

TARANAQUITA DE POTÁSSIO: FORMAÇÃO NO SOLO E LIBERAÇÃO DE
POTÁSSIO E FÓSFORO PARA PLANTAS DE MILHO

FRANCISCO MAXIMINO FERNANDES
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. JORGE DE CASTRO KIEHL

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutor em Agronomia, Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

P I R A C I C A B A

Estado de São Paulo - Brasil

Outubro - 1988

Fernandes, Francisco Maximino
F363t Taranaquita de potássio: formação
no solo e liberação de potássio e
fósforo para plantas de milho /Fran-
cisco Maximino Fernandes. Piracica-
ba, 1988

Tese - ESALQ
Bibliografia.

1. Taranaquita-K 2. Solo - for-
mação - taranaquita-K 3. Solo - so-
lubilidade - taranaquita-K I. Esco-
la Superior de Agricultura Luiz de
Queiroz, Piracicaba.

CDD 631.81072

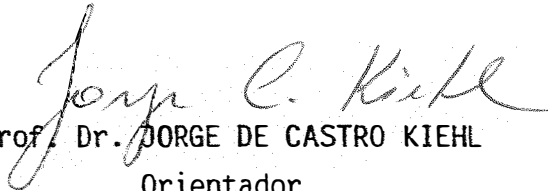
TARANAQUITA DE POTÁSSIO: FORMAÇÃO NO SOLO E LIBERAÇÃO DE
POTÁSSIO E FÓSFORO PARA PLANTAS DE MILHO

FRANCISCO MAXIMINO FERNANDES

Aprovada em: 02.12.1988

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Jorge de Castro Kiehl	ESALQ/USP
Prof. Dr. Francisco de Assis Ferraz de Mello	ESALQ/USP
Prof. Dr. Toshiaki Kinjo	ESALQ/USP
Prof. Dr. Carlos Roberto Espindola	FEIS/UNESP
Prof. Dr. Godofredo Cesar Vitti	FMVAJ/UNESP


Prof. Dr. JORGE DE CASTRO KIEHL
Orientador

Ao meu pai ATILIO e a minha mãe
ALICE, por tudo que fizeram,
principalmente na minha infân-
cia e juventude, com a esperan-
ça de que todo apoio e dedica-
ção a mim demonstrados não se-
riam em vão,

OFEREÇO

A minha esposa CREODELI, ao meu
filho THIAGO e à minha filha
PAULA,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - Campus de Ilha Solteira, à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" e ao convênio CAPES /PICD/UNESP, pela oportunidade proporcionada para realização do Curso de Pós-Graduação a nível de Doutorado.

Ao Professor Dr. JORGE DE CASTRO KIEHL pela orientação, sugestões e auxílios para o bom desenvolvimento deste trabalho.

Ao Professor Dr. T. KINJO pelas sugestões apresentadas.

Ao Professor Dr. JOSÉ LUIZ I. DEMATTÊ pelo auxílio nas análises de raios-X.

Ao Professor Ms. GENER TADEU PEREIRA pela colaboração na análise estatística de dados.

Aos técnicos de laboratório, JOÃO BATISTA MARIANO CARVALHO e REINALDO ANTONIO PERUSSI e aos auxiliares de laboratório CARLOS ARAÚJO DA SILVA e VALDECIR ALVES DE SOUZA pelo auxílio nas análises químicas de planta e de terra.

À Sra. MEIRI SAYURI N. M. DA CRUZ pelos trabalhos datilográficos.

À minha esposa CREODELI, que durante o período dos estudos e da pesquisa, tudo fez para que o autor tivesse êxito.

À todos os colegas e professores do Curso pela oportunidade de convivência.

E a todos que direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desse trabalho, o autor expressa sua gratidão.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	i
SUMMARY	iv
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DE LITERATURA	03
2.1. Generalidades	03
2.2. Minerais de taranaquita	04
2.2.1. Estrutura química	04
2.2.2. Condições de formação	05
2.2.3. Solubilidade	06
2.3. Taranaquita de potássio como fonte de fósforo para as plantas	07
3. MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1. Descrição dos Solos	11
3.2. Determinação da Capacidade de Retenção de Água	12
3.3. Experimento I	13
3.3.1. Curvas de respostas dos solos à adição de base e de ácido	13
3.3.1.1. Curva de resposta à adição de base	13
3.3.1.2. Curva de resposta à adição de ácido	15

	Página
3.3.2. Delineamento experimental	16
3.3.3. Análise de difração de raios-X	20
3.4. Experimento II	20
3.4.1. Obtenção da taranaquita de potássio .	21
3.4.2. Delineamento experimental	22
3.4.3. Parâmetros vegetais	25
3.4.4. Análise do material vegetal	26
3.4.5. Índices de avaliação agronômica	26
3.4.6. Análises estatísticas	27
4. RESULTADOS	29
4.1. Experimento I	29
4.2. Experimento II	42
4.2.1. Produção de matéria seca	42
4.2.1.1. Podzólico Vermelho-Amarelo .	42
4.2.1.2. Latossolo Vermelho-Escuro ..	49
4.2.2. Concentração e acúmulo de K na parte aérea	52
4.2.2.1. Podzólico Vermelho-Amarelo .	52
4.2.2.2. Latossolo Vermelho-Escuro ..	59
4.2.3. Concentração e acúmulo de P na parte aérea	66
4.2.3.1. Podzólico Vermelho-Amarelo .	66
4.2.3.2. Latossolo Vermelho-Escuro ..	70
4.2.4. Índices de avaliação agronômica	73
4.2.4.1. Podzólico Vermelho-Amarelo .	73

	Página
4.2.4.2. Latossolo Vermelho-Escuro ..	76
5. DISCUSSÃO	78
5.1. Experimento I	78
5.2. Experimento II	79
6. CONCLUSÕES	83
6.1. Experimento I	83
6.2. Experimento II	83
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86

TARANAQUITA DE POTÁSSIO: FORMAÇÃO NO SOLO E LIBERAÇÃO DE
POTÁSSIO E FÓSFORO PARA PLANTAS DE MILHO

Autor: Francisco Maximino Fernandes

Orientador: Jorge de Castro Kiehl

RESUMO

Dois experimentos de casa de vegetação foram conduzidos para estudar as condições de formação de taranaquita de potássio no solo e a eficiência desse composto em fornecer K para plantas de milho, comparando-a à do cloreto de potássio. A formação de taranaquita de K foi estudada em amostras de Podzólico Vermelho-Amarelo (PV) e de Latossolo Vermelho-Escuro (LE), utilizando-se de um experimento inteiramente casualizado em esquema fatorial $4 \times 2 \times 2$, constituído de quatro níveis de pH - em torno de 3,0, 4,0, 5,0 e 6,0 - dois níveis de fósforo - 0 e 200 ppm P - e dois níveis de potássio - 0 e 200 ppm K; esses nutrientes foram aplicados na forma de $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ e KCl, respectivamente. As amostras foram umedecidas a 70% da capacidade de retenção de água e incubadas por 60 dias. Frações areia, silte e argila foram submetidas à análise por difração de raios-X para identificar a possível presença de taranaquita de potássio.

A eficiência da taranaquita de K em fornecer potássio às plantas de milho foi estudada em amostras dos mesmos solos através de experimento inteiramente casualizado em esquema fatorial $2 \times 2 \times 2$, constituído de duas fontes de potássio - taranaquita de K e KCl - dois níveis de potássio - 150 e 300 ppm K - e dois níveis de fósforo - 0 e 200 ppm P. O fósforo foi aplicado como superfosfato simples. Além dos tratamentos fatoriais, foi acrescentada uma testemunha absoluta e uma testemunha com fósforo. Aos quarenta e cinco dias da emergência a parte aérea das plantas foi colhida para determinação da produção de matéria seca e do conteúdo e acúmulo de K e P.

Utilizando o método de difração de raios-X, não foi possível comprovar a formação de taranaquita de K em quaisquer dos solos, das frações granulométricas, dos valores de pH e dos níveis de K e P estudados. Análises posteriores mostraram que a adição de 3% de taranaquita de potássio sintética às frações argila e silte do solo PV permitiu a identificação desse mineral pelo método de difração de raios-X; a caracterização tornou-se mais evidente quando a quantidade de taranaquita adicionada aumentou para 5% ou 10%.

Quanto à produção de matéria seca pelas plantas de milho, a taranaquita de potássio sem aplicação de P foi tão eficiente quanto o cloreto de potássio com aplicação de P; na ausência de P aplicado, a taranaquita de

potássio conferiu maior produção de matéria seca em ambos os solos (57,60 e 24,81 g/vaso) do que o cloreto de potássio (6,73 e 3,48 g/vaso).

Na ausência de P aplicado, a adição de taranaquita de K sempre resultou acúmulo de maiores quantidades de K e P na parte aérea das plantas de milho do que a aplicação de cloreto de potássio. Na presença de P, o acúmulo de K a partir da taranaquita foi igual ou menor que o observado para o cloreto de potássio, enquanto o acúmulo de P foi sempre maior para as aplicações de taranaquita.

A recuperação do potássio aplicado pelas plantas de milho não tratadas com P foi maior quando a taranaquita foi adicionada. Na presença de P, tanto a taranaquita de K quanto o KCl mostraram elevados índices de recuperação no solo PV e baixos no LE. Os fatores de utilização de potássio (massa seca produzida por unidade de massa de K aplicado) observados quando a taranaquita foi adicionada na ausência de P foram maiores que os obtidos para o cloreto de potássio. Na presença de P os fatores obtidos para cada fonte de potássio foram mais elevados e equivalentes entre si.

POTASSIUM TARANAKITE: FORMATION IN SOIL AND RELEASE OF
POTASSIUM AND PHOSPHORUS TO CORN PLANTS

Author: Francisco Maximino Fernandes

Adviser: Jorge de Castro Kiehl

SUMMARY

Two greenhouse experiments were carried out to study the conditions of formation of potassium taranakite (K-taranakite) in the soil and the efficiency of this compound in supplying K to corn plants, as compared to that of potassium chloride. The formation of K-taranakite was investigated in samples of a Red-Yellow Podzolic (PV) and a Dark-Red Latosol (LE) by means of a completely randomized design experiment. The 4 x 2 x 2 factorial treatments were four pH levels - approximately 3.0, 4.0, 5.0 and 6.0 - two rates of applied phosphorus - 0 and 200 ppm P - and two rates of applied potassium - 0 and 200 ppm K; these nutrients were applied as $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)$ and KCl salts, respectively. The samples were moistened to 70% of the water retention capacity and incubated for 60 days. Sand, silt and clay fractions were submitted to X-ray diffraction analysis to identify the presence of the mineral K-taranakite.

The efficiency of K-taranakite in supplying K to corn plants was evaluated in sample of the same soils by means of a completely randomized design experiment. The 2 x 2 x 2 factorial treatments were two sources of potassium - K-taranakite and KCl - two rates of applied potassium - 150 and 300 ppm K - and two rates of applied phosphorus - 0 and 200 ppm P. In this experiment P was supplied as simple superphosphate. In addition to the factorial treatments, there was a control and a plus P treatments. Forty five days after emergence plant tops were harvested to determine the weight of dry matter and the content and accumulation of K and P.

Formation of K-taranakite could not be confirmed by X-ray diffraction analysis in any of the soils, particle-size fractions, pH levels or rates of applied K and P. Additional studies showed that mixing 3% of synthetic K-taranakite to the silt and clay fractions of the PV soil allowed the identification of this mineral by X-ray diffraction analysis. The presence of K-taranakite became more evident, however, when the amount of the mineral added to the soil increased to 5 or 10%.

Based on the yield of dry matter by the corn plants K-taranakite with no P application was as efficient as potassium chloride with P application; when P was not applied, corn plants receiving K-taranakite yielded higher amounts of dry matter in both soils (56.60 and 24,81 g/

pot) than plants treated with potassium chloride (6.73 and 3.48 g/pot).

In the absence of applied P, addition of K-taranakite always resulted in accumulation of higher amounts of K and P in the corn tops than addition of potassium chloride. In presence of applied P, accumulation of from K-taranakite was equivalent to or less than that from potassium chloride, whereas the accumulation of P was always higher from taranakite.

Recovery of applied potassium by corn plants receiving no P application was higher when K-taranakite was added. When P was applied, both taranakite and KCl gave high recovery rates in the PV soil and low rates in the LE. Potassium utilization factors (mass of dry matter formed per unit of mass of applied potassium) observed when K-taranakite was added in absence of applied P showed higher values than those observed in the KCl treatments. When P was applied, however, the utilization factors for each source of potassium were equivalent to each other.

1. INTRODUÇÃO

A importância do potássio como elemento nutriente na produção agrícola brasileira vem crescendo paulatinamente com a expansão da agricultura no país. O uso de técnicas mais adequadas e a adoção de variedades melhoradas se traduzem em aumentos de produção e consequentemente, no aumento da quantidade de nutrientes exportada pelas culturas, dentre os quais o potássio e o nitrogênio ocupam posição de destaque.

Com a exploração agrícola intensiva, o solo, por ter reserva limitada de potássio, não é capaz de restituir as quantidades extraídas, surgindo a necessidade de reposição do elemento exportado pelas culturas, através da adubação potássica. Entretanto, trabalhos de pesquisa indicam que as respostas às adubações potássicas nas diversas culturas são poucas, quase raras, e até negativas em alguns casos.

Entre os macronutrientes esse comportamento é específico para o potássio, pois nitrogênio e fósforo, aplicados em quantidades recomendadas, dão as respostas esperadas com apreciáveis aumentos na produção.

A não resposta à adubação potássica pode ser atribuída a vários fatores, dentre os quais a liberação de potássio de outras formas que não as consideradas prontamente utilizáveis pelas plantas. Deste modo, torna-se necessário um melhor conhecimento do comportamento das reações solo-fertilizante potássico-fertilizante fosfatado, para que se possa compreender melhor certos problemas ligados à adubação potássica das culturas.

Nas reações solo-fertilizante potássico-fertilizante fosfatado ocorre a formação de produtos que são mais estáveis para as condições existentes no solo. Dentre esses produtos pode-se citar os minerais de taranaquita. Os minerais de taranaquita apresentam na sua composição química, fósforo, alumínio e potássio, ou fósforo, alumínio e amônio. Desse modo, pode-se ter no solo taranaquita de potássio (taranaquita-K) ou taranaquita de amônio (taranaquita-NH₄). No presente trabalho o interesse está voltado para a taranaquita-K, a qual pode ser fonte de potássio no solo para as plantas.

Considerando-se o exposto, procurou-se verificar: (1) a possível formação de taranaquita de potássio em dois solos submetidos a diferentes valores de pH e tratados ou não com fósforo e potássio. (2) o aproveitamento do potássio e do fósforo da taranaquita de potássio por plantas de milho comparado ao cloreto de potássio, na ausência e na presença de fósforo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Generalidades

Dentre os vários elementos essenciais para o crescimento, desenvolvimento e produção vegetal, o potássio é um dos que se apresenta em maior porcentagem na litosfera, podendo atingir valores de 2,3% de K_2O , segundo Ahrens (1965), citado por LOPES (1982), e de 3,12% de K_2O , segundo Clarke & Washington (1924), citado por LAWTON (1963).

O teor de potássio total em solos geralmente varia entre 0,04 e 3%; em alguns casos, como em solos alcalinos, o conteúdo em potássio pode chegar até 8,0% (FASSBENDER, 1978). Segundo SCHROEDER (1978), o teor médio de potássio em solos está em torno de 1,0%. Este teor no solo está na dependência do tipo de material de origem e do grau de intemperismo a que foi submetido o solo, além de outros fatores (BRAGA, 1972). Dentre esses outros fatores, os minerais de taranaquita - K, produto das reações solo-fertilizante potássico-fertilizante fosfatado (LINDSAY *et alii*, 1962), podem assumir papel importante nos solos brasileiros. Como nos-

solos geralmente são fertilizados com doses elevadas de fósforo (adubação de correção), recebem adubação potássica de manutenção, encerram teores consideráveis de alumínio trocável e possuem acidez elevada, reúnem muitas das condições que parecem favorecer a formação destes minerais.

2.2. Minerais de taranaquita

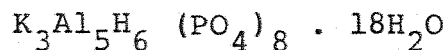
Taranaquitas de potássio e de amônio tem sido encontradas como produtos de reação de fertilizantes fosfatados, potássicos e amoniacais (LINDSAY *et alii*, 1959; LINDSAY & STEPHENSON, 1959 a, b e LINDSAY *et alii*, 1962). A taranaquita de potássio tem ocorrido em alguns solos ácidos da Austrália, segundo Bannister & Hutchinson¹, citado por DIXON *et alii* (1977).

2.2.1. Estrutura química

Segundo HASEMAN *et alii* (1950), os cristais de taranaquita são monoclinicos. Eles existem como uma única lâmina pseudo-hexagonal, como lâminas amontoadas e interligadas, ou como agregados esferulíticos.

¹BANNISTER, F.A. & HUTCHINSON, G.E. Identity of minervite and palmerite with taranakite. *Mineral. Mag.*, 28:31-35; 1947.

A fórmula empírica da taranaquita-K é dada da seguinte maneira:



segundo LINDSAY *et alii* (1962), DIXON *et alii* (1977) e LINDSAY (1979).

2.2.2. Condições de formação

HASEMAN *et alii* (1950) relatam que, quando fosfato de alumínio foi precipitado em temperatura ambiente e sob um pH 3,5 de uma solução de cloreto de potássio 0,04 M, contendo quantidade estequiometricamente iguais de alumínio e fósforo para a formação de taranaquita, somente pequena quantidade de potássio foi retida pelo precipitado de fosfato e alumínio. Todavia, após um período de sessenta dias, o precipitado absorveu lentamente o potássio da solução matriz e cristalizou-se como taranaquita.

Segundo LINDSAY *et alii* (1962) os adubos fosfatados, principalmente os monocálcicos, quando em reação com o solo caracterizam-se pela liberação de Ca^{+2} e $H_2PO_4^-$, conseqüentemente formando H_3PO_4 e baixando o pH a valores de aproximadamente 1,5. Nestas condições, consideráveis quantidades de alumínio e ferro entram em solução. Os produtos das reações iniciais são principalmente $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$, $CaHPO_4$ e colóides $(Fe, Al, X) PO_4 \cdot nH_2O$, juntamente com vários fosfato ácidos, incluindo $CaFe_2(HPO_4) \cdot H_2O$,

$\text{CaAlH}(\text{PO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ e $\text{CaAl}_6\text{H}_4(\text{PO}_4) \cdot 20\text{H}_2\text{O}$. A presença de K^+ proveniente do próprio solo ou da aplicação de fertilizantes, associada a uma condição inicialmente ácida, conduz a uma precipitação de $\text{K}(\text{AlFe})_3\text{H}_8(\text{PO}_4)_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, e em condições de aumento lento de pH, a uma precipitação de $\text{K}_3\text{Al}_5\text{H}_6(\text{PO}_4)_8 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$. Ainda segundo o mesmo autor, quando as reações iniciais dos fertilizantes fosfatados monopotássicos ocorrem em solos de pH variando entre 3,0 e 6,0 os produtos de reação dominante são $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ e $\text{K}_3\text{Al}_5\text{H}_6(\text{PO}_4)_8 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$.

2.2.3. Solubilidade

A solubilidade da taranaquita -K em relação a outros fosfatos de alumínio é a seguinte (LINDSAY, 1979):

$$\text{AlPO}_4(\text{bunilita}) > (\text{NH}_4)_3\text{Al}_5\text{H}_6(\text{PO}_4)_8 \cdot 18\text{H}_2\text{O} (\text{taranaquita-NH}_4) > \text{K}_3\text{Al}_5\text{H}_6(\text{PO}_4)_8 \cdot 18\text{H}_2\text{O} (\text{taranaquita-K}) > \text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} (\text{variscita}).$$

As taranaquitas de potássio e de amônio tem sido identificadas em solo com produtos de reação de fertilizantes fosfatados (LINDSAY *et alii*, 1962). Elas são formadas especialmente quando, junto com esses fertilizantes, são empregados outros contendo K^+ e NH_4^+ . A alta atividade destes cations em certos fertilizantes torna as taranaquitas temporariamente menos solúveis que a varisci-

ta. Mais tarde, como as concentrações de K^+ e NH_4^+ na zona de reação solo-fertilizante diminuí, estes minerais novamente tornam-se mais solúveis que a variscita.

Na Tabela 1 são apresentadas as reações de equilíbrio com suas respectivas constantes de equilíbrio para os fosfatos de alumínio referidos anteriormente.

Tabela 1. Constantes de equilíbrio para algumas reações de fosfatos de alumínio a 25°C (LINDSAY, 1979).

Nº da reação	Reação de equilíbrio	logK ⁰
1	$AlPO_4 + 2H^+ \longrightarrow Al^{+3} + H_2PO_4^-$	0,50
2	$AlPO_4 \cdot 2H_2O + 2H^+ \longrightarrow Al^{+3} + H_2PO_4^- + 2H_2O$	-2,50
3	$(NH_4)_3Al_5H_6(PO_4)_8 \cdot 18H_2O + 10H^+ \longrightarrow 3NH_4^+ + 5Al^{+3} + 8H_2PO_4^- + 18H_2O$	-19,10
4	$K_3Al_5H_6(PO_4)_8 \cdot 18H_2O + 10H^+ \longrightarrow 3K^+ + 5Al^{+3} + 8H_2PO_4^- + 18H_2O$	-22,30

Os minerais de taranaquita-K aparentemente são estáveis em pH 1,7 a 5,3 (HASEMAN *et alii*, 1950).

2.3. Taranaquita de potássio como fonte de fósforo para as plantas

Trabalhos realizados por LINDSAY *et alii* (1959), LINDSAY & STEPHENSON (1959a, b) e LINDSAY *et alii* (1962) mostraram que a taranaquita de potássio ($K_3Al_5H_6(PO_4)_8$)

. $18\text{H}_2\text{O}$) é um dos principais produtos formados quando soluções concentradas de ácido fosfórico reagem com o solo. As soluções concentradas de ácido fosfórico, referidas pelos autores, são provenientes da dissolução de fertilizantes granulados contendo fosfato monocálcio misturado ou não com outros sais.

Dentre os experimentos realizados com a finalidade de avaliar a eficiência da taranaquita em fornecer P para as plantas destaca-se apenas o trabalho de TAYLOR *et alii* (1963). Esses autores estudaram o comportamento da taranaquita de potássio e da taranaquita de amônio, comparando-as ao fosfato monocálcico $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, como fontes de P para a cultura do milho. O estudo foi realizado em um solo ácido (um solo argilo-arenoso com pH 5,3), neutro (o mesmo solo ácido corrigido para pH 6,5) e alcalino (um solo arenoso com pH 8,5). As doses de P estudadas para cada uma das fontes foram 50, 100 e 150 mg por vaso.

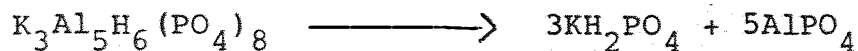
As taranaquitas foram preparadas na forma de agregados cristalinos pelo método descrito por TAYLOR & GURNEY (1961). A taranaquita de potássio usada continha 8,74% de K e 18,46% de P, enquanto a taranaquita de amônio continha 3,29% de N e 19,35% de P, com agregados de diâmetros de aproximadamente 40 e 60 μm , respectivamente.

O experimento foi conduzido por três cultivos consecutivos. Em cada colheita as plantas foram corta-

das no nível do solo e secadas a 80°C para determinação da matéria seca e da concentração de P nas mesmas.

Os resultados desse experimento permitiram aos autores concluir que: (a) a quantia de P liberado das taranaquitas mostrou duas consistentes características das mesmas, isto é, aumentos constantes de P absorvido em cultivos sucessivos nos três solos e maior absorção de P da taranaquita de potássio do que da taranaquita de amônio; (b) as curvas de respostas mostraram que as produções máximas foram para grandes aplicações (500mg P/vaso) de taranaquitas, porém, menores do que aquelas obtidas com fosfato monocálcico; (c) a quantidade de P absorvida das taranaquitas foi tão alta quanto a proveniente do fosfato monocálcico, nos três solos; (d) os dados confirmaram mais uma vez que a hidrólise das taranaquitas é acelerada em condições alcalinas devido às propriedades anfóteras do alumínio; (e) nos três solos a taranaquita de amônio foi a fonte menos eficiente de P, comparada com a taranaquita de potássio e o fosfato monocálcico.

O trabalho de TAYLOR *et alii* (1963) teve como objetivo principal o estudo do nutriente P (comparação de fontes, disponibilidade, absorção, etc.). Nada foi discutido sobre o nutriente K. Por outro lado, TAYLOR & GURNEY (1961), estudando a solubilidade das taranaquitas, mostraram que em pH 4,0 a hidrólise das mesmas se dá conforme a reação:



com a precipitação do fosfato de alumínio (AlPO_4) em forma amorfa. Deste modo o P e conseqüentemente o K do fosfato monopotássico (KH_2PO_4) contribuirão para aumentar os teores desses elementos na solução do solo, aumentando assim a disponibilidade dos mesmos às plantas.

Segundo TAYLOR *et alii* (1963) a taxa de liberação de P das taranquitas é muito menor que a do fosfato monocálcico, porém, continuam a liberar P por um período de alguns meses (neste ensaio a duração do estudo foi de aproximadamente 6 meses). Os autores observaram que para um só cultivo, a taranquita de potássio atingiu somente cerca de 40% de eficiência do fosfato monocálcico, mas em três cultivos consecutivos o índice alcançado foi ao redor de 80%.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo realizou-se na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo e na Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" Campus de Ilha Solteira. Constou de duas partes, ambas em casa de vegetação. A primeira, um experimento para estudar as condições de formação de taranaquita de potássio em dois solos; a segunda, constou de um outro experimento com os mesmos solos, para estudar a absorção de K pelas plantas, comparando-se duas fontes de K.

3.1. Descrição dos Solos

Foram coletadas amostras da camada arável (0 a 20 cm) de dois solos diferentes. Um foi classificado por DEMATTE (1980) como Latossolo Vermelho-Escuro (LE), álico, classe textural argila, localizado na Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Engenharia, UNESP - Campus de Ilha Solteira, Município de Selvíria, MS. O outro foi classificado por RANZANI *et alii* (1966) como pertencente à Série Godinhos (Categoria dos Podzólicos) correspondente ho-

je ao Podzólico Vermelho-Amarelo (PV), classe textural franco siltosa, localizado no Município de Piracicaba. Na Tabela 2 são apresentadas características físicas e químicas destes solos. A fração areia foi obtida por tamisação, enquanto as frações silte e argila foram obtidas pelo método da pipeta, utilizando como solução dispersante o hexametáfosfato de sódio (MEDINA, 1981). A marcha analítica para a caracterização química foi a seguinte: pH em H₂O na relação 1:2,5; K trocável: extração com H₂SO₄ 0,05N e determinações pelo fotômetro de chama; P solúvel: extração com H₂SO₄ 0,05N, relação solo solução 1:10 e agitação durante cinco minutos; Al³⁺ trocável: extração com KClN e titulação com NaOH 0,025N; Ca²⁺ e Mg²⁺ trocáveis: extração com KClN e titulação com EDTA 0,025N; conforme descrito em RAIJ & ZULLO (1977). O carbono orgânico (%) foi determinado com dicromato de potássio 0,4 N e titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,1N, conforme descrito em VEPIORI (1969). O (H+Al): extração com acetato de cálcio N pH_{7,0} (RAIJ & QUAGGIO, 1983).

3.2. Determinação da Capacidade de Retenção de Água

A Capacidade de Retenção de Água (CRA) de cada solo foi determinada segundo método descrito por PAIVA NETTO (1974) com modificações, em que amostra de 10g de terra (TFSA) é colocada em cadinho perfurado (de Gooch), saturada por capilaridade até espelhar a superfície, e co-

locada coberta com material plástico para evitar perda de água por evaporação, para perder o excesso de água, durante um período de 24 horas. Através de diferença de peso obtêm-se a CRA em porcentagem, cujos resultados encontram-se relacionados na Tabela 2.

3.3. Experimento I

No experimento I, realizado em Piracicaba, estudou-se as condições de formação de taranaquita de potássio em dois solos (Podzólico Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Escuro), em casa de vegetação.

3.3.1. Curvas de respostas dos solos à adição de base e de ácido

A obtenção dessas curvas teve a finalidade de determinar a necessidade de base e de ácido para se obter valores de pH em torno de 3,0 - 4,0 - 5,0 e 6,0.

3.3.1.1. Curva de resposta à adição de base

Amostras de 100 g de TFSA foram incubadas durante 30 dias em copos plásticos cobertos com material plástico para evitar perda de água por evaporação, a uma umidade em torno de 70% da CRA dos solos, após terem sido

Tabela 2. Algumas características físicas e químicas dos solos utilizados (camada arável).

Características	Solo	
	PV	LE
(a) Físicas:		
Argila (%)	22,5	47
Silte (%)	51,6	5
Areia (%)	25,9	48
Classe textural	Franco siltosa	argila
Capacidade de retenção de água (%)	40,65	32,39
(b) Químicas:		
pH em H ₂ O (relação 1:2,5)	5,3	5,3
Carbono Orgânico (%)	1,17	0,51
Ca ²⁺ trocável (e.mg/100cm ³ de TFSA)	2,36	0,18
Mg ²⁺ trocável (e.mg/100cm ³ de TFSA)	1,48	0,22
Al ³⁺ trocável (e.mg/100cm ³ de TFSA)	2,62	0,78
(H + Al) (e.mg/100cm ³ de TFSA)	8,78	2,92
S (e.mg/100cm ³ de TFSA)	4,01	0,48
CTC (e.mg/100cm ³ de TFSA)	12,79	3,40
K ⁺ trocável (ug/cm ³ de TFSA)	66	31
P solúvel em H ₂ SO ₄ 0,05N (ug/cm ³ de TFSA)	3	4
V (%)	31	14
Ki	2,7	1,02

incorporadas quantidades iguais a 0 - 0,05 - 0,1 - 0,15 - 0,25 - 0,35 - 0,50 e 0,65 g de CaCO_3 (droga pró-análise) por 100 g de TFSA.

Após o período de incubação, tomaram-se amostras dos solos e procedeu-se a determinação do pH em H_2O na relação 1:2,5, conforme o descrito em RAIJ & ZULLO (1977), cujos resultados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Valores de pH dos solos Podzólico Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Escuro 30 dias após a incubação com CaCO_3 . (Média de três repetições).

Doses de CaCO_3 (g/100g TFSA)	pH em H_2O (1:2,5)	
	PV	LE
0	4,4	4,7
0,05	4,8	5,1
0,10	5,3	6,2
0,15	5,4	6,6
0,25	5,8	7,6
0,35	6,4	7,7
0,50	6,9	7,9
0,65	7,4	8,0

3.3.1.2. Curva de resposta à adição de ácido

Amostras de 100 g de TFSA foram incubadas

durante 34 dias em copos plásticos cobertos com material plástico para evitar perda de água por evaporação, a uma umidade em torno de 70% da CRA dos solos, após terem sido incorporadas quantidades iguais a 0 - 3 - 6 - 9 - 12 - 15 - 18 - 21 e 40 ml de HCl 0,1N por 100g de TFSA (KINJO, 1985)¹.

Após o período de incubação procedeu-se a determinação do pH em H₂O na relação 1:2,5, conforme o descrito em RAIJ & ZULLO (1977), cujos resultados são apresentados na Tabela 4.

3.3.2. Delineamento experimental

Utilizou-se de um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 2 x 2 constituído de quatro níveis de pH, em torno de 3,0 - 4,0 - 5,0 e 6,0; dois níveis de fósforo, zero e 200 ppm; e dois níveis de potássio, zero e 200 ppm. Cada tratamento foi repetido três vezes, totalizando 48 vasos de cerâmica para cada solo. Os vasos correspondentes ao Podzólico Vermelho-Amarelo receberam 2,8 kg de terra e os correspondentes ao Latossolo Vermelho-Escuro receberam 3,2 kg de terra, ambas passadas em peneira de malha de 4,0mm.

¹KINJO, T. (ESALQ/USP. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba) Comunicação Pessoal, 1985.

Tabela 4. Valores de pH dos solos Podzólico Vermelho-
-Amarelo e Latossolo Vermelho-Escuro 34 dias
dias após a incubação com HCl 0,1N. (Média
de três repetições).

Doses de HCl 0,1N (ml/100g TFSA)	pH em H ₂ O (1:2,5)	
	PV	LE
0	4,6	4,6
3	4,3	4,3
6	4,1	3,9
9	4,0	3,6
12	3,9	3,4
15	3,7	3,3
18	3,6	3,1
21	3,0	-

Os quatro níveis de pH foram obtidos adicionando-se HCl 0,1N ou CaCO_3 (drogas pró-análise) em quantidades calculadas com base nas curvas de respostas obtidas em 3.3.1. Essas quantidades são apresentadas na Tabela 5.

Os solos, após a aplicação de HCl 0,1N ou CaCO_3 , foram umedecidos a aproximadamente 70% da CRA e incubados por um período de 30 dias, sendo os vasos cobertos com material plástico para evitar a perda de água por evaporação. A umidade foi mantida próxima dos 70% da CRA durante o período de incubação, aferida através de pesagens de três em três dias, e complemento da massa com água destilada.

Findo o período de incubação secou-se a terra de cada vaso, procedeu-se às adubações fosfatada e potássica, com fosfato monocálcico $(\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O})$ e cloreto de potássio (KCl), drogas pró-análise, respectivamente, de acordo com os tratamentos. Após a aplicação dos adubos, os solos foram novamente umedecidos a aproximadamente 70% da CRA e incubados por um período de 60 dias, tomando-se os mesmos cuidados considerados na incubação anterior.

Decorridos os 60 dias, as amostras foram secas ao ar e passadas em peneira de malha de 2,0 mm. Posteriormente, foram submetidas às análises de difração de raios-X.

3.3.3. Análise de difração de raios-X

Uma parte das amostras retiradas foram utilizadas para análise de difração de raios-X com a finalidade de caracterização mineralógica da taranaquita de potássio. Estas amostras (fração TFSA, $\emptyset < 2\text{mm}$), foram submetidas à separação das frações areia, silte e argila.

Difratogramas da fração areia foram obtidos pelo método do pó, em condição natural, enquanto os difratogramas da fração silte foram obtidos a partir de lâminas orientadas, em condição natural. Por outro lado, os difratogramas da fração argila foram obtidos de argila saturada com Na^+ a partir de lâminas orientadas em condição natural.

Todas as amostras foram irradiadas com raios-X, utilizando tubo de cobre e filtro de níquel, nos intervalos de 3 a 62 graus dois teta ($3 - 62^\circ 2\theta$) para as frações areia e silte e 3 a 40 graus dois teta ($3 - 40^\circ 2\theta$) para a fração argila, no laboratório de Pedologia do Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes da ESALQ/USP.

3.4. Experimento II

No experimento II, realizado em Ilha Solteira, estudou-se a absorção de K e P pela cultura do milho, comparando-se duas fontes de potássio, a taranaquita de potássio e o clore-

to de potássio, na presença e na ausência de adubação fosfatada.

3.4.1. Obtenção da taranaquita de potássio

A taranaquita de potássio foi obtida de acordo com o método descrito por TAYLOR & GURNEY (1961) com algumas modificações, conforme descrito a seguir.

Transferiu-se para um beacker de 600 ml 2,7 g de alumínio metálico em pó. Adicionou-se lentamente sempre misturando com auxílio de um bastonete de vidro, 108,8 ml de solução de H_3PO_4 a 53,5%. Deixou-se a solução esfriar. Posteriormente a solução foi filtrada utilizando-se papel de filtro SS nº 595 e completou-se o volume a 250 ml com água destilada. O pH da solução foi ajustado para 3,4 com hidróxido de potássio na forma de "lentilhas", droga pro-análise. A pasta fluída resultante foi diluída a 437,5 ml, transferida para uma garrafa plástica e incubada em estufa por 24 horas a $50^{\circ}C$ para produção de cristais de taranaquita de potássio. O produto foi filtrado usando-se papel de filtro SS nº 595, lavado por 10 vezes com água destilada, espalhado em camadas finas sobre vidro-relógio e deixado secar ao ar.

A taranaquita de potássio seca consistiu em agregados de aproximadamente 40 μm , segundo avaliação feita em peneira. Uma amostra foi analisada por difração de raios-X. O difratograma, obtido pelo método do pó, em con-

dição natural, encontra-se representado na Figura 1. Esse difratograma foi utilizado como padrão comparativo para os demais difratogramas obtidos (Experimento I). Outra amostra, analisada quimicamente, revelou os seguintes teores: 8,4% de K e 18,1% de P.

3.4.2. Delineamento experimental

Utilizou-se de um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial $2 \times 2 \times 2$ constituído de dois níveis de fósforo, 0 e 200 ppm de P, duas fontes de potássio, taranaquita de potássio e cloreto de potássio, e duas doses de potássio, 150 e 300 ppm de K, havendo ainda mais dois tratamentos adicionais (testemunha absoluta e testemunha com 200 ppm de P). Cada tratamento foi repetido três vezes, totalizando 30 parcelas, representadas por vasos de cerâmica. Os vasos correspondentes ao Podzólico Vermelho-Amarelo receberam 2,8 kg de terra e os correspondentes ao Latossolo Vermelho-Escuro receberam 4,0 kg de terra, ambas passadas em peneira de malha de 4,00 mm.

Carbonato de cálcio (CaCO_3), droga pró-análise, foi adicionado em cada um dos solos na quantidade indicada pela Tabela 2 (9,8g/vaso e 5,0g/vaso, respectivamente para o Podzólico Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Escuro) para elevar o pH a aproximadamente 6,3. Os solos, após a aplicação do CaCO_3 , foram umedecidos e manti-

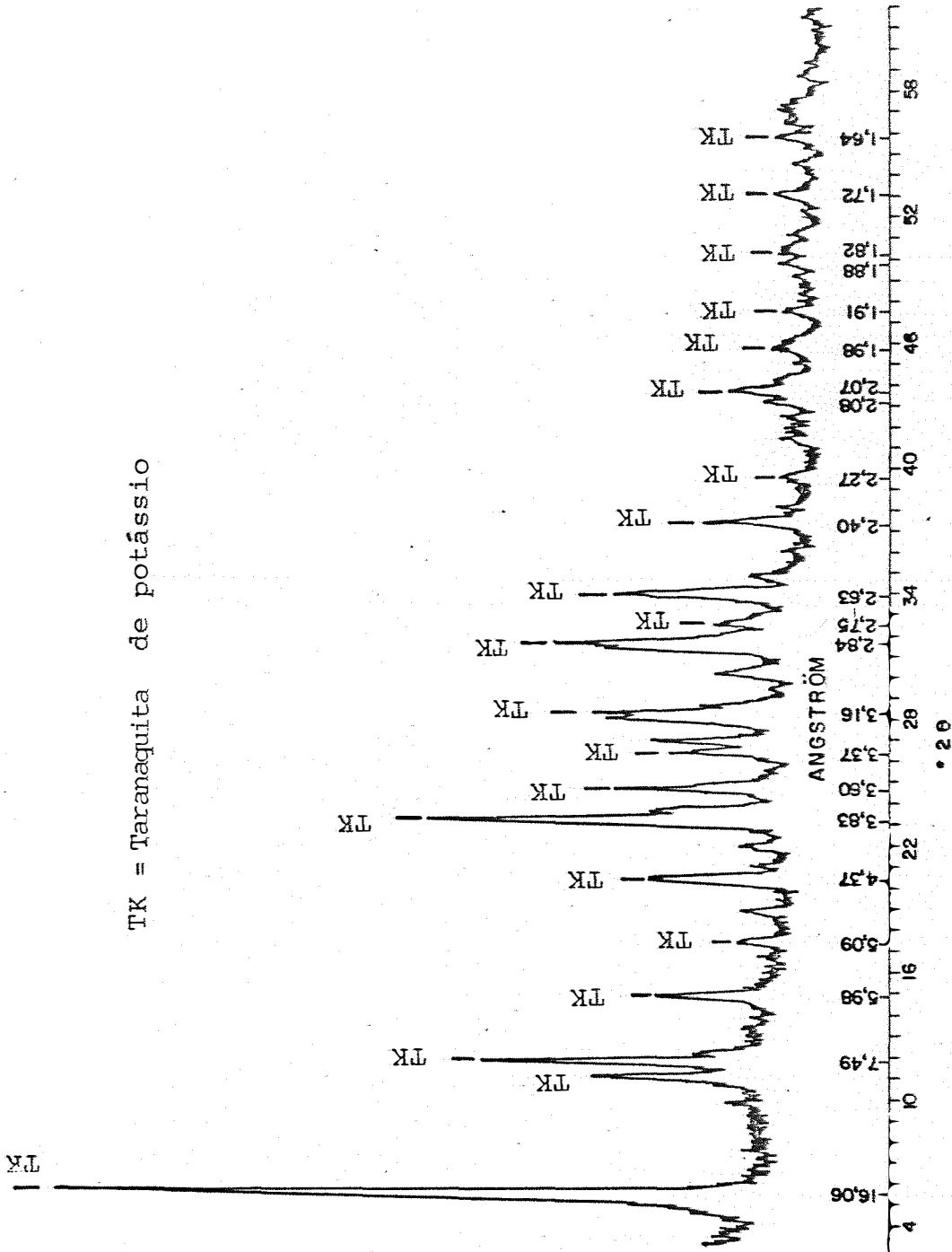


Figura 1. Difratoograma de raios-X (método do pó) da taranakita de potássio, obtida em laboratório.

dos nos vasos a aproximadamente 70% da CRA com aferições através de pesagens de três em três dias. Durante o período de incubação de 30 dias, os vasos permaneceram cobertos com material plástico para evitar a perda de água por evaporação. No fim desta incubação o pH dos solos ficou entre 6,3 e 6,5.

Findo o período de incubação secou-se a terra de cada vaso e procedeu-se a aplicação do P e do K, bem como da adubação básica. A fonte de P utilizada foi o superfosfato simples (produto comercial com 18% P_2O_5 , 20% de Ca e 12% de S), enquanto que as fontes de potássio foram a taranaquita de potássio (produto obtido em laboratório, item 3.3.1.) e o cloreto de potássio (droga pró-análise). Estes materiais, em forma de pó, foram bem misturados com a terra em quantidades calculadas pelos seus teores totais de P e K.

A adubação básica foi aplicada em todos os vasos, dissolvendo-se os adubos em água e misturando-os com a terra. Constituiu na aplicação de 180 ppm de N (uréia), sendo 1/3 no plantio, 1/3 aos 15 dias após a germinação e 1/3 aos 25 dias após a germinação, de 30 ppm de Mg ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) e de 2,5 ppm de Zn (ZnO), estes últimos totalmente no plantio (MALAVOLTA, 1984).

Foi realizado um cultivo em cada solo, utilizando como planta indicadora o milho (*Zea mays* L.), híbrido da Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo

HMD 7974, semeando-se 10 sementes por vaso e desbastando-se para cinco plantas 7 dias após a germinação.

A umidade dos solos foi mantida a aproximadamente 70% da CRA, aferida através de pesagens diárias e complemento do peso com água destilada.

Aos 45 dias após a germinação, as plantas foram cortadas rente à superfície do solo, lavadas e secadas em estufa de circulação forçada de ar a 60 - 70°C até atingir peso constante. Após a obtenção do peso de matéria seca, as plantas foram moídas em moinho tipo Wiley e o material acondicionado em recipientes de vidro para posterior análise química.

3.4.3. Parâmetros vegetais

A produção de matéria seca foi representada pela massa das plantas secas em estufa até peso constante.

A produção relativa do material foi determinada dividindo-se a quantidade de matéria seca produzida em cada um dos tratamentos pela quantidade de matéria seca produzida no tratamento com cloreto de potássio, dose de 150 ppm de K e sem P (KCl_{150} sem P = 100).

A quantidade de potássio absorvida, em cada tratamento foi determinada multiplicando-se a massa do material vegetal pela concentração(%) de potássio no material.

A quantidade relativa de potássio absorvida foi determinada dividindo-se a quantidade de potássio absorvida em cada um dos tratamentos pela quantidade de potássio absorvida no tratamento com cloreto de potássio na dose de 150 ppm de K e sem P.

3.4.4. Análise do material vegetal

A determinação analítica do K e do P nas plantas de milho foi feita segundo técnica descrita por SARRUGE & HAAG (1974).

O material vegetal foi digerido com adição de ácido nítrico e perclórico, sendo a solução mineral recolhida em recipientes de vidro de 50 ml, de onde se tomaram alíquotas para a determinação de K e P, feitas respectivamente em fotômetro de chama e colorímetro.

3.4.5. Índices de avaliação agronômica

Para avaliar a eficiência agronômica das fontes, foram utilizados os seguintes índices: recuperação do potássio aplicado (RPA), calculado pela fórmula:

$$RPA(\%) = \frac{K \text{ extraído do tratamento com K} - K \text{ extraído da testemunha}}{K \text{ aplicado da fonte}} \times 100$$

(K extraído = K assimilado pela planta e determinado no material vegetal conforme item 3.4.4.).

e o fator de utilização do potássio total aplicado (FUPT), utilizando-se a produção de matéria seca total, para cada tratamento, na respectiva dose de K aplicado (VASCONCELLOS *et alii*, 1986, adaptado por FAQUIN *et alii*, 1987), através da fórmula:

$$\text{FUPT} = \frac{\text{Mat. seca fonte} - \text{Mat. seca testemunha}}{\text{Dose de K da fonte}}$$

O FUPT, portanto, corresponde à produção adicional de matéria seca por miligrama de K aplicado em cada tratamento.

3.4.6. Análises estatísticas

Nas análises estatísticas seguiram-se as recomendações de PIMETEL GOMES (1982), de acordo com os delineamentos adotados.

O esquema de análise de variância adotado encontra-se na Tabela 6.

Tabela 6. Esquema de análise de variância.

Causas de variação	GL
Tratamentos	9
Tratamentos Fatoriais (F) - - - - -	7
Doses de fósforo (A) - - - - -	1
Fontes de potássio (B) - - - - -	1
Doses de potássio (C) - - - - -	1
Interação A X B - - - - -	1
Interação A X C - - - - -	1
Interação B X C - - - - -	1
Interação A X B X C - - - - -	1
Tratamentos Adicionais (T) - - - - -	1
Interação F X T - - - - -	1
Resíduo	20
Total	29

4. RESULTADOS

4.1. Experimento I

Dentre as maneiras para identificar a formação de taranaquita de potássio no solo, a difração de raios-X consiste em uma delas (HASEMAN *et alii*, 1950; LINDSAY *et alii*, 1962; entre outros).

Os difratogramas das amostras de solo obtidos neste estudo foram comparados com o difratograma padrão (aquele obtido para a taranaquita sintetizada em laboratório, apresentada na Figura 1). Tal comparação revelou que em nenhum dos solos, das frações granulométricas ou dos tratamentos (quatro níveis de pH, duas doses de P e duas doses de K) foi identificado o mineral taranaquita de potássio, o que pode ser constatado pela falta dos picos nos ângulos característicos da taranaquita. Nas Figuras 2 a 7 são apresentados os difratogramas das frações argila, silte e areia das amostras dos solos PV e LE, sob os diferentes valores de pH e correspondentes aos tratamentos que receberam adição de 200 ppm de P e 200 ppm de K. Os difratogramas das amostras não tratadas com P e K não foram apresentados por terem sido semelhantes aos das amostras tratadas.

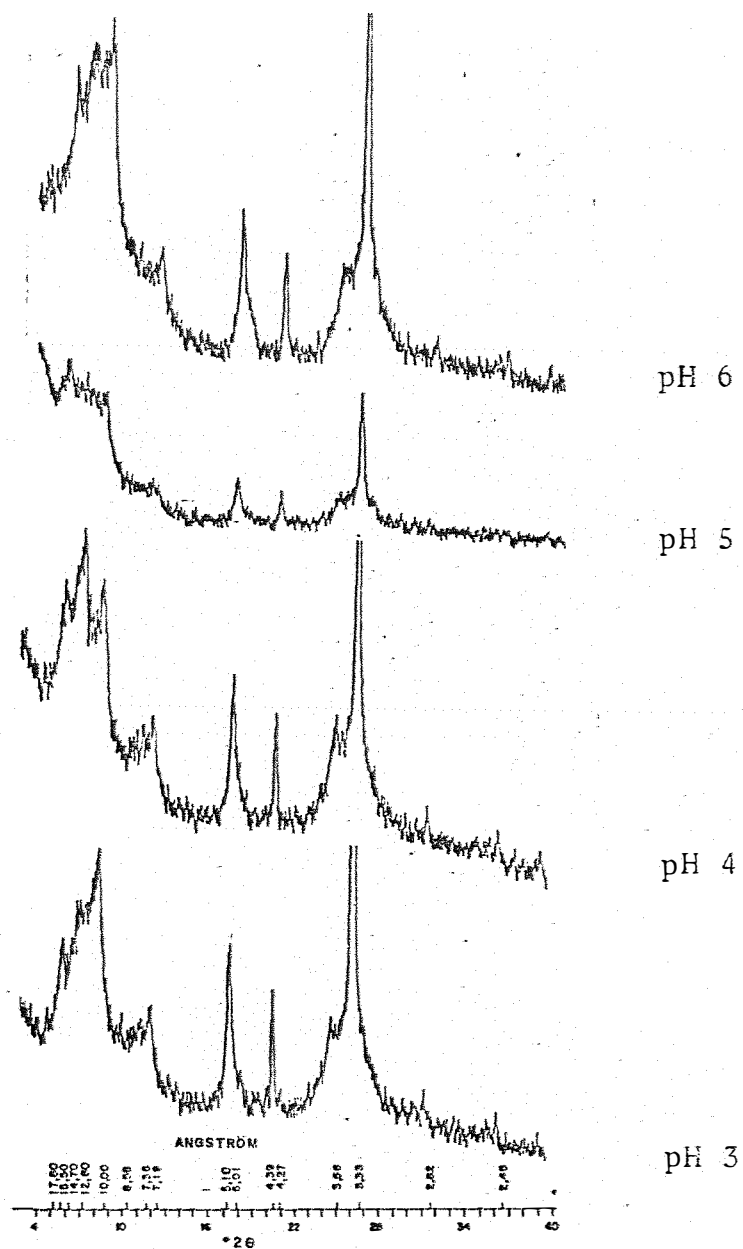


Figura 2. Difratoqramas de raios-X da fração argila (amostras orientadas), de amostras do Podzólíco Vermelho-Amarelo, adubadas com 200 ppm de P e 200 ppm de K, em função da variação do pH.

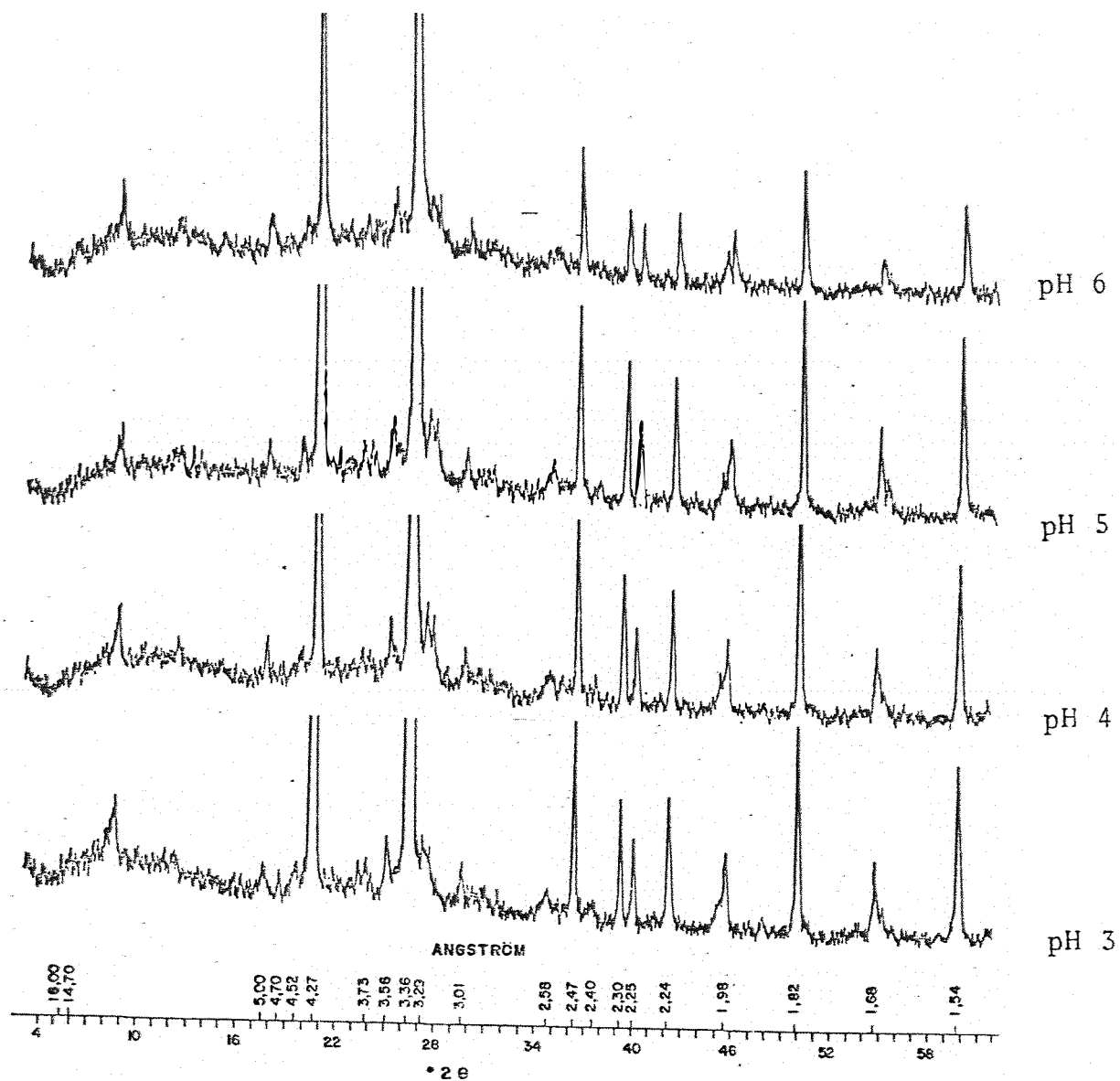


Figura 3. Difrátogramas de raios-X da fração silte (amostras orientadas), de amostras no Podzólíco Vermelho-Amarelo, adubadas com 200 ppm de P e 200 ppm de K, em função da variação do pH.

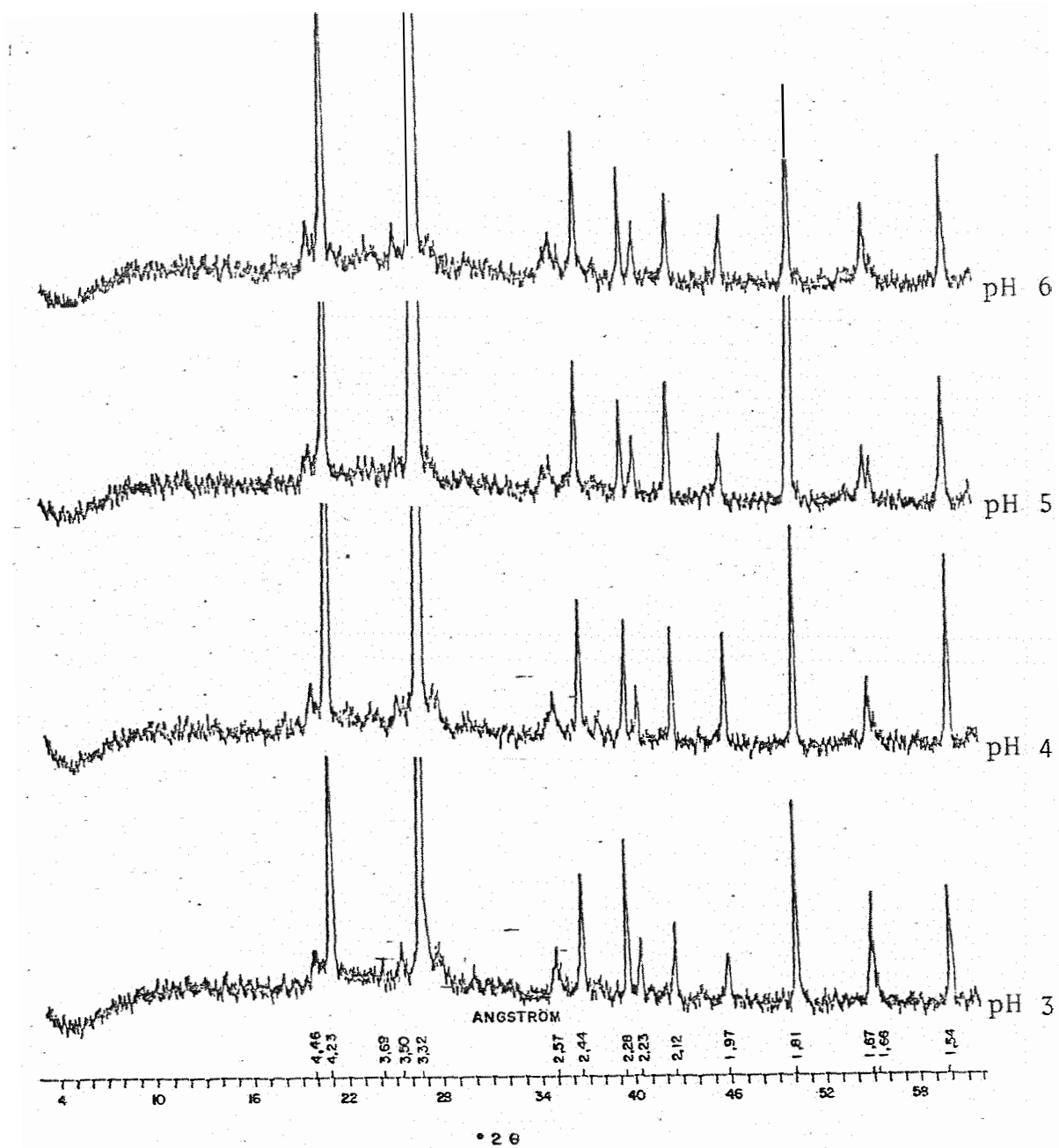


Figura 4. Difratoogramas de raios-X da fração areia (mêto do do pó), de amostras do Podzólíco Vermelho - -Amarelo, adubadas com 200 ppm de P e 200 ppm de K em função da variação do pH.

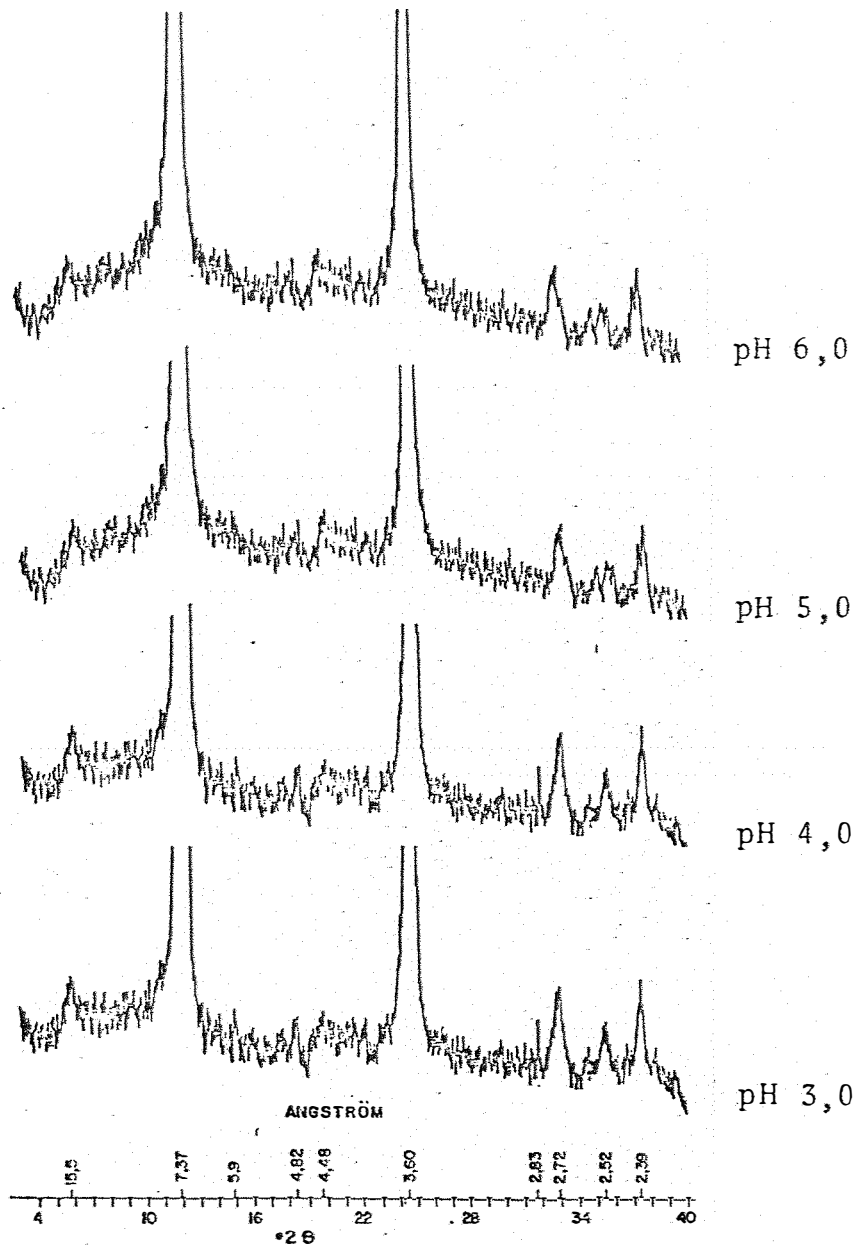


Figura 5. Difratoogramas de raios-X da fração argila (amostras orientadas), de amostras do Latossolo Vermelho-Escuro, adubadas com 200 ppm de P e 200 ppm de K em função da variação do pH.

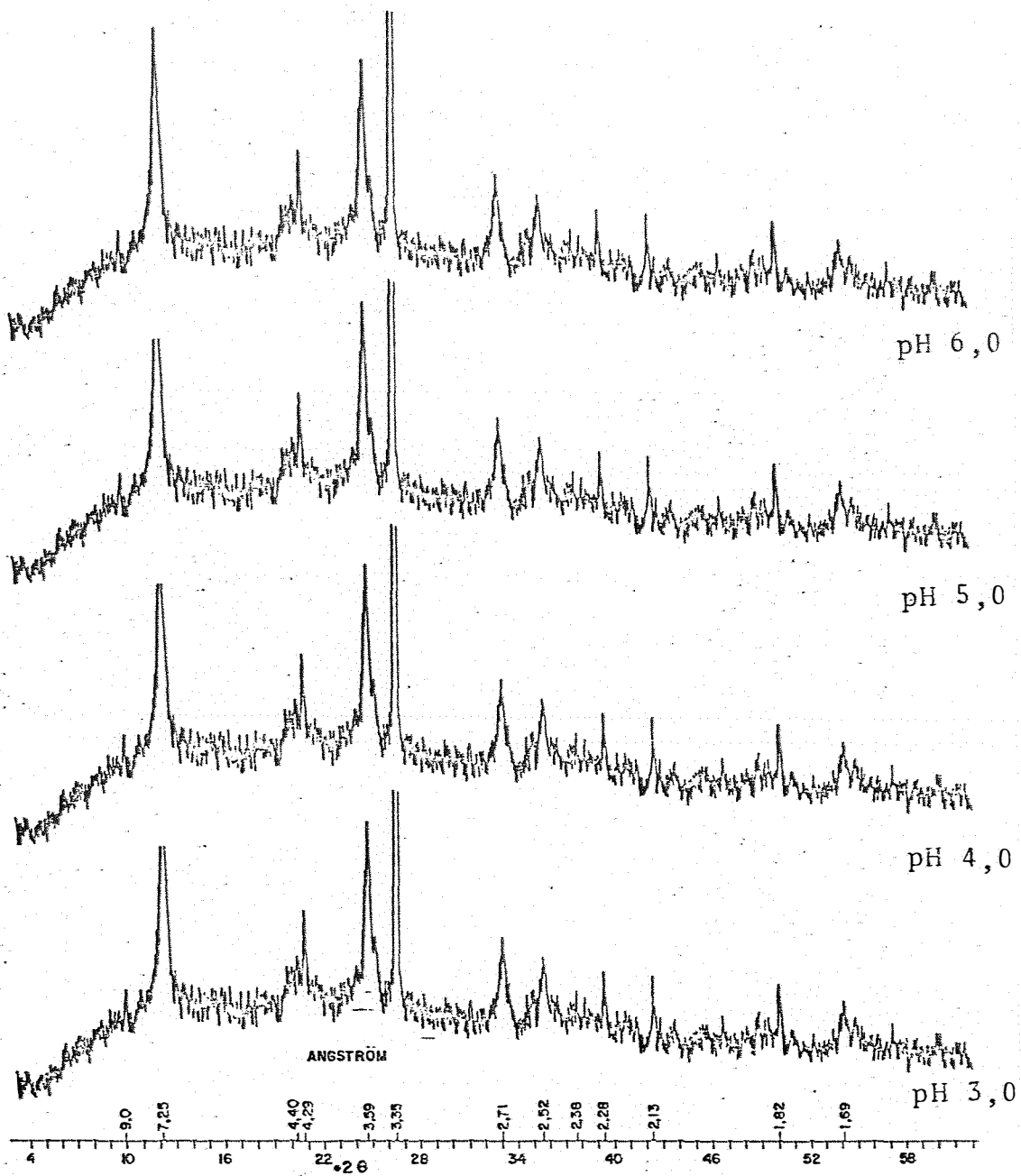


Figura 6. Difrátogramas de raios-X da fração silte (amostras orientadas), de amostras do Latossolo Vermelho-Escuro, adubadas com 200 ppm de P e 200 ppm de K em função da variação do pH.

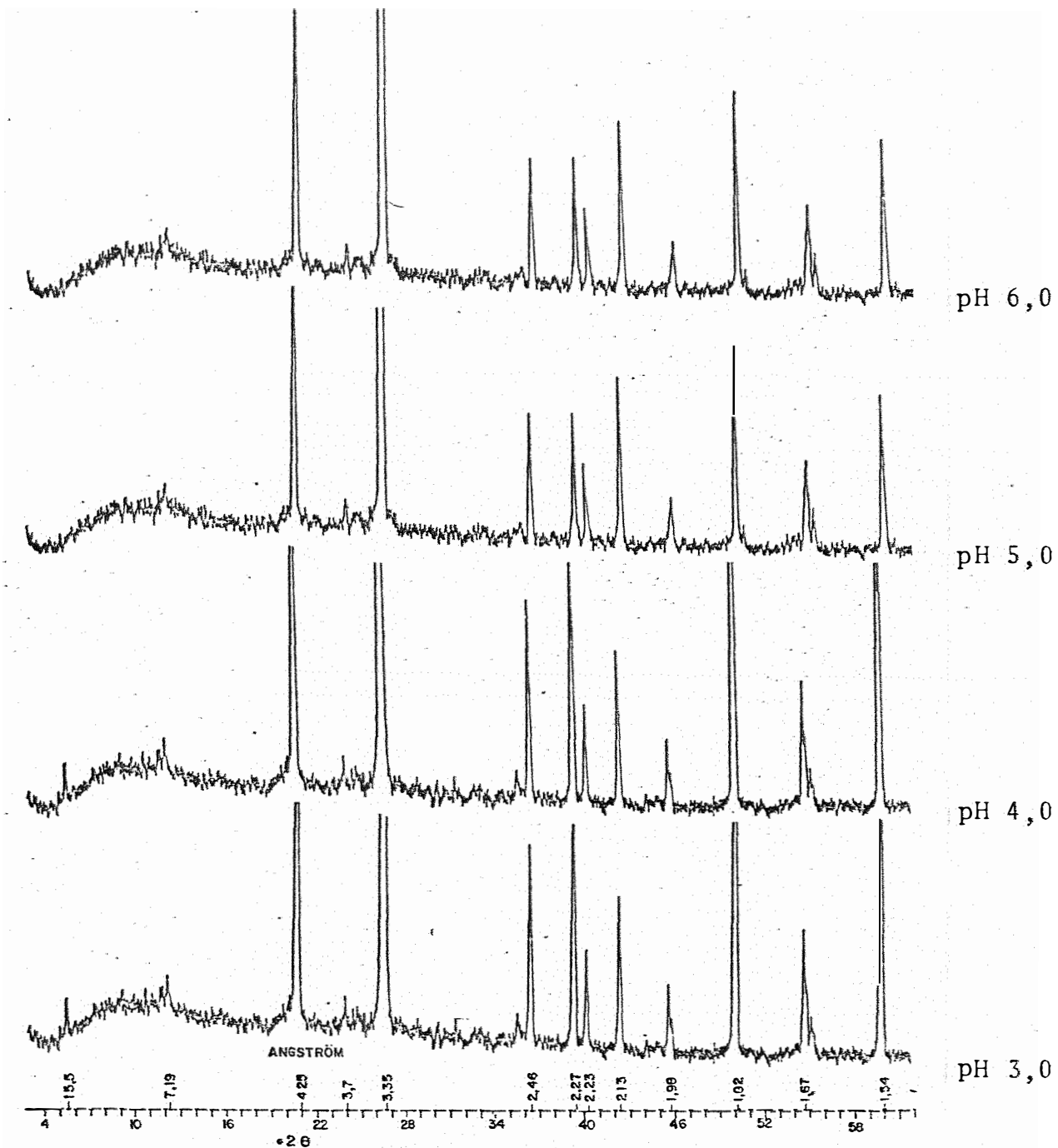


Figura 7. Difrátogramas de raios-X da fração areia (método do pó), de amostras do Latossolo Vermelho-Escuro, adubadas com 200 ppm de P e 200 ppm de K em função da variação do pH.

Em vista desses resultados, foi admitida a possibilidade de que a quantidade de taranaquita formada no solo não tenha sido suficiente para permitir sua identificação pelos raios-X. Outra hipótese seria a possibilidade de não ter havido tempo suficiente para a cristalização do mineral. Para verificar qual a quantidade mínima necessária de taranaquita no solo para sua identificação, porções da fração argila do solo PV foram misturadas com 3 e 10% de taranaquita de potássio sintética (obtida conforme descrito em 3.3.1.), enquanto porções da fração silte receberam 3, 5 e 10% do mesmo material. Essas misturas, submetidas aos raios-X, forneceram os difratogramas apresentados nas Figuras 8 a 12.

A Figura 8 mostra que a adição de 3% de taranaquita de K à fração argila do solo PV permitiu identificar a presença de espaços interplanares (distância basal) característicos da taranaquita de K (Figura 1). Os espaços mais evidentes foram 16,06 e 7,60 Å. A identificação desses espaços interplanares tornou-se mais evidente quando misturou-se 10% de taranaquita de K (Figura 9), principalmente o correspondente ao 16,06 Å (que no padrão apresenta intensidade 100).

Quando a fração silte foi misturada com 3, 5 e 10% de taranaquita de potássio (Figuras 10, 11 e 12), também verifica-se a identificação de espaços interplanares do mineral, desde a mistura dos 3%; entretanto, à medida que se aumentou a % de taranaquita de K na mistura, os espaços interplanares, principalmente o correspondente ao

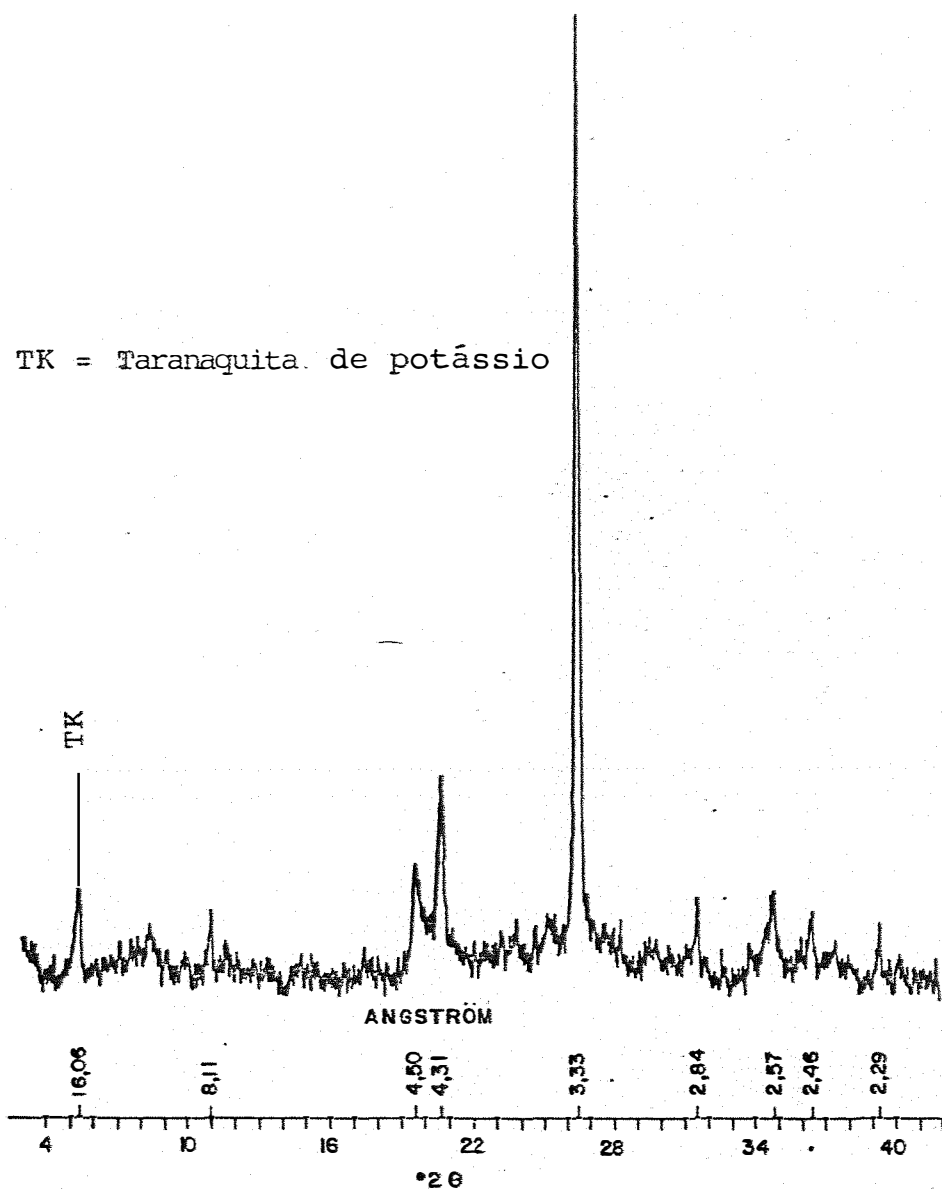


Figura 8. Difratoograma de raios-X da fração argila do solo PV tratado com 3% de taranaquita de potássio sintética.

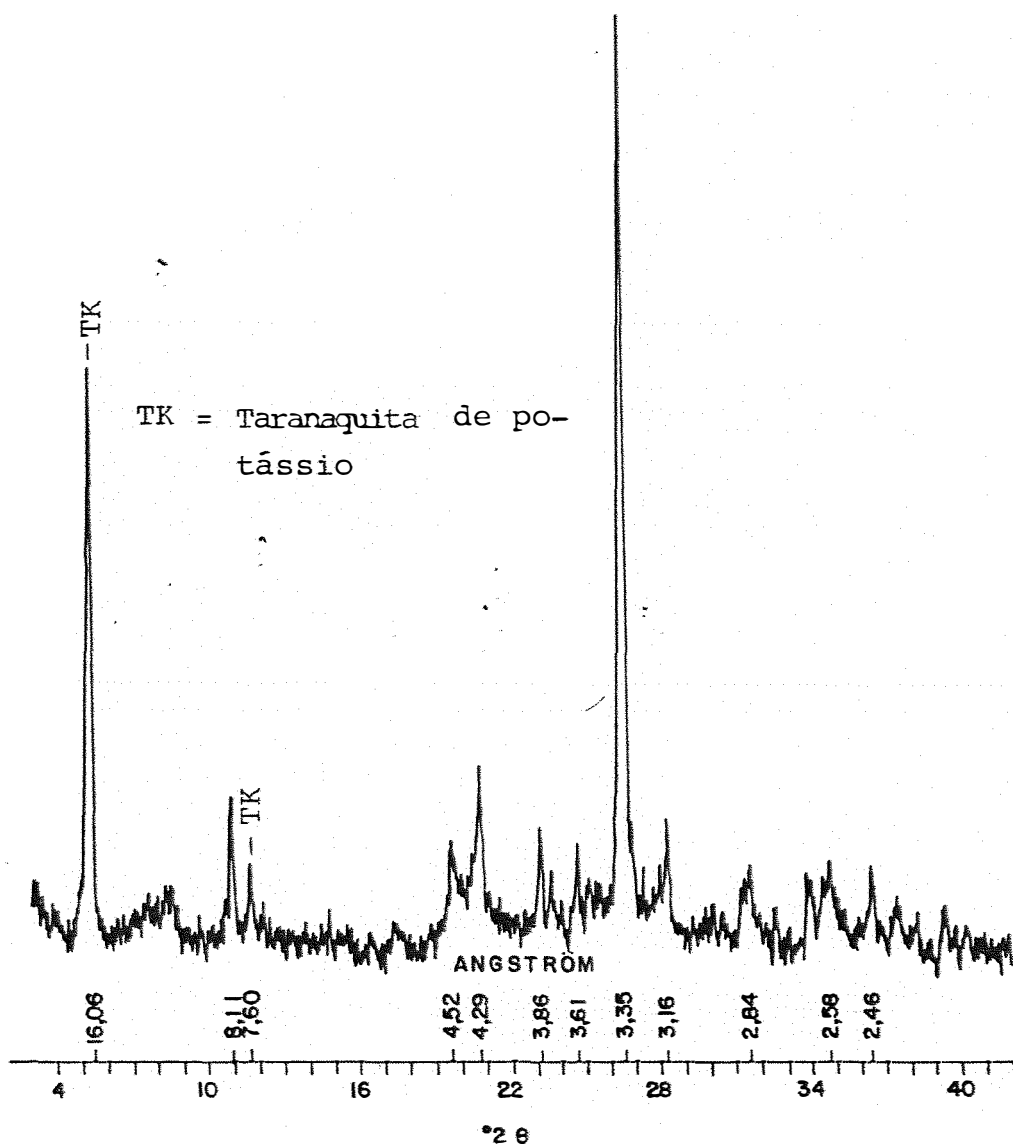


Figura 9. Difratoograma de raios-X da fração argila do solo PV tratado com 10% de taranaquita de potássio sintética.

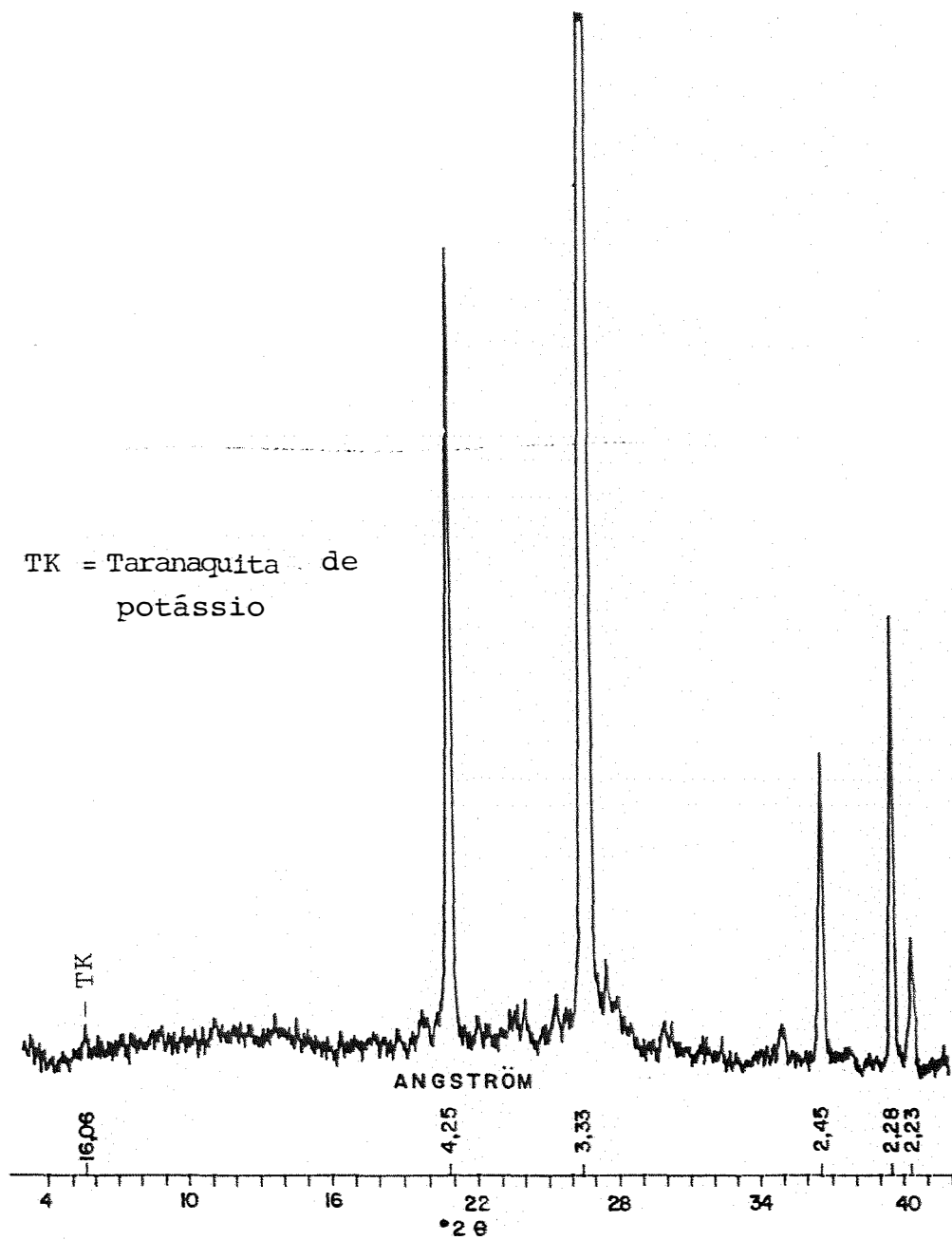


Figura 10. Difratoograma de raios-X da fração silte do solo PV tratado com 3% de taranaquita de potássio sintética.

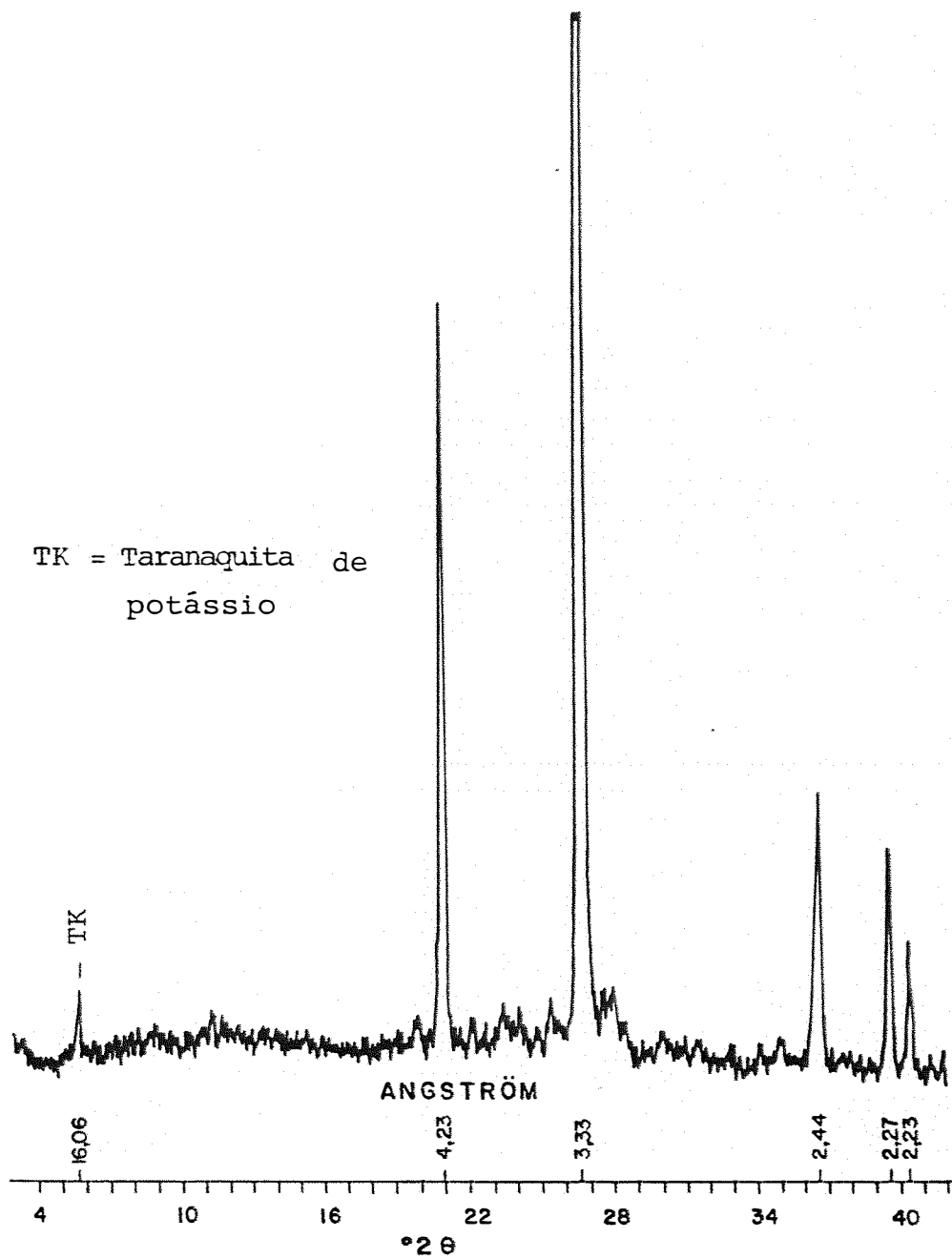


Figura 11. Difratoograma de raios-X da fração silte do solo PV tratado com 5% de taranaquita de potássio sintética.

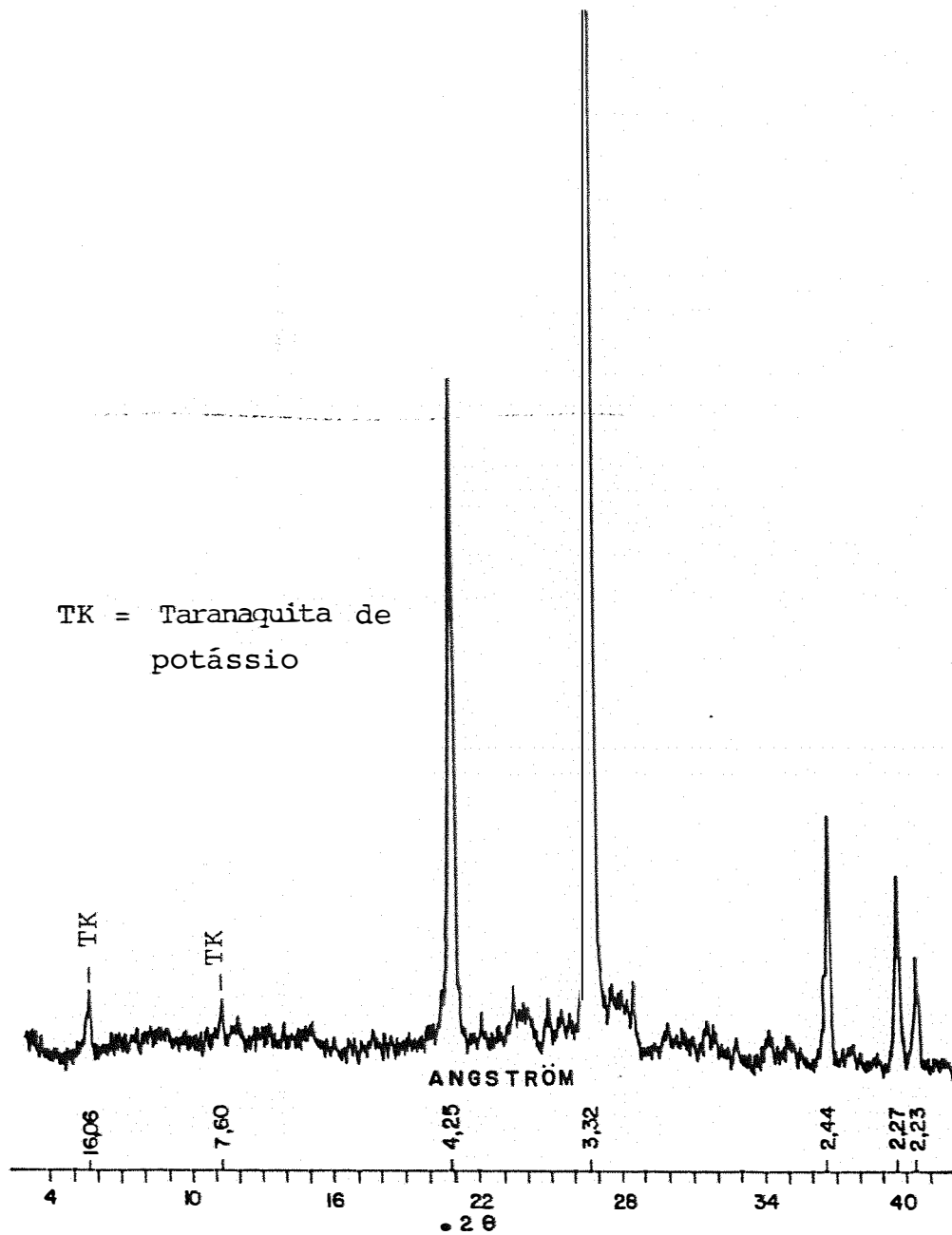


Figura 12. Difratoograma de raios-X da fração silte do solo PV tratado com 10% de taranaquita de potássio sintética.

16,06 A⁰, aumentaram de intensidade, apesar de não tanto como ocorreu na fração argila (Figuras 8 e 9).

4.2. Experimento II

Nas Tabelas 7 e 8 são apresentados os valores do teste F e do coeficiente de variação para produção de matéria seca (MS), e para concentração e acúmulo de fósforo e potássio na parte aérea de milho, para os diversos fatores estudados e respectivamente para os solos Podzólico Vermelho-Amarelo (PV) e Latossolo Vermelho-Escuro (LE).

4.2.1. Produção de matéria seca

4.2.1.1. Podzólico Vermelho-Amarelo

Na Tabela 9 são apresentadas as produções médias de matéria seca (MS) correspondentes aos diferentes fatores estudados. Verifica-se que as médias de produção de matéria seca para as testemunhas sem P e com P (8,2 e 8,3 g/vaso) não diferiram significativamente entre si, mostrando que, para este solo, somente a adubação com P não proporcionou aumentos significativos na produção de matéria seca de milho.

Para fontes de K, observa-se que as produções de matéria seca foram de 59,45 e 33,97 g/vaso, respec-

Tabela 7. Análise de variância (teste F) dos dados de produção de matéria seca e de concentração e acúmulo de P e K na parte aérea de plantas de milho cultivadas no solo PV, para os diversos fatores estudados.

Causas de Variação	GL	I E S T E F			Acúmulo de P	Acúmulo de K
		Produção de MS	IP	IK		
Tratamentos	9	461,23**	29,77**	106,05**	71,66**	24,94**
Tratamentos Fatoriais(F)	7	168,10**	29,52**	135,79**	63,98**	23,12**
Doses de Fósforo (A)	1	461,23**	105,66**	213,98**	234,17**	106,00**
Fontes de K (B)	1	353,68**	94,00**	412,16**	189,43**	2,90 ^{ns}
Doses de K (C)	1	1,00 ^{ns}	1,91 ^{ns}	18,76**	4,08 ^{ns}	14,82**
Interação A X B	1	351,57**	0,26 ^{ns}	298,01**	9,19**	32,10**
Interação A X C	1	2,99 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,09 ^{ns}	5,48*
Interação B X C	1	6,33*	4,46*	6,11*	10,28**	0,01 ^{ns}
Interação A X B X C	1	0,13 ^{ns}	0,26 ^{ns}	1,24 ^{ns}	0,62 ^{ns}	0,53 ^{ns}
Tratamentos Adicionais (T)	1	0,13 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,006 ^{ns}
Interação F X T	1	661,28**	60,71**	3,89 ^{ns}	197,04**	107,60**
Resíduo	20					
Total	29					
A dentro de B 1	1	808,86**	47,71**	508,53**	168,06**	127,38**
A dentro de B 2	1	3,73 ^{ns}	58,21**	3,47 ^{ns}	75,29**	10,72**
B dentro de A 1	1	705,04**	42,19**	705,56**	141,02**	27,15**
B dentro de A 2	1	0,002 ^{ns}	52,07**	4,62*	57,59**	7,85**
A dentro de C 1	1	269,23**	49,15**	114,20**	121,71**	31,64**
A dentro de C 2	1	191,98**	56,64**	100,01**	112,55**	79,84**
C dentro de A 1	1	3,73 ^{ns}	0,53 ^{ns}	7,40*	2,69 ^{ns}	1,14 ^{ns}
C dentro de A 2	1	0,26 ^{ns}	1,53 ^{ns}	11,60**	1,48 ^{ns}	19,16**
B dentro de C 1	1	152,68**	28,75**	158,93**	55,73**	1,63 ^{ns}
B dentro de C 2	1	227,32**	69,73**	259,35**	143,97**	1,28 ^{ns}
C dentro de B 1	1	1,15 ^{ns}	0,26 ^{ns}	23,15**	0,70 ^{ns}	7,82*
C dentro de B 2	1	6,19*	0,61 ^{ns}	1,53 ^{ns}	1,48 ^{ns}	7,01*
C.V. (1)		8,52	14,63	10,56	17,59	17,56

** - significativo ao nível de 1% de probabilidade
 * - significativo ao nível de 5% de probabilidade
 ns - não significativo

Tabela 8. Análise da variância (teste F) dos dados de produção de matéria seca e de concentração e acúmulo de P e K na parte aérea de plantas de milho cultivadas no solo LE, para os diversos fatores estudados.

Causas de Variação	GL	T E S T E F				Acúmulo de K
		Produção de MS	IP	AK	Acúmulo de P	
Tratamentos	9	227,52**	38,47**	170,15**	74,42**	206,05**
Tratamentos Fatoriais (F)	7	202,03**	32,21**	165,67**	73,51**	191,27**
Doses de Fósforo (A)	1	565,35**	92,51**	115,80**	245,33**	487,68**
Pontes de K (B)	1	246,51**	117,17**	810,90**	195,51**	76,22**
Doses de K (C)	1	11,03**	2,48 ^{ns}	77,52**	12,86**	166,21**
Interação A X B	1	586,30**	6,65*	127,46**	46,57**	476,23**
Interação A X C	1	0,40 ^{ns}	0,52 ^{ns}	15,95**	0,36 ^{ns}	60,82**
Interação B X C	1	0,29 ^{ns}	6,31*	13,12**	14,33**	14,44**
Interação A X B X C	1	4,30 ^{ns}	0,01 ^{ns}	6,57*	0,32 ^{ns}	57,53**
Tratamentos Adicionais (T)	1	47,06**	120,94**	71,58**	40,82**	0,006 ^{ns}
Intercção F X T	1	586,43**	0,01 ^{ns}	300,08**	114,41**	515,50**
Resíduo	20					
Total	29					
A dentro de B 1	1	1151,55**	7,44*	243,13**	252,83**	963,87**
A dentro de B 2	1	0,09 ^{ns}	24,76**	0,14 ^{ns}	39,06**	0,03 ^{ns}
B dentro de A 1	1	796,57**	89,84**	790,69**	216,45**	85,70**
B dentro de A 2	1	36,23**	33,98**	147,68**	25,62**	466,75**
A dentro de C 1	1	267,67**	51,89**	93,07**	132,55**	102,21**
A dentro de C 2	1	298,07**	40,93**	31,04**	113,16**	446,09**
C dentro de A 1	1	3,59 ^{ns}	2,30 ^{ns}	17,53**	8,84**	13,03**
C dentro de A 2	1	7,84*	0,50 ^{ns}	68,29**	4,40*	213,79**
B dentro de C 1	1	114,83**	34,53**	300,86**	53,01**	12,15**
B dentro de C 2	1	131,97**	88,94**	515,16**	156,07**	78,50**
C dentro de B 1	1	3,85 ^{ns}	0,44 ^{ns}	77,21**	0,005 ^{ns}	139,31**
C dentro de B 2	1	7,47*	8,56**	13,43**	26,44**	41,33**
C.V. (%)		7,43	17,12	8,44	14,98	10,70

** - significativo ao nível de 1% de probabilidade

* - significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns - não significativo

Tabela 9. Produção de matéria seca da parte aérea de plantas de milho cultivadas nos solos PV e LE, em função de fontes e doses de potássio e presença ou ausência de adubo fosfatado.

Fator	PV		Média	LE	
	sem P	com P		sem P	com P
Fontes de potássio					
	g/vaso				
Cloreto de potássio	6,73Bb ¹	61,22Aa	33,97b	3,48Bb	29,13Aa
Taranaquita de potássio	57,60Aa	61,30Aa	59,45a	24,81Aa	24,58Ab
Doses de potássio					
150 ppm	30,31Ba	61,75Aa	46,03a	13,43Ba	25,80Ab
300 ppm	34,01Ba	60,76Aa	47,38a	14,86Ba	27,81Aa
Fontes e doses de potássio					
Cloreto de potássio 150 ppm K	6,83Bc ²	63,17Aa	35,00b ³	3,46Bb	27,66Aab
Cloreto de potássio 300 ppm K	6,63Bc	59,27Aa	32,95b	3,50Bb	30,60Aa
Taranaquita de potássio 150 ppm K	53,80Bb	60,53Aa	57,06a	23,40Aa	23,93Ab
Taranaquita de potássio 300 ppm K	61,40Aa	62,27Aa	61,83a	26,23Aa	25,23Ab
Média	32,16B	61,26A	-	14,14B	26,85A
Testemunha	8,20A	8,30A	-	2,40B	9,70A

(1) Dentro de cada fator, médias acompanhadas da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si, pelo Teste F ou de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

(2) D.M.S. para colunas internas: PV = 7,59; LE = 2,99; para linhas internas: PV = 5,65, LE = 2,23.

(3) D.M.S. para coluna de média: PV = 5,36, LE = 2,12.

tivamente para a taranaquita de K e para o cloreto de potássio. Na ausência de P verifica-se que a produção de matéria seca com adição de cloreto de potássio (6,73 g/ vaso) foi muito mais baixa que a obtida com a taranaquita (57,60 g/vaso) enquanto que, na presença de P, as produções com cloreto (61,22 g/vaso) e com taranaquita (61,30 g/vaso) não diferiram significativamente entre si.

As doses de K, em seu efeito geral, não influenciaram a produção de MS, seja na ausência ou na presença de adubo fosfatado.

Observa-se que as produções de MS obtidas na ausência de P, tanto na dose 150 ppm de K (30,31 g/ vaso) quanto na dose 300 ppm de K (34,01 g/vaso) foram menores que as observadas na presença de P (61,75 e 60,76 g/vaso, respectivamente para cada dose de K).

Avaliando-se as fontes e doses de potássio isoladamente, nota-se que na ausência de P aplicado houve efeito significativo de doses de K quando se aplicou a taranaquita, ou seja, a produção de MS cresceu de 53,80 para 61,40 g/vaso quando a dose de taranaquita aumentou de 150 para 300 ppm de K. Como esse efeito não ocorreu na presença de P aplicado, é possível que o aumento de MS causado pela maior dose de taranaquita esteja associado ao efeito do fósforo presente nesse mineral.

Outro fato também contribuiu para mostrar o efeito favorável do fósforo da taranaquita: quando esta

foi aplicada na dose de 300 ppm de K, a produção de MS foi a mesma, independentemente de se adicionar ou não fósforo (62,27 e 61,40 g/vaso, respectivamente). Para a dose menor de taranaquita, a produção de MS na presença de P adicionado (60,33 g/vaso) foi maior que na ausência dessa adição (53,80 g/vaso), mas a diferença foi pequena, talvez mascarada pelo P da taranaquita. Para o cloreto de potássio, contudo, por não conter P, a diferença entre adicionar e não adicionar este nutriente foi grande tanto para a dose de 150 ppm (63,17 e 6,83 g/vaso) quanto para a dose de 300 ppm (59,27 e 6,63 g/vaso).

As produções de MS no solo PV, calculadas fazendo-se a produção obtida com KCl na dose 150 ppm e na ausência de P igual a 100, para os diversos tratamentos, são apresentadas na Figura 13a. Observa-se que, tanto o cloreto de potássio na presença de P, como a taranaquita de K, com e sem P, na dose de 150 ppm de K, apresentaram produções de MS que corresponderam, respectivamente, a 924, 883 e 788% daquelas obtidas com o KCl (dose de 150 ppm, sem P). Enquanto, na dose de 300 ppm de K, apresentaram produções de MS respectivamente iguais a 868, 912 e 899% daquelas verificadas com o KCl (dose de 150 ppm, sem P).

Tomando-se agora como referência a produção de MS do tratamento com KCl na dose 150 ppm, porém, na presença de P, observa-se que as produções de MS obtidas com a taranaquita de K com e sem P, na dose de 150 ppm de

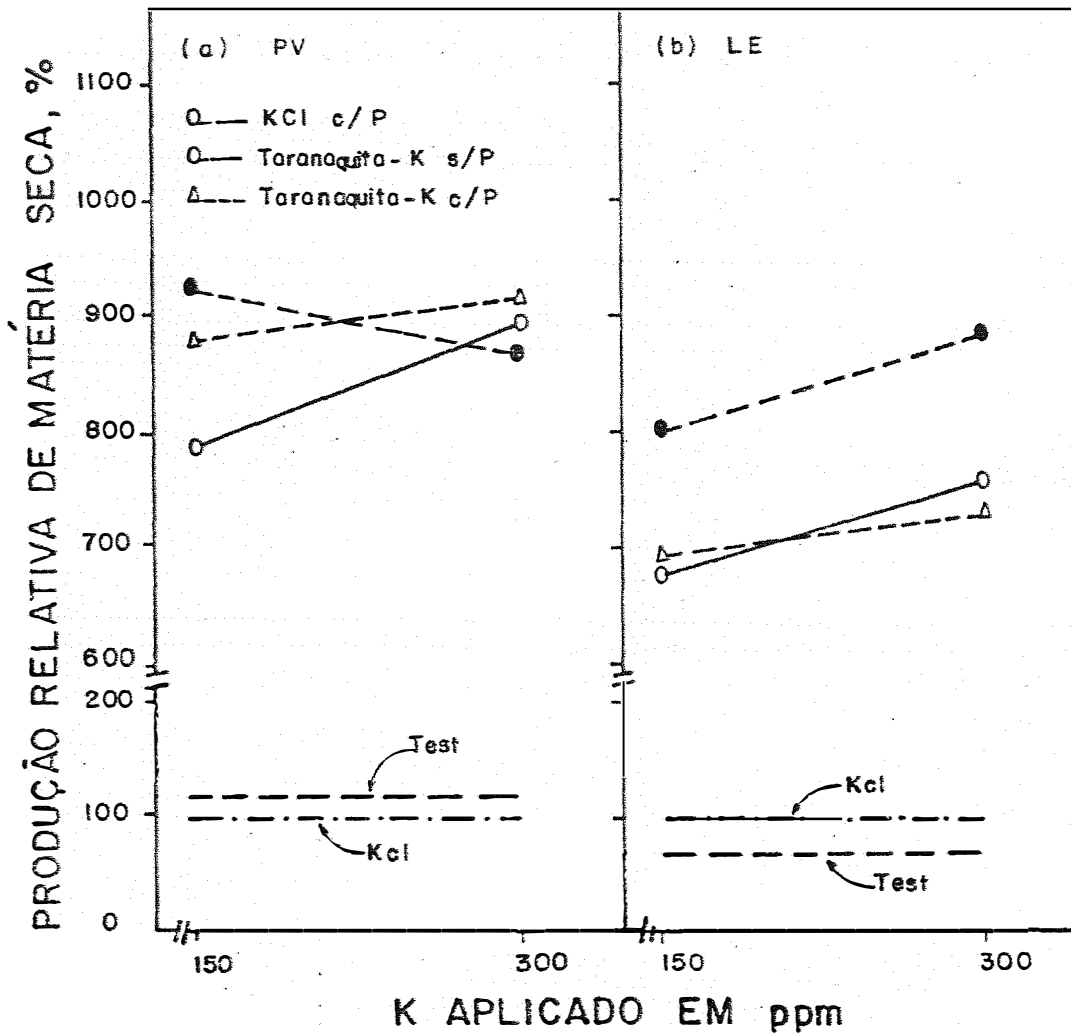


Figura 13. Produção relativa de matéria seca da parte aérea de milho, durante um cultivo, em função de fontes e doses de K, na presença e ausência de adubo fosfatado, nos solos Podzólco Vermelho-Amarelo (PV) e Latossolo Vermelho-Escuro (LE). (KCL_{150} ppm sem P = 100).

K, corresponderam, respectivamente, a 96 e 85% da produção de MS daquele tratamento com cloreto de potássio (dose de 150 ppm, com P). Na dose de 300 ppm de K, contudo, as produções com taranaquita corresponderam 99 e 97%, respectivamente, das obtidas com o cloreto de potássio (dose de 150 ppm, com P).

4.2.1.2. Latossolo Vermelho-Escuro

Na Tabela 9 são apresentadas as produções médias de matéria seca correspondentes aos diferentes fatores estudados. Verifica-se que as médias de produção de matéria seca para as testemunhas sem P e com P (2,4 e 9,7 g/vaso) diferiram significativamente entre si, mostrando que para este solo a adubação somente com P proporcionou aumento significativo na produção de matéria seca.

Para fontes de K, observa-se que as produções de MS foram de 24,69 e 16,30 g/vaso, respectivamente para a taranaquita de K e para o KCl. Neste solo a taranaquita de K também apresentou resultados significativamente superiores aos obtidos com o KCl. Verifica-se que, na ausência de P, a produção de MS com aplicação da taranaquita (24,81 g/vaso) superou a obtida com KCl (3,48 g/vaso), mas na presença de P, a produção com essa fonte de K (29,13 g/vaso) é que sobrepujou a da taranaquita (24,58 g/vaso).

Quanto ao efeito geral de doses de K, veri-

fica-se que o mesmo foi significativo somente na presença de P, quando a produção de MS com 300 ppm de K (27,81 g/vaso) superou a obtida com 150 ppm de K (25,80 g/vaso). A falta de resposta na ausência do P talvez se deva à limitação do crescimento das plantas causada pelo baixo teor do elemento neste solo.

Avaliando-se as fontes e as doses de potássio isoladamente, nota-se que, na ausência de P a produção de matéria seca pelas plantas de milho cultivadas no solo LE não foram influenciadas pelo aumento da dose de cloreto de potássio de 150 para 300 ppm de K (3,46 e 3,50 g/vaso, respectivamente) e pelo aumento da dose de taranaquita de K de 150 para 300 ppm de K (23,40 e 26,23 g/vaso, respectivamente). Na presença de P o comportamento das fontes de potássio foi semelhante, isto é, não houve resposta significativa para as doses de cloreto de potássio (27,66 e 30,60 g/vaso) e para as doses de taranaquita de K, (23,93 e 25,23 g/vaso).

Esses fatos ressaltam, mais uma vez, a acentuada deficiência de P do solo LE, pois o cloreto de potássio mostrou-se eficiente somente quando acompanhado da adição de adubo fosfatado. Possivelmente o fato de taranaquita ter conferido menores produções que o cloreto de potássio na presença de P, além de não ter dado resposta significativa para doses, pode estar associado à menor solubilidade da taranaquita em relação ao KCl, isto é, o K tornou-

-se ligeiramente limitante às plantas quando na forma de taranaquita, o mesmo não acontecendo com a adição do cloreto.

As produções relativas de matéria seca no solo LE, obtidas fazendo-se a produção do tratamento com KCl na dose 150 ppm e na ausência de P igual a 100, para os diversos tratamentos são apresentadas na Figura 13b. Observa-se que tanto o KCl na presença de P, como a taranaquita de K, com e sem P, na dose de 150 ppm de K, apresentaram produções de MS que corresponderam, respectivamente, a 799, 692 e 676% daquelas obtidas com o KCl. Entretanto, na dose de 300 ppm de K, apresentaram produções de MS respectivamente iguais a 884, 729 e 758% daquelas verificadas para o KCl.

Tomando-se agora como referência a produção de MS do tratamento com KCl na dose 150 ppm, porém na presença de P, observa-se que as produções de MS obtidas com a taranaquita de K com e sem P, na dose de 150 ppm de K, corresponderam, respectivamente, a 86 e 84% da produção de MS daquele tratamento com KCl (dose 150 ppm, com P). Para a dose de 300 ppm de K, contudo, as produções com taranaquita na presença e na ausência de P corresponderam a 91 e 94%, respectivamente, da produção de MS obtida com o KCl (dose 150 ppm, com P).

4.2.2. Concentração e acúmulo de K na parte aérea

Nas Tabelas 10 e 11 são apresentadas as médias de concentração e acúmulo de K, na parte aérea do milho cultivado nos solos Podzólico Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Escuro, em função dos diversos fatores estudados.

4.2.2.1. Podzólico Vermelho-Amarelo

As concentrações de K na parte aérea (Tabela 10) foram influenciadas de modo significativo pelas fontes de K e doses de K, na ausência e na presença de P.

O efeito geral de fontes de K foi significativo, resultando maior teor desse elemento na folha quando se aplicou o cloreto de potássio (3,38% de K) do que quando se forneceu a taranaquita (1,29% de K). É interessante notar que, quando o P não foi aplicado, a concentração de K na parte aérea foi das mais elevadas (5,03% K), o mesmo não ocorrendo quando o P estava presente, caso dos tratamentos com P (1,74 e 1,43% K) e do tratamento de potássio (1,16% K). Esse fato pode ser explicado pelas maiores produções de matéria seca ocorridas quando se aplicou o fósforo ou quando se empregou a taranaquita, conforme se observou na Tabela 9; o resultado teria sido um efeito de diluição desse elemento nos tecidos formados na parte aérea, daí as menores concentrações de K observadas nesses

Tabela 10. Concentração de potássio na parte aérea de plantas de milho cultivadas nos solos Podzólico Vermelho-Amarelo (PV) e Latossolo Vermelho-Escuro (LE), em função de fontes e doses de K e da presença ou ausência de adubo fosfatado.

Fator	PV			LE		
	sem P	com P	Média	sem P	com P	Média
Fontes de potássio						
Cloreto de potássio	5,03Aa ¹	1,74Ba	3,38a	1,83Aa	1,13Ba	1,48a
Taranaquita de potássio	1,16Ab	1,43Ab	1,29b	0,58Ab	0,59Ab	0,58b
Doses de potássio						
150 ppm	2,90Ab	1,34Bb	2,12b	1,11Ab	0,68Bb	0,89b
300 ppm	3,29Aa	1,84Ba	2,56a	1,30Aa	1,05Ba	1,17a
Fontes e doses de potássio						
Cloreto de potássio 150 ppm K	4,65Ab ²	1,43Bb	3,04b ³	1,72Ab	0,86Bb	1,29b
Cloreto de potássio 300 ppm K	5,42Aa	2,06Ba	3,74a	1,94Aa	1,42Ba	1,68a
Taranaquita de potássio 150 ppm K	1,15Ac	1,25Ab	1,20c	0,50Ac	0,51Ac	0,50d
Taranaquita de potássio 300 ppm K	1,17Bc	1,61Aab	1,39c	0,66Ac	0,68Ac	0,67c
Média	3,09A	1,58B	-	1,20A	0,86B	-
Testemunha	2,54A	2,61A	-	0,69A	0,16B	-

(1) Dentro de cada fator, médias acompanhadas da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si, pelo Teste F ou de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

(2) D.M.S. para colunas internas: PV = 0,58, LE = 0,18; para linhas internas: PV = 0,43, LE = 0,13.

(3) D.M.S. para coluna de média: PV = 0,41, LE = 0,13.

Tabela 11. Acúmulo de K na parte aérea de plantas de milho cultivadas nos solos Podzólico Vermelho-Amarelo (PV) e Latossolo Vermelho-Escuro (LE), em função de fontes e doses de K e da presença ou ausência de adubo fosfatado.

Fator	PV		LE	
	sem P	com P	sem P	com P
Fontes de potássio				
	mg K/planta			
Cloreto de potássio	67,48Bb ¹	212,33Aa	12,80Bb	66,95Aa
Taranaquita de potássio	134,36Ba	176,37Ab	28,94Aa	29,27Ab
Doses de potássio				
150 ppm	94,08Ba	166,27Ab	17,72Bb	35,35Ab
300 ppm	107,77Ba	222,44Aa	24,02Ba	60,86Aa
Fontes e doses de potássio				
Cloreto de potássio 150 ppm K	63,48Bb ²	180,50Ab	11,98Bc	47,18Ab
Cloreto de potássio 300 ppm K	71,48Bb	244,20Aa	13,61Bc	86,72Aa
Taranaquita de potássio 150 ppm K	124,70Aa	152,10Ab	23,46Ab	23,56Ad
Taranaquita de potássio 300 ppm K	144,10Ba	200,70Aab	34,43Aa	35,00Ac
Média	100,92A	194,35B	20,87B	48,11A
Testemunha	41,69A	43,08A	3,27A	3,08A

(1) Dentro de cada fator, médias acompanhadas da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si, pelo Teste F ou de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

(2) D.M.S. para colunas internas: PV = 50,82, LE = 6,90; para linhas internas: PV = 37,86, LE = 5,14.

(3) D.M.S. para coluna de média: PV = 35,93, LE = 4,88.

tratamentos.

O aumento na dose de K de 150 para 300 ppm de K fez aumentar a concentração desse nutriente na parte aérea das plantas de milho. Esse aumento foi maior quando na presença de P (37%) do que na ausência desse elemento (13%). O fato de não ter havido variação na produção de matéria seca, conforme se observa na Tabela 9, indica que o aumento de concentração de K na parte aérea resultou de maior disponibilidade desse elemento no solo, tendo como consequência maior absorção pelas plantas e aumento da concentração nos tecidos.

Avaliando-se as fontes e doses de K isoladamente (Tabela 10 e Figura 14), nota-se que na ausência de P aplicado houve efeito significativo quando se aplicou o KCl, ou seja, a concentração de K cresceu de 4,65 para 5,42% na parte aérea das plantas de milho quando a dose aumentou de 150 para 300 ppm de K. Como esse efeito ocorreu na presença de P aplicado (1,43 e 2,06%, respectivamente) e como não houve variação na produção de MS, conforme se observa na Tabela 9, indica que o aumento da concentração de K na parte aérea resultou de maior disponibilidade desse elemento no solo, tendo como consequência maior absorção pelas plantas e aumento da concentração nos tecidos.

Para a taranaquita a concentração de K na parte aérea das plantas de milho não diferiu significativamente quando a dose de K aumentou de 150 para 300 ppm, tan-

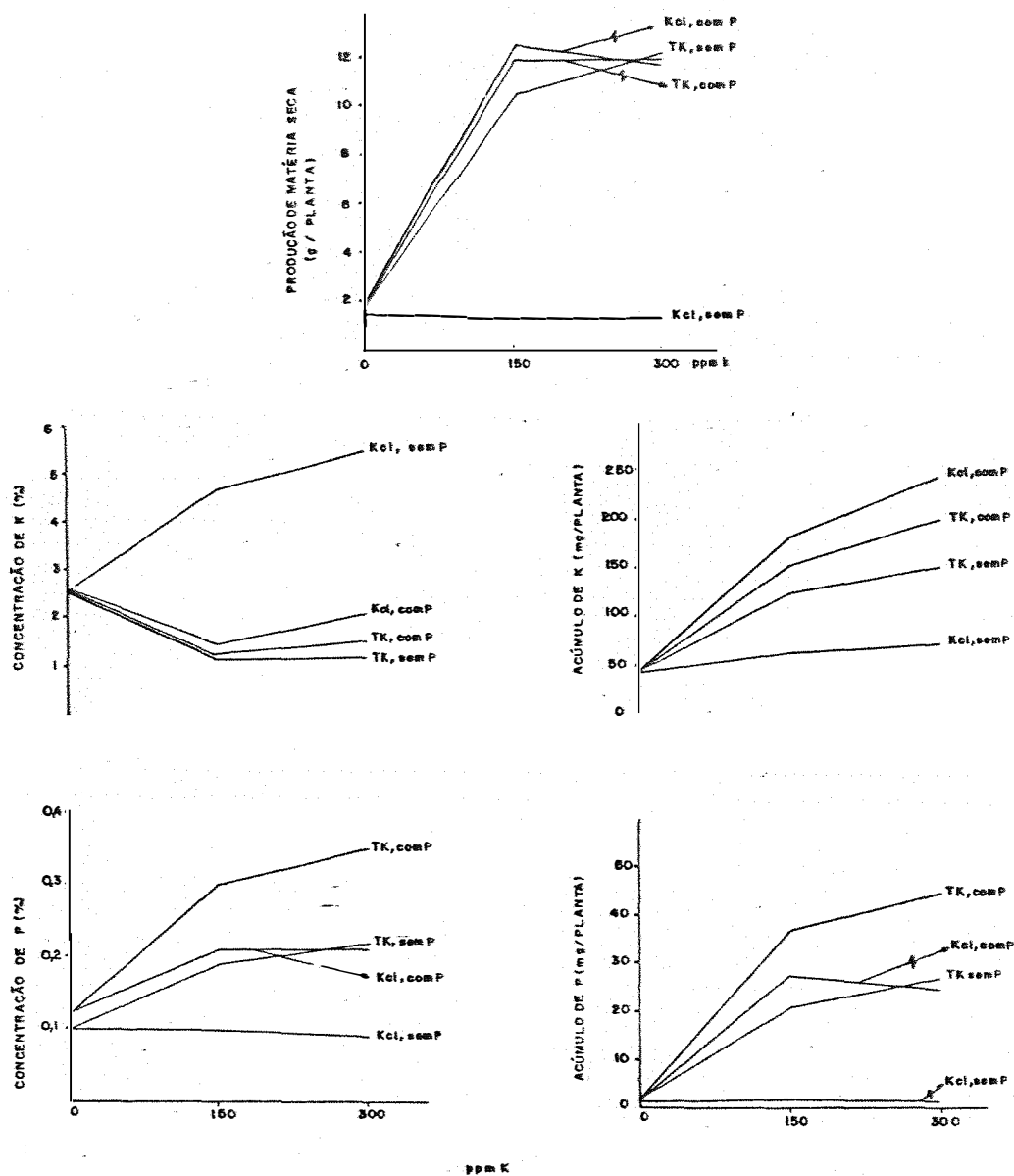


Figura 14. Produção de matéria seca, concentração e acúmulo de K e P na parte aérea de plantas de milho cultivadas em solo Podzólico Vermelho-Amarelo, em função de duas fontes de potássio (clorato de potássio e taranaquita de potássio), duas doses de potássio (150 e 300 ppm de K) e duas doses de fósforo (0 e 200 ppm de P).

to na ausência (1,15 e 1,17% de K) como na presença (1,25 e 1,61% de K) de P aplicado. Contudo, para a dose maior de taranaquita, a concentração de K na presença de P aplicado (1,61%) foi maior que na ausência dessa adição (1,17%). Estas concentrações de K encontradas, bem como as encontradas para o cloreto na presença de P aplicado, são bem menores que as concentrações de K encontradas para o cloreto na ausência de P aplicado. A explicação para tal fato é a mesma apresentada para o efeito geral de fontes de K (efeito da diluição).

Quanto ao acúmulo de potássio na parte aérea (Tabela 11 e Figura 14), observa-se que o efeito geral das fontes de K estudadas, sobre esse parâmetro, não foi significativo. Contudo, na ausência de P, verifica-se maior acúmulo de K nas plantas que receberam taranaquita (134,36 mg/planta) do que nas tratadas com KCl (67,48 mg/planta), enquanto na presença de P o acúmulo para o KCl (212,33 mg/planta) é que superou ao obtido para a taranaquita (176,37 mg/planta). O maior acúmulo de K para fonte KCl na presença de P aplicado pode ser explicado por uma maior disponibilidade de K desta fonte do que da fonte taranaquita. Deve ser ressaltado também que, para cada uma das fontes testadas, houve acúmulo de K sempre superior e significativo na presença de P do que na ausência desse elemento.

O efeito geral das doses de K foi o de aumen-

mentar o acúmulo desse elemento na parte aérea de maneira significativa quando a dose passou de 150 para 300 ppm. Entretanto, as doses de K na ausência de P não alteraram o acúmulo de K, enquanto na presença de P, o acúmulo desse elemento para a dose 300 ppm de K foi 34% superior ao obtido com 150 ppm de K. Outrossim, para cada uma das doses testadas, observa-se um acúmulo de K superior e significativo na presença de P do que na ausência desse nutriente.

Para fontes e doses de K (Tabela 11 e Figura 14) de uma maneira geral, verifica-se um acúmulo de K superior e significativo para a taranaquita de K na dose de 300 ppm K, comparada a fonte KCl na dose de 150 ppm. Quando as fontes e doses de K foram testadas na ausência de P, verifica-se que a taranaquita foi superior ao KCl independentemente da dose, chegando a acumular o dobro da quantidade de K encontrada com a aplicação do cloreto. Na presença de P, o maior acúmulo de K ocorreu com o emprego de KCl na dose de 300 ppm (244,20 mg/planta), seguido respectivamente da taranaquita de K na dose de 300 ppm (200,70 mg/planta), KCl na dose de 150 ppm (180,50 mg/planta) e taranaquita de K na dose de 150 ppm (152,10 mg/planta). Outro aspecto a ser considerado é que, em cada uma das combinações de fontes e doses de K, com exceção da taranaquita na dose de 150 ppm de K, o acúmulo desse elemento na parte aérea do milho foi até 241% maior na presença de P que na sua ausência. O efeito da adição de P foi muito maior pa-

ra o KCl que para a taranaquita, provavelmente porque o primeiro não contém fósforo.

O acúmulo relativo de potássio (relativo ao obtido com KCl na dose 150 ppm e na ausência de P) nas plantas em função das doses e fontes desse elemento é apresentado na Figura 15a. Verifica-se que, tanto as plantas que receberam o KCl na presença de P, como as tratadas com taranaquita na dose de 150 ppm de K, com ou sem P apresentaram acúmulos de K superiores aos do KCl sem P em 284, 240 e 197% respectivamente. Entretanto, na dose de 300 ppm de K, esses acúmulos foram ainda maiores, atingindo índices iguais a 385, 316 e 227% daquele verificado para o KCl sem P.

Tomando-se como referência o acúmulo de K observado nas plantas do tratamento com KCl na dose 150 ppm mas na presença de P, observa-se que os acúmulos relativos de K devido à aplicação de taranaquita de K com e sem P, na dose de 150 ppm de K, corresponderam, respectivamente, a 84% e 69% do acúmulo observado naquele tratamento. Para a dose de 300 ppm de K, esses acúmulos corresponderam a 111% e a 80% do acúmulo verificado no tratamento com KCl (150 ppm de K, com P).

4.2.2.2. Latossolo Vermelho-Escuro

Analisando-se a Tabela 10 verifica-se que

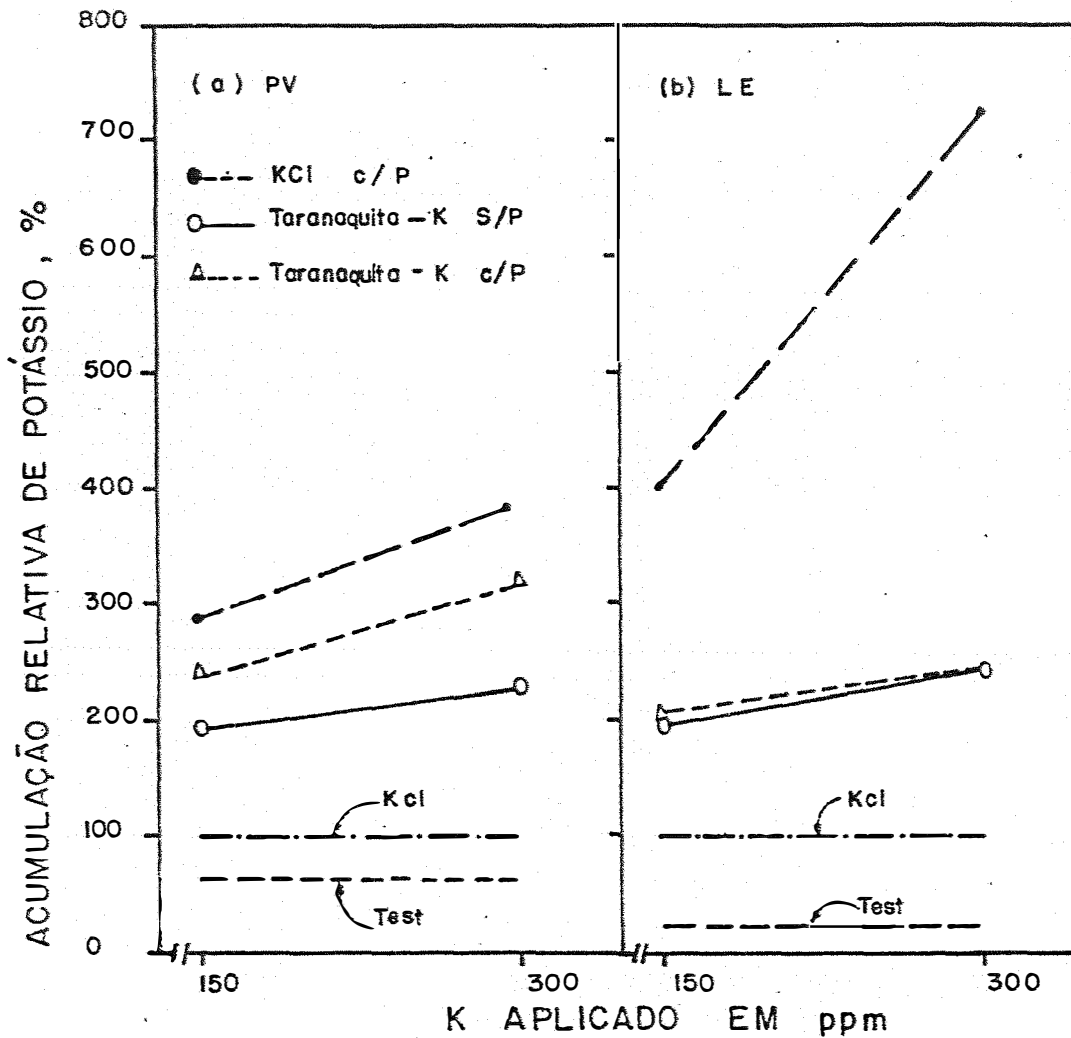


Figura 15. Acumulação relativa de potássio (K) pela parte aérea de milho, durante um cultivo, em função de fontes e doses de K, da testemunha sem K, na presença e ausência de adubo fosfatado, nos solos Podzólico Vermelho-Amarelo (PV) e Latossolo Vermelho-Escuro (LE).

($K_{CL_{150 \text{ ppm sem P}}} = 100$).

a concentração de potássio na parte aérea das plantas de milho cultivadas no solo LE na ausência de P foram maiores quando se aplicou o cloreto de potássio (1,83% de K) do que quando se aplicou a taranaquita (0,58% de K). Na presença de P o efeito de KCl também foi superior ao da taranaquita. O menor teor de K no tecido vegetal quando o KCl foi fornecido na presença de P, em relação à ausência de P, também ocorreu neste solo LE e, como no caso do PV, pode ser explicado pelo efeito de diluição: devido à adição de P, a produção de matéria seca aumentou, de modo a reduzir a concentração de K nos tecidos.

Tanto na ausência quanto na presença de P, o aumento da dose de K de 150 para 300 ppm de K fez aumentar a concentração desse elemento na parte aérea das plantas de milho. Esse aumento foi maior na presença de P (54%) do que na ausência desse elemento (17%). Nota-se que, embora o teor de K na planta tenha aumentado com o aumento da dose, a produção de matéria seca (Tabela 9) praticamente não mudou, donde se conclui que o aumento da concentração na planta foi fruto de maior disponibilidade do elemento no solo.

De uma maneira geral, as concentrações de K na parte aérea apresentaram diferenças significativas em função das fontes e doses de K utilizadas. À medida que se aumentou o fornecimento de K, para cada uma das fontes, verificou-se um aumento na concentração do nutriente na

parte aérea, porém, concentrações maiores foram encontradas para a fonte KCl e menores para a fonte taranaquita de potássio. A maior concentração de K ocorreu com a aplicação de KCl na dose 300 ppm de K, seguindo-se a mesma fonte na dose menor de 150 ppm e a taranaquita nas doses 300 e 150 ppm de K, respectivamente.

Por outro lado, fontes e doses de K, na ausência e na presença de P (Tabela 10 e Figura 16) apresentaram comportamentos diferentes, influenciando a concentração de K na parte aérea. Observa-se que, para ambas as doses de cloreto de potássio, a concentração de K na parte aérea diminuiu de 1,72 para 0,86% e de 1,94 para 1,42% devido à adição de P. Como esses decréscimos foram acompanhados por substancial aumento na produção de matéria seca (Tabela 9), poderiam ser explicados, mais uma vez, pelo efeito da diluição.

Quanto ao acúmulo de K na parte aérea (Tabela 11 e Figura 16), observa-se que o efeito geral de fontes de K foi significativo, havendo maior acúmulo para o emprego do KCl do que para o da taranaquita. Todavia, na ausência de P, verifica-se maior acúmulo de K nas plantas que receberam taranaquita (28,94 mg/planta) do que nas tratadas com KCl (12,80 mg/planta), enquanto na presença de P o acúmulo para o KCl (66,95 mg/planta) é que superou ao obtido para a taranaquita (29,27 mg/planta). O maior acúmulo de K para a fonte KCl na presença de P aplicado pode

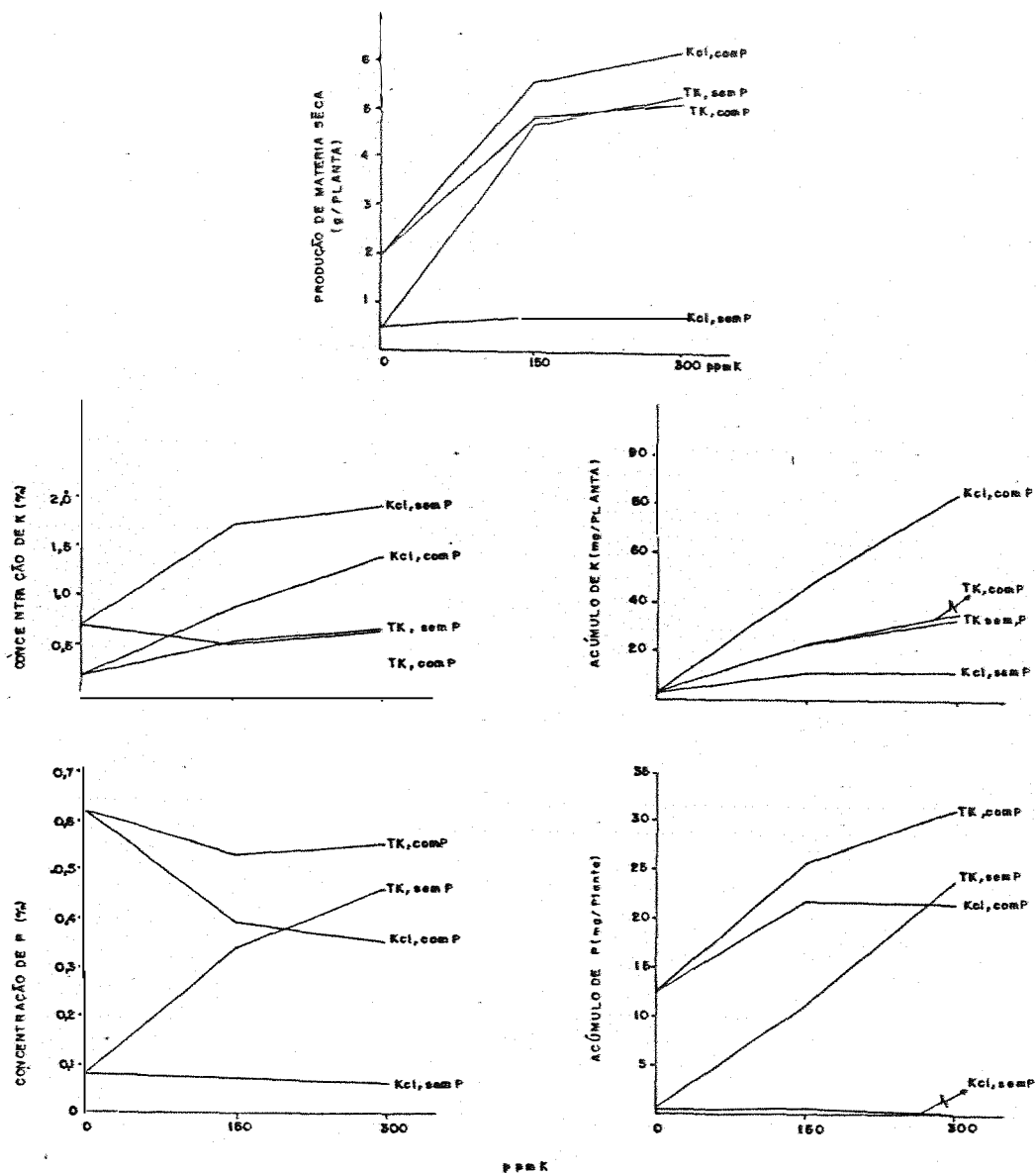


Figura 16. Produção de matéria seca, concentração e acúmulo de K e P na parte aérea de plantas de milho cultivadas em Latossolo Vermelho-Escuro, em função de duas fontes de K (cloreto de potássio e taranaquita de potássio), duas doses de potássio (150 e 300 ppm de K) e duas doses de fósforo (0 e 200 ppm).

ser explicado mais uma vez, por uma maior disponibilidade de K desta fonte do que da fonte taranaquita. Deve ser ressaltando que, para a fonte KCl, houve acúmulo de K superior e significativa na presença de P do que na ausência desse elemento. O mesmo efeito não foi verificado para a fonte taranaquita.

O efeito geral das doses de K foi o de aumentar o acúmulo desse elemento na parte aérea de maneira significativa quando a dose passou de 150 para 300 ppm. Esse aumento foi maior na presença de P (72%) do que na ausência desse nutriente (36%). Verifica-se também que, para cada uma das doses testadas, o acúmulo de K foi sempre superior e significativo na presença de P do que na ausência desse nutriente.

Para fontes e doses de K (Tabela 11 e Figura 16), verifica-se que, na ausência de P, a fonte taranaquita foi superior a fonte KCl independentemente da dose, chegando a acumular o dobro da quantidade de K encontrada com a aplicação do cloreto. Na presença de P, o maior acúmulo de K ocorreu com o emprego de KCl na dose de 300 ppm (86,72 mg/planta), seguido respectivamente do KCl na dose de 150 ppm (47,18 mg/planta), taranaquita na dose de 300 ppm (35,00 mg/planta) e taranaquita de K na dose de 150 ppm (23,56 ppm). Outro aspecto a ser considerado é que, em cada uma das combinações de doses de K para a fonte KCl, o acúmulo desse elemento na parte aérea do milho foi até

537% maior na presença de P que na sua ausência. O mesmo não aconteceu para a fonte taranaquita. Tal fato pode ser explicado pela ausência de P na fonte KCL.

O acúmulo relativo de K (relativo ao obtido com KCl na dose 150 ppm e na ausência de P) nas plantas em função das doses e fontes desse elemento é apresentado na Figura 15b. Verifica-se que, tanto as plantas que receberam o KCl na presença de P, como as tratadas com taranaquita na dose de 150 ppm de K, com ou sem P apresentaram acúmulos de K superiores aos do KCl sem P em 394, 197 e 196% respectivamente. Entretanto, na dose de 300 ppm de K, esses acúmulos foram ainda maiores, atingindo índices iguais a 724, 292 e 287% daquele verificado para o KCl sem P.

Tomando-se como referência o acúmulo de K observado nas plantas do tratamento com KCl na dose 150 ppm, mas na presença de P, observa-se que os acúmulos relativos de K devido à aplicação de taranaquita de K com e sem P, na dose de 150 ppm de K, corresponderam, respectivamente, a 50 e 50% do acúmulo observado naquele tratamento. Para a dose de 300 ppm de K, esses acúmulos corresponderam a 74 e 73% do acúmulo verificado no tratamento com KCl (150 ppm de K, com P).

4.2.3. Concentração e acúmulo de P na parte aérea

Nas Tabelas 12 e 13 são apresentadas as médias de concentração e acúmulo de P, na parte aérea do milho cultivado nos solos Podzólico Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Escuro, em função dos diversos fatores estudados.

4.2.3.1. Podzólico Vermelho-Amarelo

O efeito geral de fontes de K foi significativo, resultando maior teor de P na planta, quando se aplicou a taranaquita de K (0,26%) do que quando se forneceu o cloreto (0,15%). É interessante notar que, quando o P não foi aplicado a concentração de P foi das mais baixas (0,10%), o mesmo não ocorrendo quando o P estava presente, caso dos tratamentos com P (0,21 e 0,32%) e do tratamento com taranaquita de K (0,20%). Esse fato pode ser explicado pelas maiores produções de MS ocorridas quando se aplicou o P ou quando se empregou a taranaquita, conforme se observou na Tabela 9.

O aumento na dose de K de 150 para 300 ppm não aumentou a concentração de P na parte aérea das plantas de milho. O fato de não ter havido variação na produção de MS, conforme se observa na Tabela 9, indica que o aumento da concentração de P na parte aérea resultou de maior disponibilidade

Tabela 12. Concentração de fósforo na parte aérea de plantas de milho cultivadas nos solos Podzólico Vermelho-Amarelo (PV) e Latossolo Vermelho-Escuro (LE), em função de fontes e doses de K e da presença ou ausência de adubo fosfatado.

Fator	PV		LE	
	sem P	com P	Média	Média
Fontes de potássio				
Cloreto de potássio	0,10Bb ¹	0,21Ab	0,15b	0,22b
Taranaquita de potássio	0,20Ba	0,32Aa	0,26a	0,48a
Doses de potássio				
150 ppm	0,14Ba	0,26Aa	0,20a	0,33b
300 ppm	0,15Ba	0,28Aa	0,21a	0,37a
Fontes e doses de potássio				
Cloreto de potássio 150 ppm K	0,10Bb ²	0,21Ab	0,16b ³	0,23c
Cloreto de potássio 300 ppm K	0,09Bb	0,21Ab	0,15b	0,21c
Taranaquita de potássio 150 ppm K	0,19Ba	0,30Aa	0,24a	0,44b
Taranaquita de potássio 300 ppm K	0,22Ba	0,35Aa	0,28a	0,55a
Média	0,15B	0,26A	-	0,47A
Testemunha	0,10A	0,12A	-	0,62A

(1) Dentro de cada fator, médias acompanhadas da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si, pelo Teste F ou de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

(2) D.M.S. para colunas internas: PV = 0,064, LE = 0,14; para linhas internas: PV = 0,048, LE = 0,10.

(3) D.M.S. para coluna de média: PV = 0,045, LE = 0,10.

Tabela 13. Acúmulo de fósforo na parte aérea de plantas de milho cultivadas nos solos Podzólico Vermelho-Amarelo (PV) e Latossolo Vermelho-Escuro (LE), em função de fontes e doses de K e da presença ou ausência de adubo fosfatado.

Fator	PV		LE	
	sem P	com P	sem P	com P
mg P/planta				
Fontes de potássio				
Clareto de potássio	1,36Bb ¹	25,85Ab	13,61b	11,10b
Taranaquita de potássio	23,80Ba	40,19Aa	31,99a	24,30a
Doses de potássio				
150 ppm	11,03Ba	31,87Aa	21,45a	16,01b
300 ppm	14,13Ba	34,17Aa	24,15a	19,39a
Fontes e Doses de potássio				
Clareto de potássio 150 ppm K	1,42Bb ²	27,37Ac	14,40c ³	11,15c
Clareto de potássio 300 ppm K	1,29Bb	24,33Ac	12,81c	11,05c
Taranaquita de potássio 150 ppm K	20,63Ba	36,37Ab	28,50b	20,87b
Taranaquita de potássio 300 ppm K	26,96Ba	44,01Aa	35,49a	27,73a
Média	12,58B	33,02B	-	25,09A
Testemunha	1,69A	1,96A	-	12,44A

(1) Dentro de cada fator, médias acompanhadas da mesma letra, maiúsculas na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si, pelo Teste F ou de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

(2) D.M.S. para colunas internas: PV = 7,48, LE = 5,28; para linhas internas: PV = 5,57, LE = 3,93.

(3) D.M.S. para coluna de média: PV = 5,29, LE = 3,73.

desse elemento no solo, tendo como consequência maior absorção pelas plantas e aumento da concentração nos tecidos.

Avaliando-se as fontes e doses de K isoladamente, verifica-se um efeito significativo na concentração de P apenas para fontes, enquanto que as doses de K em cada uma das fontes não diferiram entre si. Quando as fontes e doses de K foram testadas na ausência de P, verifica-se que a taranaquita foi superior ao KCl independente da dose, chegando a apresentar o dobro da concentração de P encontrada com a aplicação do cloreto. Na presença de P, os maiores acúmulos de P ocorreram com a aplicação da taranaquita (0,30 e 0,35%, respectivamente, para as doses de 150 e 300 ppm de K), seguido do cloreto (0,21% de P, para as doses de 150 e 300 ppm de K). Esses dados reforçam mais uma vez o efeito favorável do P da taranaquita, conforme observado para produção de MS (Tabela 9).

Quanto ao acúmulo de P na parte aérea (Tabela 13 e Figura 14), observa-se que o efeito geral de fontes foi significativo, havendo maior acúmulo para o emprego da taranaquita do que para o do cloreto. Contudo, tanto na ausência como na presença de P aplicado, verifica-se maior acúmulo de P nas plantas que receberam taranaquita (23,80 e 40,19 mg/planta) do que nas tratadas com KCl (1,36 e 25,85 mg/planta).

O aumento na dose de K de 150 para 300 ppm não aumentou o acúmulo de P na parte aérea das plantas de

milho. Todavia, para cada uma das doses testadas, observa-se um acúmulo de P sempre superior e significativo na presença de P do que na ausência desse nutriente.

Avaliando-se as fontes e doses de K (Tabela 13 e Figura 14), nota-se que na ausência de P a fonte taranaquita foi superior ao KCl independentemente da dose, chegando a acumular de 15 a 20 vezes a quantidade de P encontrada com a aplicação de cloreto. Na presença de P, o maior acúmulo de fósforo ocorreu com o emprego de taranaquita na dose de 300 ppm (44,01 mg/planta), seguido respectivamente da taranaquita na dose de 150 ppm (36,37 mg/planta), KCl na dose de 150 ppm (27,37 mg/planta) e KCl na dose de 300 ppm (24,33 mg/planta). Outro aspecto a ser considerado é que, em cada uma das combinações de fontes e doses de K o acúmulo de P na parte aérea do milho foi até 1827% maior na presença de P que na sua ausência. Novamente, esses dados reforçam o efeito favorável do P da taranaquita, conforme observado para produção de MS (Tabela 9).

4.2.3.2. Latossolo Vermelho-Escuro

O efeito geral de fontes de K foi significativo, resultando maior teor de P na folha quando se aplicou a taranaquita de K (0,48%) do que quando se forneceu o cloreto (0,22%). Verifica-se que, quando o P não foi aplicado, a concentração de P foi mais baixa do que a verifica-

da para o solo PV (0,07%), o mesmo não ocorrendo quando o P estava presente, caso dos tratamentos com P (0,37 e 0,57%) e do tratamento com taranaquita de K (0,40%).

As doses de K, em seu efeito geral, influenciaram a concentração de P na planta (0,33 e 0,37%, respectivamente, KCl e taranaquita). Todavia, para cada uma das doses testadas, observa-se um acúmulo de P sempre superior e significativo na presença de P do que na ausência desse nutriente.

Avaliando-se as fontes e doses de K isoladamente, verifica-se um efeito significativo na concentração de P apenas para fontes, enquanto que as doses de K em cada uma das fontes não diferiram entre si. Quando as fontes e doses de K foram testadas na ausência de P, verifica-se que a taranaquita foi superior ao KCl independente da dose, chegando a apresentar mais de 7 vezes da concentração de P encontrada com a aplicação do cloreto. Na presença de P, os maiores acúmulos de P ocorreram com a aplicação da taranaquita (0,53 e 0,55% de P, respectivamente, para as doses de 150 e 300 ppm de K), seguido do KCl (0,39 e 0,35% de P, respectivamente para as doses de 150 e 300 ppm de K).

Quanto o acúmulo de P na parte aérea (Tabela 13 e Figura 16), observa-se que o efeito geral de fontes foi significativo, havendo maior acúmulo para o emprego da taranaquita do que para o do cloreto. Todavia, tanto

na ausência como na presença de P aplicado, verifica-se maior acúmulo de P nas plantas que receberam taranaquita (20,13 e 28,47 mg/planta) do que nas tratadas com KCl (0,48 e 21,71 mg/planta). O aumento na dose de K de 150 para 300 ppm de K fez aumentar o acúmulo desse nutriente na parte aérea das plantas de milho. Esse aumento foi maior quando na ausência de P (48%) do que na presença desse elemento (12%). Observa-se que, embora o acúmulo de P na planta tenha aumentado com o aumento da dose de K, a produção de MS (Tabela 9) praticamente não mudou, donde se conclui que o aumento do acúmulo na planta foi fruto de maior disponibilidade do elemento no solo.

Avaliando-se as fontes e doses de K isoladamente (Tabela 13 e Figura 16), verifica-se que na ausência de P aplicado houve efeito significativo quando se aplicou a taranaquita ou seja, o acúmulo de P cresceu de 16,13 para 24,12 mg/planta nas plantas de milho quando a dose aumentou de 150 para 300 ppm de K. Como esse efeito ocorreu na presença de P aplicado (25,60 e 31,34 mg/planta, respectivamente) e como não houve variação na produção de MS (Tabela 9), indica que o aumento do acúmulo de P na planta resultou de maior disponibilidade desse elemento no solo, tendo como consequência maior absorção pelas plantas e aumento do acúmulo nos tecidos.

Para o KCl o acúmulo de P na parte aérea das plantas não diferiu significativamente quando a dose

de K aumentou de 150 para 300 ppm, tanto na ausência (0,51 e 0,56 mg/planta) como na presença (21,78 e 21,64 mg/planta).

Outro aspecto a ser considerado é que, em cada uma das combinações de fontes e doses de K, o acúmulo de P na parte aérea do milho foi até 4.604% maior na presença de P que na sua ausência. Esses dados, como outros já observados, mostram o efeito favorável do P data ranaqui-ta, conforme também observado para produção de MS (Tabela 9).

4.2.4. Índices de avaliação agronômica

A Tabela 14 apresenta os índices de recuperação do potássio aplicado (RPA) e fator de utilização do potássio aplicado (FUPT), obtidos para os diferentes tratamentos. Esses índices foram calculados a partir da produção de MS e das quantidades de potássio acumuladas nas plantas, dados esses também apresentados na Tabela 14.

4.2.4.1. Podzólico Vermelho-Amarelo

A RPA reflete, em termos percentuais, quanto do K aplicado foi acumulado pela parte aérea do milho, dando uma idéia da solubilidade do K da respectiva fonte. Para o KCl na ausência de P, os valores de RPA foram bai-

Tabela 14. Produção de matéria seca (MS) e potássio (K) acumulado pela parte aérea de milho, durante um cultivo nos solos Podzólico Vermelho-Amarelo (PV) e Latossolo Vermelho-Escuro (LE) e índices de avaliações agronômicas das fontes de K utilizadas (RPA e FUPT).

Tratamentos	PV				LE							
	Doses de P		Doses de K		K.apli- Produção de MS		K acu- mulado		RPA ¹		FUPT ²	
	ppm	ppm	ppm	ppm	mg/vaso	mg/vaso	mg/vaso	mg/vaso	mgNS/mg K aplicado	mgNS/mg K aplicado		
Testemunha absoluta	0	0	0	0	8200	208	0	2300	15	-	-	-
Cloreto de potássio	0	150	420	840	6833	317	25	600	59	7	1,9	
	0	300	840	1680	6633	359	17	1200	68	4	1,0	
	200	150	420	840	63166	903	>100	600	27670	37	42,2	
	200	300	840	1680	59266	1225	>100	1200	30600	434	23,5	
Taranaquita de potássio	0	150	420	840	53800	618	97	600	23400	117	35,1	
	0	300	840	1680	61400	722	61	1200	26230	172	19,9	
	200	150	420	840	60333	758	>100	600	23930	122	36,0	
	200	300	840	1680	62266	1004	94	1200	25230	172	19,1	

(1)RPA = recuperação de potássio aplicado;

(2)FUPT = fator de utilização do potássio aplicado.

xos: 25% na menor e 17% na maior dose de K, enquanto que, na presença de P, os valores de RPA foram superiores a 100% nas duas doses de K estudadas (150 e 300 ppm). Para a taranaquita de K na ausência de P, os índices de RPA foram bem maiores que os observados para o KCl 97% na menor e 61% na maior dose de K, enquanto que, na presença de P, verificam-se valores de RPA acima de 100% na menor e igual a 94% na maior dose de K. Observa-se, de maneira geral, maior valor de RPA nas doses menores de K do que nas maiores, para cada uma das fontes.

Através da Tabela 14 verifica-se que a produção de matéria seca da parte aérea do milho por miligrama de K aplicado (FUPT) foi influenciada pela fonte e pela dose de K utilizada. Via de regra, as menores doses de cada fonte apresentaram os maiores valores de FUPT, isto é, houve redução do valor do índice com a elevação da dose de K aplicada, independentemente da ausência ou da presença de P. Por outro lado, verifica-se que o KCl na ausência de P apresentou índice de FUPT negativo para as duas doses de K estudadas porque a produção de matéria seca para as doses de 150 e 300 ppm foram menores que a produção de matéria seca da testemunha absoluta. Na presença de P, os índices FUPT para o KCl, observados para a menor e maior dose de K, foram semelhantes aos respectivos índices FUPT para a taranaquita de K, tanto na ausência como na presença de P. Estes índices foram, em termos médios, 121 e 62 mg

de matéria seca por mg de K aplicado, respectivamente, para as doses de 150 e 300 ppm de K.

4.2.4.2. Latossolo Vermelho-Escuro

Para este solo os índices RPA e FUPT, apresentaram a mesma tendência verificada para o solo Podzólico Vermelho-Amarelo, porém, com valores bem menores.

Para o KCl, na ausência de P, os valores de RPA foram os mais baixos: 7% na menor e 4% na maior dose de K, enquanto que, na presença de P, os valores de RPA foram iguais a 37% na menor e 34% na maior dose de K. Para a taranaquita de K na ausência de P, os índices de RPA foram cerca de três vezes maiores que os respectivos valores obtidos para o KCl: 17% na menor e 13% na maior dose de K. Verifica-se que os valores de RPA obtidos para cada dose de taranaquita na presença de P foram exatamente iguais aos respectivos valores determinados na ausência desse elemento. Como observado no solo Podzólico Vermelho-Amarelo verifica-se também para este solo, maior valor de RPA nas doses menores de K do que nas maiores, para cada uma das fontes.

A Tabela 14 mostra que o FUPT no Latossolo Vermelho-Escuro foi influenciado pela fonte e pela dose de K. Como já reportado para o Podzólico Vermelho-Amarelo, verifica-se também para este solo que as menores doses de

K de cada fonte apresentaram maiores valores de FUPT, havendo redução do valor do índice ao se elevar a dose de K aplicada, independentemente da ausência ou da presença de P. O KCl na ausência de P apresentou índices de FUPT muito baixos, iguais a 1,9 e 1,0 mg de matéria seca por mg de K aplicado, respectivamente para as doses de 150 e 300 ppm de K. Na presença de P, os índices FUPT para o KCl, observados para a menor e maior dose de K, foram semelhantes aos índices FUPT para a taranaquita de K, tanto na ausência como na presença de P. Estes índices foram, em termos médios, 37 e 20 mg de matéria seca por mg de K aplicado, respectivamente para as doses de 150 e 300 ppm de K.

5. DISCUSSÃO

5.1. Experimento I

Este estudo foi realizado considerando-se a hipótese de que seria possível a formação de taranaquita de potássio em solos que tenham recebido adubações fosfatadas e potássicas. Essas condições, associadas a valores de pH em torno de 3,0 ou 4,0 seriam favoráveis à formação daquele mineral, segundo LINDSAY *et alii* (1962).

O experimento foi realizado em vasos para permitir adequado controle das condições locais e envolveu dois solos com propriedades mineralógicas distintas. O pH dos solos foi baixado para valores de até 3,0, enquanto que os adubos (fosfato monocálcico e cloreto de potássio) foram aplicados em doses suficientes para simular concentrações normalmente encontradas no sulco de plantio de culturas adubadas. Embora todas essas condições tenham sido fornecidas, os difratogramas de raios-X obtidos não revelaram presença de taranaquita nas amostras, em suas diferentes frações.

O estudo realizado posteriormente, adicionando-se taranaquita sintética nas diferentes frações do so-

lo PV, indicou a provável necessidade da presença no solo de no mínimo 3% do mineral para que possa ser detectado pelo método de difração de raios-X. Considerando-se que as quantidades de P e K aplicadas em nenhuma hipótese seriam suficientes para gerar tal quantidade de taranaquita, o mesmo se podendo dizer das quantidades de alumínio trocável presentes nos solos, fica explicada a impossibilidade de se distinguir a presença desse mineral nas amostras tratadas, por meio dos raios-X. Esse fato, contudo, não exclui a possibilidade de a taranaquita ter se formado. Alguns trabalhos (LINDSAY *et alii*, 1959; LINDSAY & STEPHENSON, 1959a, b; e LINDSAY *et alii*, 1962) mostraram que a taranaquita de potássio é um dos principais produtos formados quando se aplicam no solo fertilizantes contendo fosfato monocálcico misturado ou não com outros sais.

Para responder as questões levantadas neste estudo, outros deverão ser realizados incluindo estudos de localização dos adubos fosfatados e potássicos, estudos de outros métodos de identificação e até estudos de campo, coletando amostras em áreas de produção que receberam fertilização potássica e fosfatada, em diferentes tipos de solos.

5.2. Experimento II

As respostas obtidas na produção de matéria

seca da parte aérea do milho quando esta cultura foi cultivada na ausência de P, com a aplicação de K na forma da taranaquita de K (Tabela 9), apresentam-se como uma indicação da liberação de K e P da estrutura do mineral, já que na presença de P as fontes de K não diferiram de modo significativo quanto à produção de matéria seca para o Podzólico Vermelho - Amarelo. No Latossolo Vermelho - Escuro, na presença de P, apesar da diferença significativa entre as fontes (KCl e taranaquita) e doses, (150 e 300 ppm) a produção de matéria seca das mesmas foi aproximadamente 6 vezes superior a fonte cloreto de potássio, na ausência de P.

Em ambos os solos, a hipótese de que a maior produção de matéria seca pela fonte taranaquita de potássio, na ausência de P, atribuída à liberação de K e P do referido mineral, é reforçada pelos dados de K e P acumulados pela parte aérea do milho (Tabelas 11 e 13). Além disso os resultados obtidos no presente estudo estão em perfeito acordo com as observações de TAYLOR *et alii* (1963), de que a taranaquita de potássio é uma boa fonte de P para a cultura do milho, e que a quantidade de P absorvida a partir desse mineral foi tão alta quanto a proveniente do fosfato monocálcico, em três solos estudados.

As maiores produções de matéria seca no Podzólico Vermelho-Amarelo, para as fontes e doses de K, na ausência e na presença de P, podem ter ocorrido devido

ã maior fertilidade natural do solo Podzólico (Tabela 2), comparada à do Latossolo Vermelho-Escuro.

O alto valor de K acumulado na parte aérea das plantas que receberam cloreto de potássio na dose de 300 ppm e na presença de P, pode ter sido devido à alta solubilidade desta fonte, deixando o K aplicado totalmente disponível; esse fato favorece o consumo de luxo, fenômeno comum quando altas doses são empregadas.

O consumo de luxo de K para o cloreto de potássio na dose de 300 ppm, na presença de P, ficou caracterizado pela elevada acumulação relativa do potássio pela parte aérea do milho (Figura 15); embora tivessem sido acumuladas quantidades de K bem superiores às dos demais tratamentos, esse fato não se refletiu em aumento apreciável na produção de matéria seca (Figura 14). A presença de P na taranaquita de K, promovendo melhor equilíbrio nutricional, também deve ter influenciado esse parâmetro. Esse fato fica melhor caracterizado quando se analisam as Tabelas 9, 10 e 12, onde se observa que as maiores produções de matéria seca foram obtidas quando as concentrações de K e P na parte aérea do milho apresentaram os seguintes valores: 1 a 2% de K e 0,2 a 0,4% de P no Podzólico Vermelho-Amarelo; e 0,5 a 1,5% de K e 0,3 a 0,6% de P no Latossolo Vermelho-Escuro.

Os valores de RPA (Tabela 14) mostram que a taranaquita de K apresentou aproveitamento diferente em

cada um dos solos estudados (PV e LE). Este fato, bem como o de que maiores valores de RP \bar{A} estavam associados às menores doses de K aplicadas de cada fonte, possivelmente estejam relacionados à baixa concentração de K na solução, nível bem inferior ao da concentração de saturação das fontes, favorecendo, assim, sua liberação.

A tendência de redução do valor do FUPT (Tabela 14) nos dois solos estudados, com o aumento da dose de K aplicada, deve-se talvez ao maior acúmulo de K nas plantas, aumento esse que não promoveu um acréscimo proporcional na produção de matéria seca.

Os maiores valores de FUPT obtidos na ausência de P para a taranaquita de potássio, comparados aos observados para o cloreto de potássio, indicam maior utilização desse nutriente quando se forneceu a taranaquita; é provável que o maior aproveitamento do K da taranaquita se deva ao efeito benéfico do fósforo liberado por esse mineral, sobre o crescimento da planta, estimulando o maior aproveitamento do potássio.

6. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste trabalho, pode-se tirar as seguintes conclusões:

6.1. Experimento I

a) Utilizando o método de difração de raios -X, não foi possível comprovar a formação de taranaquita de potássio em quaisquer dos solos, das frações granulométricas, dos valores de pH e dos níveis de K e P estudados (200 ppm).

b) A adição de 3% de taranaquita de potássio sintética às frações argila e silte do solo PV permitiu a identificação desse mineral pelo método de difração de raios-X; a caracterização tornou-se mais evidente quando a quantidade de taranaquita de potássio adicionada aumentou para 5 ou 10%.

6.2. Experimento II

a) Quanto à produção de matéria seca pelas plantas de milho, a taranaquita de potássio sem aplicação de P foi tão eficiente quanto o cloreto de potássio

com aplicação de P; na ausência de P aplicado, em ambos os solos a taranaquita de potássio conferiu maior produção de matéria seca (57,60 e 24,81 g/vaso) do que o cloreto de potássio (6,73 e 3,48 g/vaso).

b) Na ausência de P aplicado houve efeito de doses de K sobre a produção de matéria seca apenas no solo PV adubado com taranaquita de potássio; na presença de P adicionado o efeito de doses ocorreu somente no solo LE e quando se forneceu o cloreto de potássio.

c) O acúmulo de potássio na parte aérea das plantas que receberam taranaquita de potássio na ausência de P adicionado foi superior ao daquelas tratadas com cloreto de potássio; na presença de P adicionado, contudo, o acúmulo observado para o cloreto de potássio foi equivalente ao verificado para a taranaquita de potássio no solo PV e superior ao solo LE.

d) A concentração e o acúmulo de P na parte aérea das plantas que receberam taranaquita de potássio foram quase sempre superiores aos das plantas tratadas com cloreto de potássio, independentemente da presença ou não de P adicionado.

e) O índice de recuperação do K aplicado (RPA) foi maior para a taranaquita de potássio que para o cloreto de potássio quando o P não foi fornecido; na presença de P, contudo, ambas as fontes mostraram elevados

índices de recuperação no solo PV e baixos no LE.

f) Os fatores de utilização do potássio total (FUPT) obtidos quando a taranaquita de potássio foi fornecida na ausência de P adicionado foram maiores que os observados para o cloreto de potássio; na presença de P os fatores obtidos para cada fonte de potássio foram mais elevados e equivalentes entre si.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRAGA, J.M. Formas de potássio e estabelecimento de nível crítico para alguns solos do Estado de Minas Gerais. Piracicaba, 1972. 143p. (Tese de Doutorado, ESALQ/USP).

DEMATTE, J.L.I. Levantamento detalhado dos solos do Campus Experimental de Ilha Solteira. Piracicaba, ESALQ/USP, 1980. (mimeografado).

DIXON, J.B.; KITTRICK, J.A.; WEED, S.B.; MILFORD, M.H. e WHITE, J.L. *Minerals in soil environments*. Madison, Soil Sci. Soc. of Amer., 1977. 947p.

FAQUIN, V.; KINJO, T. e MALAVOLTA, E. Efeito do tratamento térmico da mistura de sienito nefelínico com calcário dolomítico na disponibilidade de potássio ao milho, em solo sob cerrado. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 11: 221-228, MAI/AGO, 1987.

FASSBENDER, H.W. *Química de suelos: con énfasis en suelos de América Latina*. São José, Costa Rica, IICA, 1978,

398p.

HASEMAN, J.F.; LEHR, J.R. e SMITH, J.P. Mineralogical character of some iron and aluminum phosphates containing potassium and ammonium. *Soil Sci. Soc. Proc.*, Madison, 15: 76-84, 1950.

LAWTON, K. Composición química de los suelos. In: *Química del suelo*. Madrid, Edic. Interciência, 1963. p. 63-100.

LINDSAY, W.L. *Chemical equilibria in soils*. New York, John Wiley & Sons, 1979. 430p.

LINDSAY, W.L.; FRAZIER, A.W. e STEPHENSON, H.F. Identification of reaction products from phosphate fertilizers in soils. *Soil Sci. Soc. Proc.*, Madison, 26: 446- 452, 1962.

LINDSAY, W.L.; LEHR, J.R. e STEPHENSON, H.F. Nature of the reactions of monocalcium phosphate monohydrate in soils: III - Studies with metastable triple-point solution. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 23: 342- 345, 1959.

LINDSAY, W.L. & STEPHENSON, H.F. Nature of the reactions

of monocalcium phosphate monohydrate in soils: II. The dissolution and precipitation reactions involving iron, aluminum, manganese, and calcium. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 23: 18-22, 1959a.

LINDSAY, W.L. & STEPHENSON, H.F. Nature of the reactions of monocalcium phosphate monohydrate in soils: IV -Repeated reactions with metastable triple-point solution. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 23:440-445, 1959b.

LOPES, A.S. Mineralogia do potássio em solos do Brasil. In: YAMADA, T.; IGUE, K.; MUZILLI, O. e USHERWOOD, N. R., ed. *Simpósio sobre Potássio na Agricultura Brasileira*. Piracicaba, Instituto de Potassa & Fosfato: Instituto Internacional da Potassa, 1982. p.51-65.

MALAVOLTA, E. *Princípio e prática da avaliação agrícola de adubos nitrogenados e fosfatados*. Piracicaba, CPSNP /ESALQ, 1984. 34p. (mimeografado).

MEDINA, H.P. Constituição física. In: MONIZ, A.C., coord. *Elementos de Pedologia*. São Paulo, Ed. da Universidade de São Paulo, 1972. p. 11-20.

PAIVA NETO, J.E. & DE JORGE, W. Estudo preliminar do sistema água-solo-planta no Estado de São Paulo.

Bragança, Campinas, 7: 133-150, 1947.

PIMENTEL GOMES, F. *Curso de estatística experimental*. 10ª ed. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1982. 430p.

RAIJ, B. Van & QUAGGIO, J.A. *Métodos de análise de solo*. Campinas, Instituto Agronômico, 1983. 31p. (Boletim Técnico nº 81).

RAIJ, B. Van & ZULLO, M.A.T. *Métodos de análise de solo*. Campinas, Inst. Agron., 1977. 16p. (Circular 63).

RANZANI, G.; FREIRE, O. e KINJO, T. *Carta de Solos do município de Piracicaba*. Piracicaba, Centro de Estudos de Solos/ESALQ, 1966. p.10-40.

SARRUGE, J.R. & HAAG, H.P. *Análises químicas em plantas*. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1974. 56p.

SCHROEDER, R. Structure and weathering of potassium containing minerals. In: *Potassium Research - Review and Trends*. Bern/Switzerland, Proc. of the 11th Congress of the International Potash Institute, 1978. p.43-63.

TAYLOR, A.W. & GURNEY, E.L. The solubilities of potassium and ammonium taranakites. *J. Phys. Chem.*, Washington, 65: 1613-16, 1961.

TAYLOR, A.W.; LINDSAY, W.L.; HUFFMAN, E.O. e GURNEY, E.L. Potassium and ammonium taranakites, amorphous aluminum phosphate, and variscite as sources of phosphate for plants. *Soil Sci. Soc. Proc.*, Madison, 27: 148-151, 1963.

VASCONCELLOS, C.A.; SANTOS, H.L.; FRANÇA, G.V.E.; PITTA, G.V.E. e BAHIA Fº, A.F.C. Eficiência agronômica de fosfatos naturais para a cultura do sorgo-granífero. I. Fósforo total e solúvel em ácido cítrico e granulometria. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 10: 117-121, MAI/AGO, 1986.

VETTORI, L. *Métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro. Equipe de Pedologia e fertilidade do solo, 1969. 24p. (Boletim Técnico nº 7).