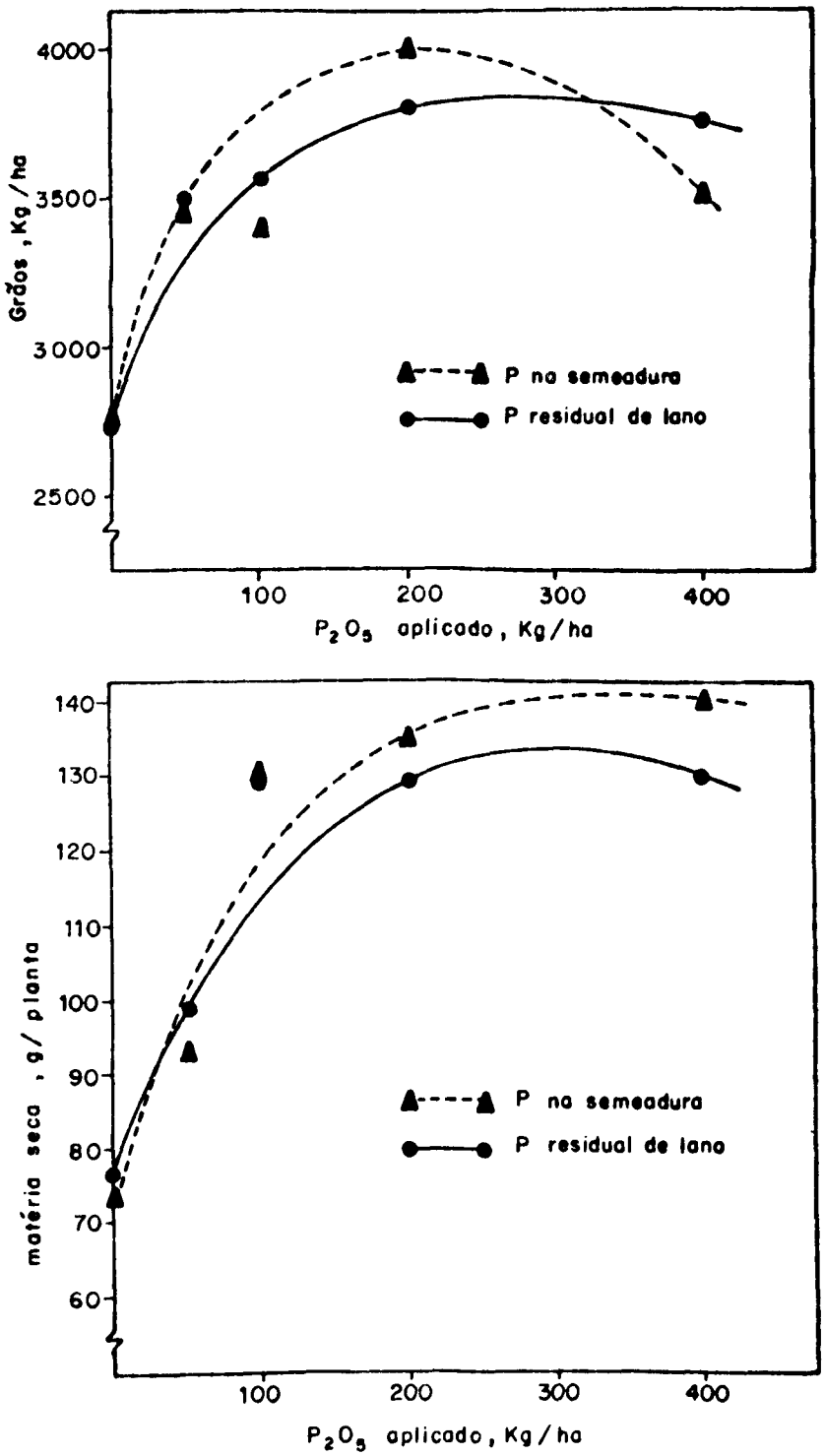


FIGURA 5. Rendimento de grãos e rendimento de matéria seca de milho cultivado em solo Durox em função de doses de P_2O_5 aplicadas a lanço.

4.3. Efeitos da aplicação de calcário sobre a correção da acidez, absorção de nutrientes e rendimento de milho

4.3.1. Efeito residual da aplicação de calcário em diferentes frações de solo em quantidades proporcionais à dose a lanço

A aplicação de calcário a lanço, 14 meses antes da semeadura do milho, mostrou-se significativamente superior quanto ao rendimento de matéria seca e grãos, em relação a aplicação em faixa e em linha (Figura 6). Para rendimento de grãos não foram verificadas diferenças entre os tratamentos s/calcário e calcário em linha. Para rendimento de matéria seca, diferenças significativas foram encontradas somente entre os tratamentos s/calcário e calcário a lanço.

TREBIEN (1980), no mesmo experimento, encontrou para a aplicação de calcário 3 meses antes da semeadura rendimentos relativos de grãos para as aplicações a lanço, em faixa e em linha de 100%, 97% e 89%, respectivamente. Esses dados comparados com os verificados no presente trabalho, que são de 100%, 84% e 79% para as aplicações a lanço, em faixa e em linha, respectivamente, refletem queda deste efeito nas aplicações localizadas. LIN e SHEN (1977) e FOX (1979) observaram rendimentos de milho crescentes com a aplicação a lanço de 6 a 9t de calcário por ha, respectivamente, até um terceiro cultivo. Segundo esses autores, os rendimentos nos

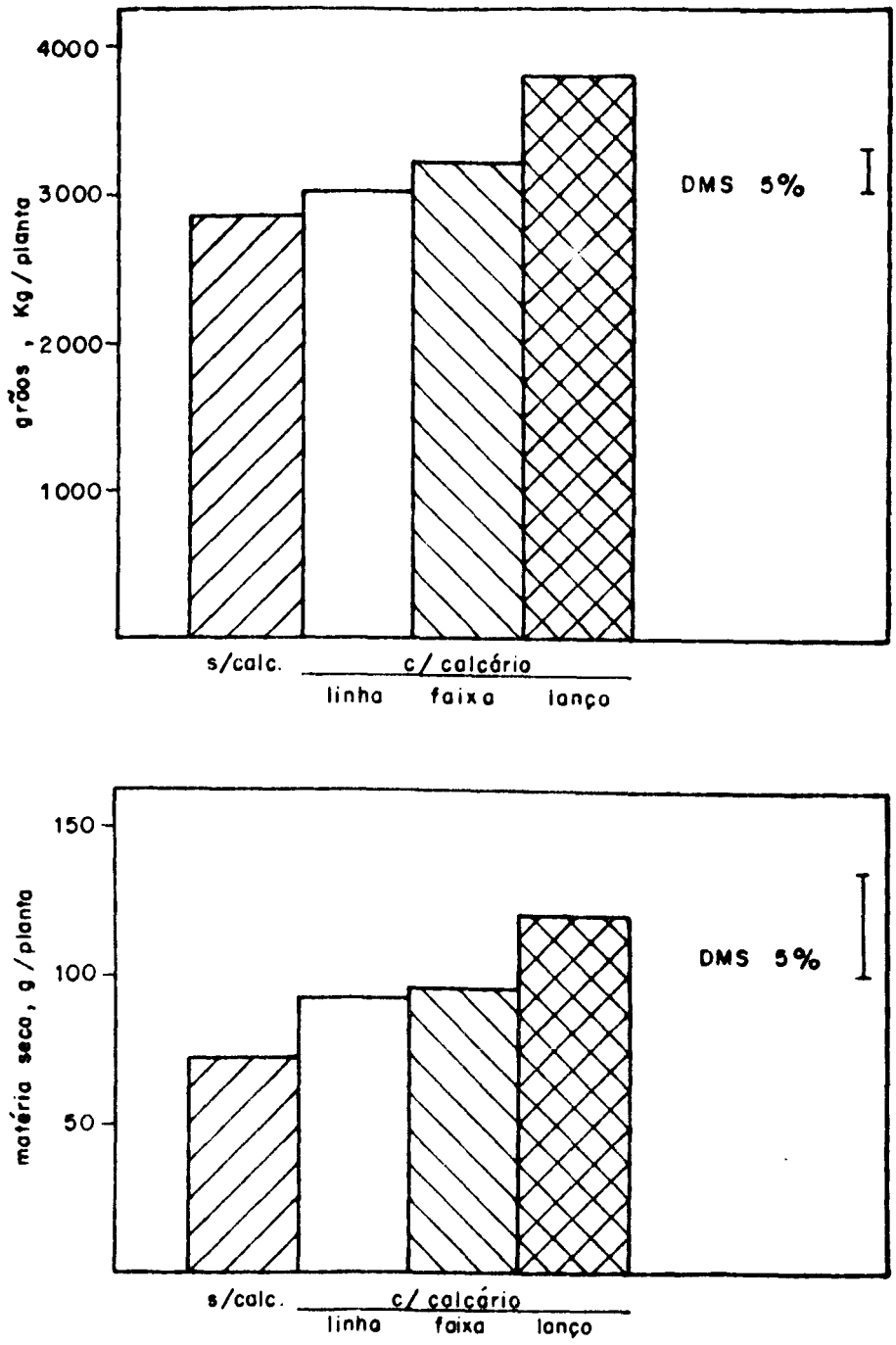


FIGURA 6. Rendimento de grãos e matéria seca de milho na floração em função de métodos de aplicação de calcário em Solo Durox, e aplicação de 200 Kg P_2O_5/ha a lanço (como residual de 1 ano).

anos seguintes podem ser até maiores, pois grande parte do calcário ainda não reagiu com o solo.

Os maiores rendimentos verificados com a aplicação a lanço refletem os aumentos de pH, Ca e Mg no solo e Ca e Mg no tecido da planta alcançados com esse tratamento associados à maior diminuição dos teores tóxicos de Al e Mn (Tabelas 7 e 8). A aplicação de calcário em linha manteve um maior teor de P na zona de aplicação, em relação ao tratamento sem calcário e calcário a lanço. Todos os tratamentos apresentaram teores de Al superiores a 0,3 - 0,4 me/100g, considerados como tóxicos por FOX (1979). Contudo, segundo os dados da Tabela 7, somente para a aplicação de calcário a lanço verificou-se teores de Mn no solo inferiores a 25 ppm, limite considerado como tóxico por VOLKWEISS e LUDWICK (1969) e saturação de alumínio inferior a 15% indicado por PEARSON (1975) e FOX (1979) como máxima tolerável para um ótimo desenvolvimento de milho.

Os teores de fósforo na parte aérea da planta não apresentaram diferenças quanto aos tratamentos (Tabela 8) e estão na faixa considerada como "deficiente" em milho (menos que 0,15%) segundo JONES (1969). No presente trabalho, teores de 0,18% foram somente obtidos nos tratamentos mais elevados em fósforo. Os teores de Ca e Mg no tratamento a lanço são próximos da faixa de 0,20 a 0,50%, consideradas como "suficientes" pelo mesmo autor. Em todos os tratamentos os teores de Mn e Al são inferiores a 150 e 200 ppm respectivamente, avaliados como tóxicos.

TABELA 7. Teores de P extraível[1], Ca, Mg, Al e Mn trocáveis[2], Saturação de Al e pH em solo Durox em função da aplicação de calcário em diferentes frações do solo (efeito residual de 14 meses).

Métodos aplicação calcário	P	Ca	Mg	Al	Saturação Al	Mn	pH
	ppm	---	me/100g	---	%	ppm	
Lanço	3,0	3,7	0,83	0,7	12,2	20	5,0
Faixa	4,2	3,1	0,69	1,2	22,0	26	4,8
Linha	4,6	2,3	0,62	1,8	35,0	30	4,6
entre faixa[4]	2,6	1,4	0,43	2,8	56,0	38	4,3
entre linha[4]	3,5	1,3	0,43	2,8	57,0	40	4,4
s/calcário	2,7	1,1	0,45	2,9	60,0	36	4,3
DMS 5%	1,0	0,90	0,16	0,7	15	6	0,3

1 - Método Mehlich

2 - Ca, Mg e Mn extraídos com Acetato Amônio 1 N
Al extraído com KCl 1 N

3 - Calculado como: Al(me/100 g)/Ca + Mg + K + Al (me/100 g) . 100

4 - Amostragem feita na área de solo não compreendida pela faixa e/ou linha de calcário.

TABELA 8. Teores de P, Ca, Mg, Al e Mn na parte aérea de milho na época da floração em função da aplicação de calcário em diferentes frações do solo após 14 meses da aplicação.

Método Aplicação Calcário	P	Ca	Mg	Al	Mn
	---------- % ----------			---- ppm ---	
Lanço	0,12	0,19	0,22	58	46
Faixa	0,12	0,18	0,20	113	64
Linha	0,13	0,16	0,19	106	70
S/calcário	0,11	0,14	0,18	126	66
DMS 5%	NS	NS	NS	NS	NS

NS = Não significativo.

4.3.2. Efeitos imediatos da interação calcário-fósforo

Verificou-se uma interação significativa entre a aplicação de calcário a lanço três meses antes da semeadura e a aplicação de P na semeadura, através do rendimento de grãos e de matéria seca (Figura 7). O efeito da aplicação de calcário para grãos e matéria seca foi maior no nível baixo de fósforo (0 kg P_2O_5/ha), assim como o efeito da aplicação de P foi mais evidente nos tratamentos com ausência de calcário. Os aumentos de grãos e matéria seca constatados com a aplicação de calcário são explicados pelos aumentos nos valores de pH, na disponibilidade de P, Ca e Mg e na diminuição dos teores de Al e Mn (Tabela 9). O aumento no teor de P em decorrência da aplicação de calcário foi maior no tratamento com 200 kg P_2O_5/ha. Teores semelhantes de P no mesmo solo foram verificados por VOLKWEISS (1970) com a aplicação de 10,2 t de calcário por ha.

Os teores de elementos na parte aérea da planta, apresentados na Tabela 10, são o reflexo do comportamento desses elementos no solo. Tanto nas parcelas com ou sem aplicação de P, a aplicação de calcário a lanço aumentou significativamente os teores de P, Ca e Mg no tecido da planta, diminuindo os teores de Al e Mn.

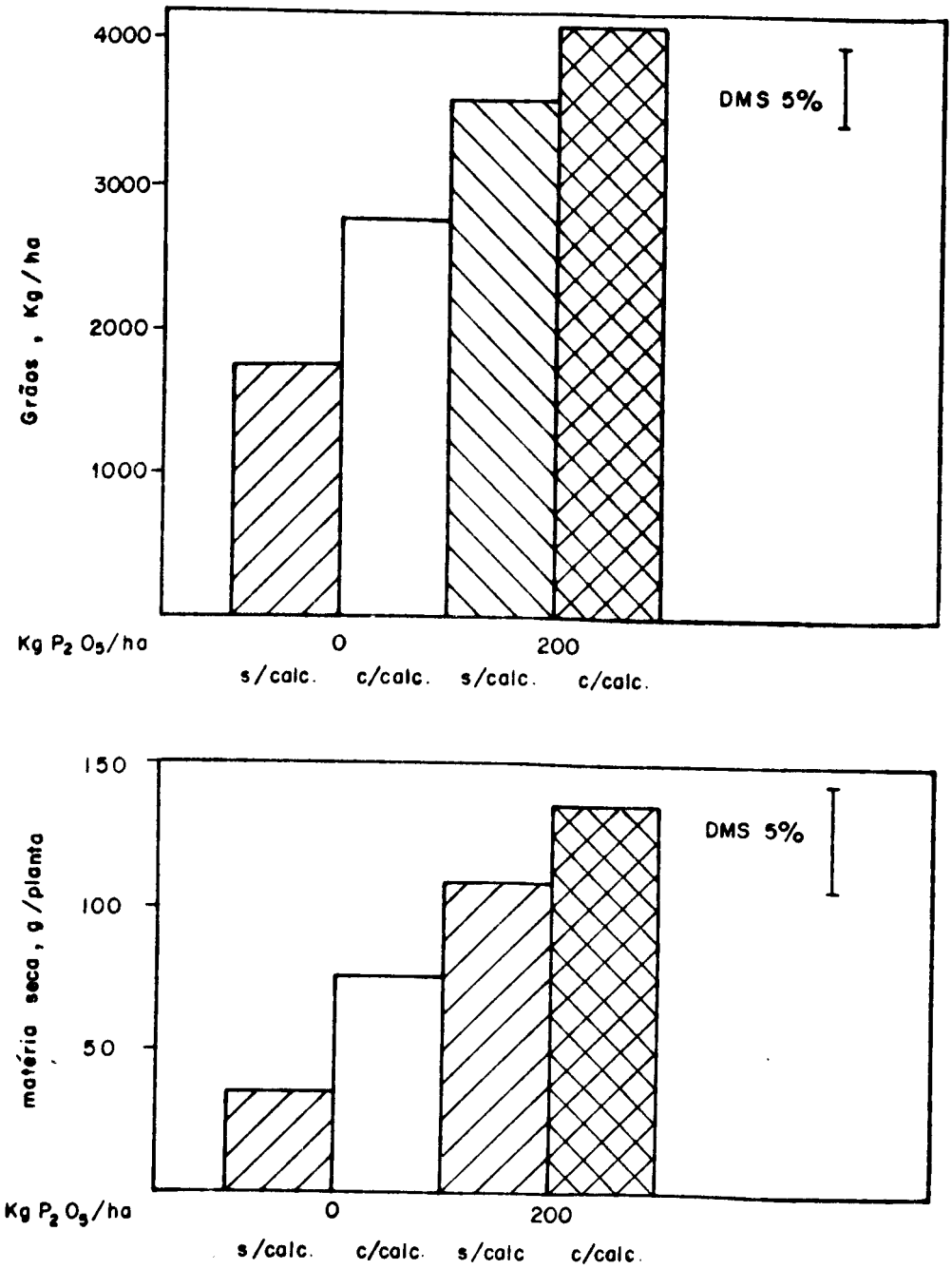


FIGURA 7. Rendimento de grãos e de matéria seca do milho no estágio da floração em função da aplicação de P e calcário a lanço na semeadura, em solo Durox.

TABELA 9 . Teores de P extraível[1], Ca, Mg, Al e Mn trocáveis[2], Saturação de Al e pH em solo Durox em função da aplicação de 0 e 200 kg P_2O_5/ha a lanço e aplicação de calcário a lanço três meses antes da semeadura do milho.

Dose P_2O_5	Calcário	P	Ca	Mg	Al	Saturação Al	Mn	pH
Kg/ha		ppm	---	me/100g	---	%	ppm	
0	c/calcário	1,8	6,9	0,87	0,2	2,4	18	5,4
	s/calcário	1,6	1,3	0,39	2,8	57,0	52	4,3
200	c/calcário	7,0	4,7	0,81	0,4	6,3	26	5,2
	s/calcário	5,1	1,0	0,34	3,1	64,0	56	4,3
DMS 5%	fósforo	0,5	NS	NS	NS	NS	NS	NS
DMS 5%	calcário	0,4	1,6	0,10	0,3	7,2	8	0,4
DMS 5%	fósfo.xcalc.	0,5	NS	NS	NS	NS	NS	NS

1 - Método Mehlich

2 - Ca, Mg e Mn extraídos com Acetato Amônio 1N
Al extraído com KCl 1N

3 - Calculado como: Al(me/100 g)/Ca + Mg + K + Al (me/100 g) . 100

NS = Não significativo.

TABELA 10. Teores de P, Ca, Mg, Al e Mn na parte aérea de milho na época da floração em função da aplicação a lanço de 0 e 200 kg P_2O_5/ha e aplicação de calcário a lanço três meses antes da semeadura.

Dose P_2O_5	Calcário	P	Ca	Mg	Al	Mn
Kg/ha		-------- % --------			---- ppm ---	
0	c/calcário	0,12	0,23	0,23	74	44,6
	s/calcário	0,10	0,16	0,20	215	68,4
200	c/calcário	0,13	0,23	0,20	68	46,9
	s/calcário	0,11	0,13	0,15	181	71,4
DMS 5%	fósforo	NS	NS	NS	NS	NS
DMS 5%	calcário	NS	0,04	0,11	82	21,0
DMS 5%	fósf.x calc.	NS	NS	NS	NS	NS

NS = Não significativo.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho permitem concluir que:

a) O suprimento de P à parte do sistema radicular não afetou o crescimento do milho em solução nutritiva. Nas mesmas condições, determinou um incremento no crescimento de raízes e na taxa de absorção de P na fração suprida com este nutriente. A taxa de absorção de P parece estar mais relacionada com a demanda da parte aérea do que com a da raiz.

b) Aplicações localizadas de superfosfato triplo (faixa e linha) aumentaram o teor de P na fração fertilizada de solo. Isto, no entanto, não afetou o crescimento e distribuição de raízes, P absorvido e rendimento de matéria seca e grãos de milho, tanto no seu efeito imediato como no residual de 1 ano.

c) O efeito da aplicação de calcário a lanço após 14 meses foi maior que a aplicação em faixa ou em linha.

6. BIBLIOGRAFIA CITADA

ABRÃO, J.R. 1975. Efeito do calcário aplicado em diversas profundidades do solo e da subsolagem, na sucessão Trigo/Soja. In: REUNIÃO CONJUNTA DE PESQUISA DA SOJA RS/SC, 3a., Porto Alegre, Agosto de 1975. *Contribuição do Centro de Experimentação e Pesquisa - CEP - da FECOTRIGO à IIIa. Reunião Conjunta de Pesquisa da Soja.* Cruz Alta (RS), FECOTRIGO. p.48-52.

ABRÃO, J.R. & ROSITO, C. 1976. Efeito da aplicação de calcário a lanço, em linha e misturado com adubo no sulco de plantio da soja. In: REUNIÃO CONJUNTA DE PESQUISA DA SOJA RS/SC, 4a., Santa Maria (RS), Agosto de 1976. *Contribuição do Centro de Experimentação e Pesquisa - CEP - da FECOTRIGO à IVa. Reunião Conjunta de Pesquisa da Soja.* Cruz Alta (RS), FECOTRIGO. p.48-53.

ADAMS, F. 1974. Soil solution. In: CARSON, E.W., ed. *The plant root and its environment.* Charlottesville, University Press of Virginia. Cap. 19, p.441-485.

ALESSI, J. & POWER, J.F. 1980. Effects of banded and residual fertilizer phosphorus on dryland spring wheat yield in the Northern Plains. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, *44*:792-796.

ANGHINONI, I. 1979. *A method for predicting the most efficient phosphate placement for corn using a simulation model.* Lafayette. 170f. Thesis (Ph.D.) Purdue University, West Lafayette, USA, 1979.

ANGHINONI, I. & BARBER, S.A. 1980a. Phosphorus influx and growth characteristics of corn roots as influenced by phosphorus supply. *Agronomy Journal*, Madison, *72*:685-688.

_____. 1980b. Phosphorus application rate and distribuition in the soil and phosphorus uptake by corn. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, *44*:1041-1044.

_____. 1980c. Predicting the most efficient phosphorus placement for corn. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, *44*:1016-1020.

ASHER, C.J. & LONERAGAN, J.F. 1967. Response of plant to phosphate concentration in solution culture I. Growth and phosphorus content. *Soil Science*, Baltimore, *103*:225-233.

BARBER, S.A. 1962. A diffusion and mass-flux concept of soil nutrient availability. *Soil Science*, Baltimore, *93*:39-49.

_____. 1974. Influence of the root on ion movement in soil. In: CARSON, E.W.,ed. *The plant root and its environment*, Charlottesville, University Press of Virginia. Cap.18, p.525-564.

_____. 1976. Efficient fertilizer use. In: PATTERSON, F.L., ed. *Agronomic research for food*. Madison, American Society of Agronomy. p.13-29.

_____. 1981. Soil-plant interactions in the phosphorus nutrition of plants. In: KHASAWNEH, F.E. & SAMPLE, E.C., ed. *The role of phosphorus in agriculture*. Madison, Soil Science Society of America. p.591-616.

BARRETO, A.C. 1977. *Efeito da acidulação parcial de misturas com superfosfato triplo e enxofre e da granulação na eficiência de fosfatos naturais*. 63f. Tese (Mestr. Agron. - Solos) Fac. Agron., UFRGS. Porto Alegre, 1977. |Não publicada|.

BARROW, N.J. 1973. Relationship between a soil's ability to adsorb phosphate and the residual effectiveness of superphosphate. *Australian Journal of Soil Research*, Melbourne, *11*:57-62.

_____. 1974. The slow reactions betweem soil and anions. I. Effects of time, temperature, and water content of a soil on the decrease in effectiveness of phosphate for plant growth. *Soil Science*, Baltimore, *118*:380-86.

_____. 1975. The slow reactions between soil and anions. III. The effects of time and temperature on the decrease in isotopically exchangeble phosphate. *Soil Science*, Baltimore, *119*:190-7.

BARROW, N.J. & SHAW, T.C. 1974. Factors affecting the long-term effectiveness of phosphate and molybdate fertilizers. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, New York, *5*:355-64.

BEN, J.R.; VIEIRA, S.A.; KOCHHANN, R.A. 1980. Avaliação do efeito da aplicação de calcário na linha de semeadura para a cultura da soja. In: REUNIÃO CONJUNTA DE PESQUISA DA SOJA DA REGIÃO SUL, 8a., Passo Fundo (RS), Agosto de 1980. *Contribuição do Centro de Experimentação e Pesquisa - CEP - da FECOTRIGO à VIII Reunião Conjunta de Pesquisa da Soja.* Passo Fundo (RS), FECOTRIGO. p.56-61.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. 1973. *Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul.* Recife. 431p. (Boletim Técnico, 30).

BREWSTER, J.L.; BHAT, K.K.S.; NYE, P.H. 1976. The possibility of predicting solute uptake and plant growth response from independently measured soil and plant characteristics. IV. The growth and uptake of rape in solutions at different phosphorus concentration. *Plant and Soil*, Hague, *44*:279-293.

CAMPBELL, R.E. 1965. Phosphorus fertilizers residual effects on irrigated crops in rotation. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, *29*:67-70.

CANAL, I.N. 1980. *Parâmetros de absorção de potássio e translocação de cálcio em milho (Zea mays L.) afetados pela interação alumínio-cálcio.* 85f. Dissert. (Mestr. Agron. - Solos) Fac. Agron., UFRGS. Porto Alegre, 1980. |Não publicada|.

CARVALHO, A.T. & MEURER, E.J. 1978. Efeitos das aplicações de calcário a lanço e em linhas em soja num solo ácido do Rio Grande do Sul. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA NA REGIÃO SUL, 6a., Florianópolis (SC), 1978. *Contribuição do Centro de Experimentação e Pesquisa - CEP - da FECOTRIGO à VI Reunião Conjunta de Pesquisa da Soja.* Cruz Alta (RS), FECOTRIGO. p.77-86.

CHAUDHARY, M.R.; PRIHAR, S.S. 1974. Comparison of banded and broadcast fertilizer applications in relation to compaction and irrigation in mayze and wheat. *Agronomy Journal*, Madison, *66*:560-566.

CLAASSEN, N. 1975. *Development and verification using soil and plant parameters of a mathematical model of nutrient flux to plant roots growing in soil.* Lafayette. 150f. Thesis (Ph.D.) Purdue University, West Lafayette, USA. 1975.

CLAASSEN, N. & BARBER, S.A. 1974. A method for characterizing the relation between nutrient concentration and flux into roots of intact plants. *Plant Physiology*, Bethesda, *54*:564-8.

CLARK, R.B. 1977. Effect of aluminum on growth and mineral elements of Al-tolerant and Al-intolerant corn. *Plant and Soil*, Amsterdan, *47*:653-62.

CLARKSON, D.T. 1966. Effect of aluminum on the uptake and metabolism of phosphorus by barley seedlings. *Plant Physiology*, Bethesda, *41*:165-72.

COLEMAN, N.T. & THOMAZ, G.W. 1967. The basic chemistry of soil acidity. In: PEARSON, R.W. & ADAMS, S.F., ed. *Soil Acidity and liming*. Madison, American Society of Agronomy. p.1-41.

DUNCAN, W.G. & OHLROGGE, A.J. 1959. Principles of nutrient uptake from fertilizer bands: III. Band, volume, concentration, and nutrient composition. *Agronomy Journal*, Madison, *51*:103-106.

DREW, M.C. 1975. Comparison of the effects of a localized supply of phosphate, nitrate, ammonium and potassium on barley. *New Physiology*, *75*:479-490.

EDWARDS, J.M. & BARBER, S.A. 1976. Phosphorus uptake rate on soybean roots as influenced by plant age, root triming, and solution P concentration. *Agronomy Journal*, Madison, *68*:973-975.

EPSTEIN, E. 1975. Transporte iônico ativo nas células e tecidos. In: ___. *Nutrição mineral das plantas*; princípios e perspectivas. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos. Cap.6, p.88-125.

FLEMING, A.L. & FOX, C.D. 1968. Root structure differential aluminum tolerance in wheat varieties. *Agronomy Journal*, Madison, *60*:172-6.

FOLE, D.A. & GRIMM, S.S. 1973. Avaliação do efeito residual do fósforo por meio de métodos de extração e modelos matemáticos no oxissolo Passo Fundo. *Agronomia Sulriograndense*, Porto Alegre, *9*:205-21.

FOX, R.H. 1979. Soil pH, aluminum saturation and corn grain yield. *Soil Science*, Baltimore, *127*:330-334.

FOX, R.L. & KAMPRATH, E.J. 1970. Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirement of soils. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, *34*:902-7.

FOX, R.L. & KANG, B.T. 1978. Influence of phosphorus fertilizer placement and fertilization rate on maize nutrition. *Soil Science*, Baltimore, *125*:34-40.

FOY, C.D. 1974. Effects of aluminum on plant growth. In: CARSON, E.W., ed. *The plant root and its environment*. Charlottesville, University Press of Virginia. p.601-42.

GREWELING, T. 1976. Chemical analysis of plant tissue. *Search Agriculture*, Ithaca, N.W., *6*:7-8.

HAM, G.E. & CALDWELL, A.C. 1978. Fertilizer placement on soybean seed yield, N_2 fixation and P uptake. *Agronomy Journal*, Madison, *70*:779-783.

HANSON, R.G. 1978. Effect upon soybean cultivar bragg when P is band-concentration upon variable soil-available P. *Agronomy Journal*, Madison, *71*:267-271.

HARTER, D.R. 1969. Phosphorus adsorption sites in soils. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, *34*: 902-907.

JOHNSON, R.E. & JACKSON, W.A. 1964. Calcium uptake and transport by wheat seedlings as affected by aluminum. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, *28*: 381-6.

JONES JR., J.B. 1969. Interpretation of plants analysis for several agronomic crops. In: *Soil testing and plant analysis*. Soil Science Society of America, Madison, p.49-58.

JUNGK, A. & BARBER, S.A. 1974. Phosphorus uptake rate of corn roots as related to the proportion of the roots exposed to phosphate. *Agronomy Journal*, Madison, *66*:554--557.

KAMPRATH, E.J. 1970. Exchangeable aluminum as a Criterium for liming leached mineral soils. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, *34*:252-54.

LARSEN, S. 1967. Soil phosphorus. *Advances in Agronomy*, New York, *19*:151-205.

LIM, K.L.; SHEN, T.C. 1977. Lime and P applications and their residual effects on corn yields. *Agronomy Journal*, Madison, *70*:927-932.

McCORMICK, L.H. & BRODEN, F.Y. 1972. Phosphate fixation by aluminum in plant roots. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, *36*:799-802.

McLACHLAN, K.D. 1976. Comparative phosphorus responses in plants to a range of available phosphorus situations. *Australian Journal of Soil Research*, *27*:223-241.

MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. 1978. *Principles of plant nutrition*. Bern, International Potash Institute. Cap.11, p.391-410.

MIELNICZUK, J.; LUDWICK, A.; BOHNEN, A. 1969. *Recomendações de adubo e calcário para os solos do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, Faculdade de Agronomia, UFRGS. 38p. (Boletim Técnico, 2).

MILAN, P.A. 1981. *Efeitos imediatos e residuais do superfosfato triplo em solos do Rio Grande do Sul*. 88f. Dissert. (Mestr. Agron. - Solos) Fac. Agron. UFRGS. Porto Alegre, 1981. |Não publicada|.

MILLER, M.H. & OHLROGGE, A.J. 1958. Principles of nutrient uptake from fertilizer bands. I. Effect of placement of nitrogen fertilizer on the uptake of band-placed phosphorus at different soil phosphorus levels. *Agronomy Journal*, Madison, *50*:95-7.

MURPHY, J. & RILEY, J.P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chemica Acta*, Amsterdan, *27*:31-6.

MUZILLI, O. 1977. Eficiência da adubação fosfatada em sulcos comparada a adubação fosfatada a lanço, na cultura da soja em Latossolo Roxo Distrófico, em área de cultivo recente ou contínuo (após 4 anos) com sucessão trigo-soja. Londrina, IAPAR - Programa Soja, 1976-1979. |Não publicada|.

NYE, P.H. 1977. The rate-limiting step in plant nutrient absorption from soil. *Soil Science*, Baltimore, *123*:292-7.

OLIVEIRA, E.L. 1981. *Influência da calagem e do revolvimento do solo nos efeitos imediatos e residuais da adubação fosfatada*. 74f. Dissert. (Mestr. Agron. - Solos) Fac. Agron. UFRGS. Porto Alegre, 1981. |Não publicada|.

OLIVEIRA, R.F. & MIELNICZUK, J. 1978. Caracterização de três cultivares de soja (*Glycine max* L. Merrill) quanto à eficiência de absorção e utilização de K. *Agronomia Sulriograndense*, Porto Alegre, *14*:251-260.

PEARSON, R.W. 1975. *Soil acidity and liming in the humid tropics*. Ithaca, Cornell University.

PEARSONS, R. 1958. *Handbook of eletrochemical constants*. New York Academic Press. apud ANGHINONI, I. 1979. A method for predicting the most efficient phosphate placement for corn using a simulation model. Lafayette. 170f. Thesis (Ph.D.) Purdue University, USA. 1979. p.64.

REITH, J.W.S. 1974. The effectiveness of different methods and times of applying fertilizer. In: *Phosphorus in agriculture*. Paris, ISMA. p.61-76.

ROBERTSON, J.A.; KANG, B.T.; RAMIREZ-PAZ, F.; OHLROGGE, A.J. 1966. Principles of nutrient uptake from fertilizer bands. VII. p^{32} uptake by brace roots of maize and its distribution within the leaves. *Agronomy Journal*, Madison, *58*:293-296.

SCHENK, M.R. & BARBER, S.A. 1979. Root characteristics of corn genotypes as related to P uptake. *Agronomy Journal*, Madison, :921-924.

SOBULO, R.A.; AGBOOLA, A.A.; FAYEMI, A.A. 1978. Effect of P placement on yield of tomatoes in Southwestern Nigeria. *Agronomy Journal*, Madison, *70*:521-524.

SOUSA, D.M.G. 1980. *Reações de grânulos de superfosfato triplo em solos e seus efeitos imediatos e residuais sobre as culturas*. 90f. Dissert. (Mestr. Agron. - Solos) Fac. Agron., UFRGS. Porto Alegre, 1980. |Não publicada|.

STRYKER, R.B.; GILLIAM, J.W.; JACKSON, W.A. 1974. Nonuniform phosphorus distribution in the root zone of corn: Growth and phosphorus uptake. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, *38*:334-40.

TISDALE, S.L. & NELSON, W.L. 1975. Soil and fertilizer phosphorus. In:___. *Soil fertilizer and fertilizers*. New York. McMillan. Cap.6, p.189-242.

TREBIEN, D.O.P. 1980. *Absorção de fósforo e rendimento de milho sob diferentes métodos de aplicação de P ao solo*. 65f. Dissert. (Mestr. Agron. - Solos) Fac. Agron. UFRGS. Porto Alegre, 1980. |Não publicada|.

VETTORI, L. 1969. *Métodos de análises de solo*. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura. 24p. (Boletim Técnico, 7).

VOLKWEISS, S.J. 1970. *Influência do calcário no pH, alumínio, manganês e zinco de 19 solos do Rio Grande do sul e suas relações com o rendimento e absorção de manganês e zinco pelo milho*. 92f. Tese (Mestr. Agron. - Solos) Fac. Agron., UFRGS, Porto Alegre, 1970. |Não publicada|.

VOLKWEISS, S.J. 1973. *Factors affecting phosphate sorption by soils and minerals.* 138f. Thesis (Ph. D. - Soil Science) University of Wisconsin, Madison, USA, 1973.

VOLKWEISS, S.J. & LUDWICK, A.E. 1969. *O melhoramento do solo pela calagem.* Porto Alegre, UFRGS, Faculdade de Agronomia. 30p. (Boletim Técnico, 1).

VOLKWEISS, S.J. & VAN RAIJ, B. 1977. Retenção e disponibilidade de fósforo em solos. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 4º, Brasília, 21-25 junho 1976. *Bases para utilização agropecuária.* Belo Horizonte, Itatiaia. p.317-32.

WADE, M.K. & SANCHES, P.A. 1976. Liming monoculture and intercropped sistems. In: *AGRONOMIC - economic research on tropical soils.* Annual report for 1975 to USAID. Raleigh. Soil Science Department, North Caroline State University. p.152-166.

YOST, R.S.; KAMPRATH, E.J.; LOBATO, E.; NADERMAN, G. 1979. Phosphorus response of corn on an oxisol as influenced by rates and placement. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, *43*:338-43.

7. APÊNDICES

APÊNDICE 1. Parâmetros morfológicos (parte aérea e raiz) de milho aos 21 dias de idade, em função do suprimento de P à diferentes frações do sistema radicular.

Parâmetros	Rep.	Tratamentos				
		100% + P	25% + P	75% - P	12,5% + P	87,5 - P
Matéria seca parte aérea (g)	I	10,5	8,9		6,9	
	II	7,4	8,7		7,3	
	III	7,6	8,7		7,3	
Compr. raiz (cm)	I	30994	22004	52160	10789	35911
	II	29420	20240	52157	16154	45819
	III	25957	29931	29730	12083	43157
Volume raiz (cm^3)	I	24,3	13,0	38,6	10,0	33,0
	II	22,3	12,8	40,3	16,3	32,8
	III	18,9	22,0	19,1	32,8	35,9
Área raízes (cm^2)	I	6136	1894	5023	1163	3843
	II	5732	1800	5140	1816	4329
	III	4957	2873	2666	1427	4385
Matéria seca raízes (g)	I	1,55	0,40	1,1	0,31	1,13
	II	1,25	0,40	1,2	0,55	0,94
	III	1,16	0,64	0,6	0,45	1,03
Raio raízes ($cm^2 \times 10^{-2}$)	I	1,51	1,38	1,53	1,71	1,70
	II	1,55	1,41	1,56	1,80	1,50
	III	1,52	1,52	1,43	2,90	1,60

APÊNDICE 2. Parâmetros cinéticos de absorção e concentração de P na parte aérea e raiz de milho aos 21 dias de idade, em função do suprimento de P a diferentes frações do sistema radicular.

Parâmetros	Rep.	Tratamentos				
		100% +P	25% +P	75% -P	12,5% +P	87,5% -P
Vmax ($pmoles\ cm^{-2}.h^{-1}$)	I	1,58	2,37	1,17	3,43	3,12
	II	1,78	3,12	1,38	1,81	2,30
	III	1,95	1,56	2,30	2,24	1,34
Km (µM)	I	3,7	3,6	3,5	2,7	3,8
	II	3,4	4,8	5,6	3,0	4,5
	III	2,5	2,4	4,8	4,5	3,6
Cmin (µM)	I	0,33	0,4	0,6	0,3	0,2
	II	0,50	0,7	0,2	0,2	0,4
	III	0,30	0,3	0,4	0,3	0,32
P parte aérea (%)	I	0,78	0,40		0,35	
	II	0,94	0,48		0,40	
	III	0,87	0,53		0,37	
P raiz (%)	I	0,35	0,34	0,17	0,21	0,15
	II	0,43	0,33	0,19	0,26	0,16
	III	0,37	0,30	0,24	0,24	0,14

APÊNDICE 3. Fósforo extraível e na solução em Solo Durox, em função da aplicação de 100 kg P_2O_5/ha como residual de 1 ano, métodos de aplicação de P e distância do caule do milho, aos 60 dias após a semeadura.

Distância		Rep.	Método de aplicação		
			Lanço	Faixa	Linha
(cm)	P Mehlich[1]	I	3,6	6,9	26,9
		II	3,8	4,4	39,9
10	P solução[2]	I	1,1	1,1	2,3
		II	1,0	1,13	2,7
	P Mehlich	I	3,4	4,6	1,8
		II	3,8	4,5	1,6
20	P solução	I	0,8	1,0	0,9
		II	1,0	0,8	1,3
	P Mehlich	I	5,1	3,7	0,73
		II	3,5	2,5	1,87
30	P solução	I	1,0	0,74	0,90
		II	1,0	1,0	0,8
	P Mehlich	I	3,1	2,9	1,3
		II	4,1	3,0	1,3
40	P solução	I	1,1	0,8	1,0
		II	1,2	0,9	0,3

1 - ppm de P extraível pelo Método Mehlich

2 - µM P na solução do solo.

APÊNDICE 4. Fósforo extraível e na solução em solo Durox,em função da aplicação de 100 kg P_2O_5/ha na semeadura, métodos de aplicação de P e distância do caule do milho, aos 60 dias após semeadura.

Distância		Rep.	Métodos de aplicação		
			Lanço	Faixa	Linha
(cm)	P extraível[1]	I	4,4	13,3	38,9
		II	4,1	12,1	33,8
10	P solução[2]	I	0,8	1,50	5,71
		II	0,8	1,23	5,9
	P extraível	I	4,2	5,1	2,5
		II	3,2	5,6	1,6
20	P solução	I	0,7	0,9	1,3
		II	1,1	0,8	1,2
	P extraível	I	2,5	3,2	1,5
		II	2,9	2,8	1,1
30	P solução	I	1,1	0,42	0,7
		II	0,8	0,4	1,2
	P extraível	I	2,3	2,9	1,1
		II	2,7	2,6	1,2
40	P solução	I	0,8	0,8	0,8
		II	0,6	0,8	1,0

1 - ppm P extraível pelo Método Mehlich

2 - µM P na solução do solo.

APÊNDICE 5. Área de raízes, rendimento de matéria seca e P absorvido em solo Durox, em função da aplicação imediata e como residual de 1 ano de 100 kg P_2O_5/ha e métodos de aplicação de P, em milho aos 60 dias após semeadura.

Efeito		Rep.	Método de aplicação		
			Lanço	Faixa	Linha
Imediato	Matéria seca (g)	I	14,6	13,3	17,3
		II	17,1	22,5	23,0
	Área raízes (cm^2)	I	595	683	670
		II	500	421	528
	P absorvido (mg/planta)	I	30,7	29,3	29,4
		II	32,6	40,4	41,5
Residual	Matéria seca (g)	I	21,8	24,7	23,5
		II	25,6	19,5	19,3
	Área raízes (cm^2)	I	543	482	497
		II	690	536	525
	P absorvido (mg/planta)	I	50,2	44,4	42,3
		II	51,3	40,1	32,8

APÊNDICE 6. Fósforo extraível pelo método Mehlich em solo Durox em função de doses e métodos de aplicação de P e métodos de aplicação de calcário - Residual 1 ano.

P aplicado	Método de aplicação	Repetições		
		I	II	III
Kg P_2O_5/ha		-------	ppm	-------
0	-	2,0	1,6	1,1
50	lanço	2,0	1,6	1,6
100	lanço	2,1	2,6	1,7
200	lanço	3,0	3,9	2,1
400	lanço	4,6	6,0	4,4
50	faixa	1,7	2,8	2,9
100	faixa	4,2	4,1	5,3
200	faixa	19,0	16,4	13,8
50	linha	1,7	2,6	3,0
100	linha	5,4	8,4	9,1
200	linha	20,0	31,0	27,0
50 + 50	faixa + linha	2,4	10,0	4,1
100 + 50	faixa + linha	5,4	13,3	9,3
100 + 50	lanço + linha	6,6	7,2	10,3
200 + 50	lanço + linha	7,4	11,5	7,7
200 - s/calc.	lanço -	2,5	3,6	2,0
200 + Calc.	lanço - faixa	3,6	4,1	4,8
200 + Calc.	lanço - linha	4,3	4,8	4,6

APÊNDICE 7. Absorção de P por plantas de milho até o estágio de floração em solo Durox, em função de doses e métodos de aplicação de P e métodos de aplicação de calcário - Residual 1 ano.

P_2O_5 aplicado	Método de aplicação	Repetições		
		I	II	III
Kg/ha		----	mg/planta	----
0	-	76	64	105
50	lanço	133	64	129
100	lanço	175	212	91
200	lanço	180	151	142
400	lanço	267	216	89
50	faixa	161	151	115
100	faixa	137	143	111
200	faixa	168	114	214
50	linha	83	136	123
100	linha	96	101	155
200	linha	123	228	133
50 +50	faixa + linha	164	143	88
100 +50	faixa + linha	185	129	107
100 +50	lanço + linha	200	187	90
200 +50	lanço + linha	180	167	130
200 -s/Calc.	lanço -	84	158	98
200 +Calc.	lanço - linha	88	120	81
200 +Calc.	lanço - linha	109	172	66

APÊNDICE 8. Rendimento de matéria seca de milho até o estágio de floração em solo Durox, em função de doses e métodos de aplicação de P e métodos de aplicação de calcário - Residual 1 ano.

P_2O_5 aplicado	Método de aplicação	Repetições		
		I	II	III
Kg/ha		----- mg/planta ----		
0	-	85	71	75
50	lanço	121	58	117
100	lanço	146	152	91
200	lanço	128	137	129
400	lanço	148	144	98
50	faixa	134	126	115
100	faixa	125	119	92
200	faixa	120	104	143
50	linha	92	136	94
100	linha	80	100	129
200	linha	95	169	121
50 +50	faixa + linha	149	102	88
100 +50	faixa + linha	141	92	90
100 +50	lanço + linha	143	144	99
200 +50	lanço + linha	129	120	93
200 - s/Calc.	lanço -	72	143	60
200 +Calc.	lanço - faixa	84	113	81
200 +Calc.	lanço - linha	68	93	62

APÊNDICE 9. Rendimento de grãos de milho cultivado em solo Durox, em função de doses e métodos de aplicação de P e métodos de aplicação de calcário - Residual de 1 ano.

P_2O_5 aplicado	Método de aplicação	Repetições		
		I	II	III
Kg/ha		------- kg/ha ------		
0	-	3243	2513	2320
50	lanço	3500	3117	3916
100	lanço	3267	3747	3663
200	lanço	3720	3340	4340
400	lanço	3847	3817	3610
50	faixa	2237	3500	4097
100	faixa	3950	3180	3713
200	faixa	3867	3853	3910
50	linha	3853	3920	3283
100	linha	3790	4497	3560
200	linha	3777	4443	3410
50 + 50	faixa + linha	3720	4073	4376
100 + 50	faixa + linha	3637	3577	4593
100 + 50	lanço + linha	3793	4133	3006
200 + 50	lanço + linha	4683	4086	3514
200 - s/Calc.	lanço -	2540	2907	3107
200 + Calc.	lanço - faixa	3287	360	2794
200 + Calc.	lanço - linha	3287	2640	3050

APÊNDICE 10. P extraível[1] em solo Durox e P absorvido pelo milho na floração em função de doses e métodos de aplicação de P e aplicação de calcário a lanço.

P_2O_5 aplicado	Método de aplicação	P Mehlich			P absorvido		
		I	II	III	I	II	III
Kg/ha		------ ppm -----			-- mg/planta --		
0	-	1,6	1,5	2,1	64	125	70
50	lanço	1,8	2,0	2,0	120	95	121
100	lanço	2,3	4,3	6,4	142	199	137
200	lanço	7,0	7,5	6,5	133	201	193
400	lanço	8,8	13,8	18,8	198	200	216
100	faixa	4,6	3,0	2,5	101	107	155
100	linha	9,7	4,6	7,3	124	145	214
200 s/Calc.	lanço	4,9	5,3	5,0	103	85	140
0 s/Calc.	-	1,5	1,7	1,7	44	86	28

1 - Método Mehlich.

APÊNDICE 11. Rendimento de matéria seca e grãos de milho cultivado em solo Durox em função de doses e métodos de aplicação de P e aplicação de calcário a lanço - 1979.

P_2O_5 aplicado	Método de aplicação de P	Matéria seca			Grãos		
		I	II	III	I	II	III
Kg/ha		-- g/planta--			----	kg/ha	----
0	-	59	113	50	2927	3263	2077
50	lanço	100	86	93	3434	4110	2894
100	lanço	118	133	137	3887	3873	2427
200	lanço	121	155	129	4287	3900	4107
400	lanço	142	143	144	3710	3490	3270
100	faixa	112	98	141	3200	4553	3617
100	linha	88	120	153	3657	3193	2710
200 s/Calc.	lanço	103	155	128	3667	4213	2920
0 s/Calc.	-	30	47	26	1920	1737	1840

APÊNDICE 12. Teores de Ca e Mg trocáveis[1] em solo Durox em função de métodos de aplicação de calcário - Residual 1 ano.

Métodos de aplicação de calcário	Ca			Mg		
	I	II	III	I	II	III
	me/100 g					
lanço	4,4	3,0	3,8	0,89	0,72	0,87
faixa	3,8	3,0	2,6	0,81	0,55	0,70
linha	2,4	3,2	1,4	0,62	0,72	0,51
entre faixa	1,4	1,6	1,2	0,46	0,47	0,35
entre linha	1,4	1,2	1,2	0,57	0,37	0,36
s/Calcário	1,4	1,0	1,0	0,48	0,45	0,42

1 - Extraído com Acetato de Amônio 1 N.

APÊNDICE 13. Teores de Al[1] e Mn[2] trocáveis e valores de pH em solo Durox em função de métodos de aplicação de calcário - Residual 1 ano.

Métodos de aplicação de calcário	Al			Mn			pH		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
	---- me/100g ---			----- ppm -----					
lanço	0,42	1,17	0,58	19,4	20,2	20,2	5,2	4,8	5,1
faixa	0,85	1,43	1,33	17,4	24,0	31,2	4,9	4,8	4,8
linha	1,80	1,01	2,59	24,8	27,6	40,4	4,6	4,9	4,3
entre faixa	2,81	2,60	2,92	32,2	40,4	40,4	4,2	4,6	4,5
entre linha	2,76	2,86	2,92	31,2	39,6	46,8	4,6	4,3	4,4
s/Calcário	3,02	3,00	2,97	30,4	39,6	40,4	4,3	4,3	4,3

1 - Extraído com Acetato Amônio 1 N

2 - Extraído com KCl 1 N.

APÊNDICE 14. Teores de P, Ca e Mg na parte aérea de milho em função da aplicação de 200 kg P_2O_5/ha e métodos de aplicação de calcário - Residual 1 ano.

Métodos de aplicação de calcário	P			Ca			Mg		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
	%								
lanço	0,10	0,14	0,12	0,19	0,19	0,20	0,20	0,19	0,21
faixa	0,12	0,11	0,13	0,16	0,24	0,15	0,21	0,26	0,18
linha	0,14	0,14	0,11	0,14	0,18	0,15	0,19	0,19	0,20
s/calcário	0,10	0,11	0,11	0,14	0,14	0,13	0,20	0,16	0,19

APÊNDICE 16. Teores de Ca e Mg trocáveis[1] em solo Durox em função da aplicação de P e calcário a lanço.

Dose de P_2O_5	Calcário	Ca			Mg		
		I	II	III	I	II	III
Kg/ha		me/100 g					
0	c/calcário	5,1	5,8	9,8	0,75	0,85	1,0
	s/calcário	1,5	1,0	1,4	0,39	0,35	0,44
200	c/calcário	4,6	5,1	4,5	0,68	0,89	0,86
	s/calcário	1,0	1,0	1,1	0,33	0,35	0,35

1 - Extraído com Acetato Amônio 1 N.

APÊNDICE 17 - Teores de Al[1] e Mn[2] trocáveis e valores de pH em solo Durox em função da aplicação de P e calcário a lanço.

Dose de P_2O_5	Calcário	Al			Mn			pH		
		I	II	III	I	II	III	I	II	III
Kg/ha		---- me/100 g ----			------- ppm -------					
0	c/calcário	0,32	0,21	0,16	25,8	21,2	9,6	5,0	5,2	6,1
	s/calcário	2,54	3,07	2,92	46,0	67,2	42,2	4,3	4,2	4,4
200	c/calcário	0,58	0,37	0,32	25,8	32,2	22	5,1	5,3	5,2
	s/calcário	3,13	3,02	3,2	58,0	59,8	47,8	4,3	4,4	4,4

1 - Extraído com KCl 1 N

2 - Extraído com Acetato Amônio 1 N.

APÊNDICE 18. Teores de P, Ca e Mg na parte aérea de milho em função da aplicação de P e calcário a lanço.

Dose de P_2O_5	Calcário	P			Ca			Mg		
		I	II	III	I	II	III	I	II	III
Kg/ha		----------				%		----------		
0	c/calcário	0,13	0,11	0,12	0,21	0,23	0,26	0,21	0,24	0,24
	s/calcário	0,08	0,11	0,11	0,19	0,16	0,14	0,24	0,19	0,17
200	c/calcário	0,14	0,12	0,13	0,19	0,25	0,24	0,18	0,20	0,20
	s/calcário	0,10	0,12	0,11	0,14	0,12	0,13	0,15	0,14	0,15

APÊNDICE 19. Teores de Al e Mn na parte aérea de milho em função da aplicação de P e calcário a lanço.

Dose de P_2O_5	Calcário	Al			Mn		
		I	II	III	I	II	III
Kg/ha		ppm					
0	c/calcário	61,0	73,6	87,6	49,1	44,6	40,2
	s/calcário	331,2	173,0	140,8	40,0	84,8	80,4
200	c/calcário	56	67,2	80,0	40,2	46,8	53,6
	s/calcário	165,2	197,1	180,7	80,4	62,5	71,4