

EFEITO DA VERMICULITA EXPANDIDA NA
RETENÇÃO DE FOSFORO E POTASSIO
EM DOIS SOLOS

MARLENE ESTEVÃO MARCHETTI

Orientador: Prof. Dr. RONALDO IVAN SILVEIRA

Tese apresentada à Escola Superior
de Agricultura "Luiz de Queiróz",
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
Dezembro - 1992

M264e Marchetti, Marlene Estevão
Efeito da vermiculita expandida
na retenção de fósforo e potássio
em dois solos.
155p. ilus.

Tese - ESALQ
Bibliografia.

1. Vermiculita-fósforo 2. Vermicu-
lita-potássio 3. Retenção de fósforo e
potássio I. Escola Superior de Agri-
cultura Luiz de Queiróz, Piracicaba.

631.4

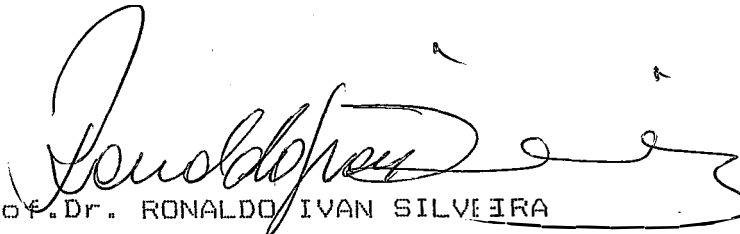
EFEITO DA VERMICULITA EXPANDIDA NA
RETENÇÃO DE FOSFORO E POTASSIO
EM DOIS SOLOS

MARLENE ESTEVÃO MARCHETTI

Aprovada em : 03.03.1993

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Ronaldo Ivan Silveira	ESALQ/USP
Prof. Dr. Jorge de Castro Kiehl	ESALQ/USP
Dr. Takashi Muraoka	CENA/USP
Prof. Dr. Leonardo Theodoro Bull	FCA/UNESP
Prof. Dr. Iraê Amaral Guerrini	FCA/UNESP


Prof. Dr. RONALDO IVAN SILVEIRA
Orientador

Aos meus pais,
pelo que por mim fazem e
representam em minha vida

OFEREÇO

Ao Gilberto, companheiro de
todos os momentos,
e aos meus filhos:
Gilbertinho,
Fábio e
Livia,
minha esperança

DEDICO

AGRADECIMENTOS

- Ao Prof.Dr. Ronaldo Ivan Silveira, pela orientação, sugestões e colaboração prestada na elaboração deste trabalho.
- Ao Prof. Carlos Alberto Oliveira de Matos e Leda Maria do Amaral Gurgel Garrido, pelo auxílio nas análises estatísticas e gráficos.
 - A Prof. Elisa Daniel Barbosa, pela revisão do texto."in memorian".
 - Aos funcionários do laboratório de solos da Escola Superior de Agronomia de Paraguaçu Paulista, pela colaboração.
 - Ao CNPq pela bolsa concedida para a realização do curso.
 - A EUCATEX, pela doação da vermiculita expandida.
 - A todos que de uma forma ou outra, colaboraram para a realização deste tabalho.
 - E a DEUS, fonte de toda sabedoria, Aquele que me fez apta para a realização deste trabalho.

INDICE

	Pagina
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. O FOSFORO.....	4
2.1.1. O Fósforo no solo.....	4
2.1.2. Aspectos Gerais da Fixação.....	5
2.1.3. Natureza dos compostos do solo e dos fatores envolvidos na fixação do fósforo.....	8
2.1.4. Influência das argilas silicatadas.....	10
2.1.5. Influência dos óxidos de ferro e alumínio.....	13
2.1.6. Influência da reação do solo.....	16
2.1.7. Influência dos cátions trocáveis.....	21
2.1.8. Influência do tempo de contato entre o ion fosfato e o solo.....	23
2.1.9. Influência da concentração do ion fosfato.....	26
2.1.10. Influência da superfície específica.....	27
2.2. O POTASSIO.....	28
2.2.1. O Potássio no solo.....	28
2.2.2. O equilíbrio das formas de potássio no solo.....	29
2.2.3. Aspectos gerais da fixação.....	31
2.2.4. Influência dos minerais de argila.....	34
2.2.5. Influência da calagem na fixação.....	39

2.2.6.	Influência da secagem e umedecimento.....	42
2.2.7.	Influência da concentração de potássio....	45
2.2.8.	Influência de outros elementos.....	47
2.2.9.	Influência do tempo de contato.....	50
2.2.10.	A liberação do potássio fixado.....	51
3.	MATERIAL E METODOS.....	53
3.1.	Solos.....	53
3.2.	Deteminações preliminares.....	54
3.2.1.	Análise granulométrica.....	54
3.2.2.	Análise química para fins de fertilidade...	55
3.2.3.	Análise mineralógica da fração argila.....	56
3.3.	Efeito da adição de vermiculita expandida na retenção de fósforo e potássio pelas amostras.....	58
3.3.1.	Na ausência de carbonato de cálcio.....	58
3.3.2.	Na presença de carbonato de cálcio.....	62
3.4.	Efeito da adição de vermiculita na produção de matéria seca e na absorção de nutrientes pelo painço.....	67
3.5.	Análise estatística.....	68
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	69
4.1.	Fósforo.....	69
4.1.1.	Efeito da adição de vermiculita expandida na retenção de P na ausência de CaCO_3	69
4.1.2.	Efeito da adição de fosfato aplicado na retenção de P na ausência de CaCO_3	73

4.1.3. Efeito da adição de vermiculita expandida na retenção de P na presença de CaCO_3	76
4.2. Potássio.....	85
4.2.1. Efeito da adição de vermiculita expandida na retenção de K na ausência de CaCO_3	85
4.2.2. Efeito da adição de potássio na retenção de potássio na ausência de CaCO_3	89
4.2.3. Efeito da adição de vermiculita expandida na retenção de K na presença de CaCO_3	90
4.3. Efeito da adição de vermiculita expandida na produção de matéria seca e absorção de nutrientes pelo painço.....	99
4.3.1. Produção de matéria seca.....	99
4.3.2. Absorção de nutrientes.....	100
4.3.2.1. Nitrogênio.....	100
4.3.2.2. Fósforo.....	105
4.3.2.3. Potássio.....	108
4.3.2.4. Cálcio.....	108
4.3.2.5. Magnésio.....	113
4.3.3. Micronutrientes.....	118
5. CONCLUSÕES.....	124
6. LITERATURA CITADA.....	126
APENDICE.....	145

EFEITO DA VERMICULITA EXPANDIDA NA RETENÇÃO DE
FOSFORO E POTASSIO EM SOLOS

Candidata: MARLENE ESTEVAO MARCHETTI

Orientador: Ronaldo Ivan Silveira

RESUMO .

Com o objetivo de se estudar os efeitos da adição de vermiculita expandida na retenção de P e K pelo solo na presença ou não de CaCO_3 , bem como na produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes pelo painco, conduziram-se três experimentos em laboratório e casa de vegetação, na Escola Superior de Agronomia de Paraguaçu Paulista, SP.

Foram utilizados no estudo vermiculita expandida tipo fina (Plantmax), e amostras do horizonte Ap (0 - 20 cm) de dois solos dos municípios de Paraguaçu Paulista e Quatá, SP, classificados respectivamente como Latossolo Vermelho Escuro distrófico e Podzólico Vermelho Amarelo distrófico.

As amostras de terra foram secas ao ar e misturadas com doses de 0, 5, 10 e 20% de vermiculita expandida recebendo ainda doses de 0, 50 e 100 $\mu\text{g/ml}$ de fósforo e potássio, incubadas por 20 dias, em recipientes fechados.

As amostras foram também incubadas com vermiculita expandida e com CaCO_3 em quantidades suficientes para elevar a saturação em bases a 75 e 100%, recebendo 0, 50 e 100 $\mu\text{g/ml}$

de P e K, incubadas por 20 dias. Determinou-se a retenção de fósforo e potássio, por meio de análise química das amostras.

Em condições de casa de vegetação, instalou-se um ensaio para avaliar o efeito da vermiculita na presença de três doses de fósforo e três potássio, sobre a produção de matéria seca e a absorção de nutrientes pelo painço. As parcelas foram constituídas de vasos com 1.000g de terra, à qual se adicionou 50 ug N/ml no plantio e aos 15 e 30 dias após o plantio. Aos 40 dias após o plantio as plantas foram coletadas e submetidas à determinação da matéria seca e dos teores de N, P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Mn e Fe.

O delineamento estatístico foi o inteiramente casualizado com 4 repetições. Utilizaram-se 36 tratamentos para cada solo.

Nas condições em que o experimento foi conduzido, verificou-se que: - A retenção de fósforo e potássio foi menor com o aumento nos teores de vermiculita em ambos os solos.

- Na presença de CaCO_3 e doses crescentes de vermiculita houve um decréscimo na retenção de fósforo e liberação de potássio.

- Houve um aumento significativo dos níveis de fósforo e potássio na retenção deste nutrientes no solo.

- A vermiculita aumentou significativamente a produção de matéria seca da planta teste.

- A vermiculita e os níveis de fósforo e potássio influenciaram significativamente o acúmulo de nutrientes pelo painço.

EFFECT OF EXPANSIVE VERMICULITE IN RETENTION OF
PHOSPHORUS AND POTASSIUM IN TWO SOILS

Candidate: **Marlene Estevão Marchetti**

Adviser : **Ronaldo Ivan Silveira**

SUMMARY

This work was carried out to study the effect of the expansive vermiculite addition in the retention of phosphorus and potassium by soil in presence or not of CaCO_3 , as well in dry matter production and nutrients acumulate by Panicum, three experiment were conducted in laboratory and greenhouse of the Escola Superior de Agronomia de Paraguaçu Paulista, SP.

It was utilized in the study expansive vermiculite fine type (Plantmax) and sample to horizon Ap (0 - 20 cm) of two soils, from Paraguaçu Paulista and Quatá, SP, classified as dark red Latosol and yellow red Podzolic.

The soils samples were mixed with 0, 5, 10 and 20% the expansive vermiculite, and also receiving phosphorus and potassium at the rate of 0, 50 and 100 $\mu\text{g/ml}$, they were incubate for 20 days.

The sample were also incubated with expansive vermiculite and CaCO_3 in quantity to raise the base saturation

to 75 and 105%. Phosphorus and potassium were added at the rate of 0, 50 and 100 ug/ml and incubated for 20 days. It was determined in retention of phosphorus and potassium, by chemistry analyses.

In greenhouse one test was carried out to evaluate the effect of expansive vermiculite in presence at the three rate of P and K on production of dry matter and absorption of the nutrients by panicum. The parts were pots of 1.000 g of soils, where was added 50 ug N/ml in semeadure, 15 and 30 days thereafter. After 40 days the plants were collected and analized for N, P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Mn and Fe.

The maine conclusions are:

- The retention of phosphorus and potassium were minor with the increase of the rate of expansive vermiculite in both soils.

- In presence of CaCO_3 and increasing rates of expansive vermiculite, it was ocorred decreasing in retention of phosphorus and for potassium was ocorred a release.

- The retention of phosphorus and potassium was significantly influenced by phosphorus and potassium rates.

- The expansive vermiculite incresed significantly influenced the production of dry matter in of the panicum.

- The expansive vermiculite and the rate of phosphorus and potassium influenced significantly the nutrients contents by panicum.

1. INTRODUÇÃO

A maior parte dos solos brasileiros é deficiente em fósforo notadamente aqueles situados na região de cerrado, que contém baixo teor de fósforo total, geralmente em torno de 0,1%, e teor muito baixo de fósforo disponível para as plantas, sendo que esse elemento é o que mais frequentemente limita as produções agrícolas nas regiões de clima tropical e sub-tropical.

Além desse baixo teor de fósforo disponível, os solos brasileiros têm alta capacidade de retenção do fósforo aplicado através da adubação, e isto, em geral, está associado com o teor de argila do solo.

Devido a esta alta capacidade de retenção de fósforo, doses elevadas de fertilizantes fosfatados são necessários para se obterem produções agrícolas econômicas.

Com relação ao potássio, este é considerado o segundo elemento em concentração na matéria seca das plantas, e dentre os nutrientes essenciais para produções adequadas das

diversas culturas, a importância do potássio sobressai para o aumento da produtividade.

Os solos brasileiros apresentam em geral, pequena reserva de potássio devido seu alto grau de intemperismo. Nos solos situados na região dos cerrados, o teor de potássio trocável é baixo, e a baixa capacidade de troca de cátions efetiva e a baixa soma de cargas, faz com que estes mereçam cuidados especiais para o manejo da adubação potássica, visando diminuir as perdas por lixiviação.

Em vista destes fatos e aliado ao fato de o Brasil possuir grandes reservas de vermiculita inserida em áreas de solos pobres, de baixa capacidade de retenção de água e de íons, a utilização da vermiculita em solos, no sentido de melhorar suas propriedades físico-químicas e, assim o desenvolvimento das plantas, é tecnologia conhecida e já aplicada em agricultura intensiva.

A vermiculita possui estrutura laminar, de distância basal variável (WALKER, 1961), permite trocas iônicas, e principalmente, a entrada e saída de moléculas polares de água (GRIM, 1968).

A vermiculita, em solos arenosos, com baixa capacidade de retenção de água e de nutrientes, poderá melhorar suas condições para produção agrícola. Com a adição de vermiculita espera-se um aumento da capacidade de troca de cátions e conseqüentemente, uma melhoria na adsorção de nutrientes, inclusive o potássio.

Procurando melhorar a eficiência agronômica dos adubos fosfatados e potássicos, foi realizado o presente trabalho, em condições de laboratório e de campo, com os objetivos de estudar:

1. O efeito de diferentes doses de vermiculita expandida na retenção de fósforo e potássio em amostras de solos.

2. A interferência da calagem na retenção de fósforo e potássio em solos tratados com diferentes doses de vermiculita expandida.

3. O efeito de diferentes doses de vermiculita expandida e da adição de fósforo e potássio na produção de matéria seca e absorção de nutrientes em plantas de painço.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O fósforo

2.1.1. O fósforo no solo

O fósforo é, dos três macronutrientes, aquele exigido em menores quantidades pelas plantas: Entretanto, trata-se do nutriente mais usado em adubação.

Isto explica-se pela carência generalizada de fósforo nos solos brasileiros, especialmente os da fronteira agrícola (GOEDERT & SOUZA, 1984), e também, porque o elemento tem forte interação com o solo (RAIJ, 1991). De acordo com SANTANA & MOURA FILHO (1978), o baixo teor de fósforo disponível é considerado como um dos principais problemas que limitam a produtividade de nossos solos e, uma das causas que contribuem para esse quadro, é a elevada capacidade de retenção de fosfatos pelos solos.

Segundo MULJADI *et alii* (1966), o fenômeno de interação dos Latossolos sob vegetação de cerrado com o fosfato é essencialmente de adsorção.

O fósforo encontra-se na solução do solo como íon ortofosfato, sendo este derivado do ácido fosfórico (H_3PO_4) que em solução se dissocia em $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} e PO_4^{3-} . Tendo em vista que a maioria dos solos brasileiros é ácido, quase todo o fósforo na solução do solo está na forma de $H_2PO_4^-$, forma esta absorvida pelas plantas.

O fósforo na solução do solo está em equilíbrio com o fósforo na fase sólida, que pode ser designado como fósforo lábil e fósforo não lábil, podendo ser representado, de forma simplificada, pela equação: $P\text{-solução} \rightleftharpoons P\text{-lábil} \rightleftharpoons P\text{-não lábil}$.

O fósforo lábil está em equilíbrio rápido com o fósforo da solução, enquanto o fósforo não lábil, responsável pela maior parte do fósforo inorgânico do solo, é representado por compostos insolúveis e que só lentamente podem transformar-se em fosfatos lábeis (RAIJ, 1991).

2.1.2. Aspectos gerais da fixação

A fixação de fósforo pelos solos já era estudada desde o século passado, quando Way em 1850, citado por VELAYUTHAM (1980), demonstrou que parte do fosfato era retido quando soluções de fosfato de sódio em água ou de guano em ácido sulfúrico diluído se vertiam sobre uma camada de solo calcário. Desde então, sinônimos como fixação, sorção, retenção

e reversão de fosfatos têm sido usados na literatura da ciência do solo para descrever este processo.

A reação do fósforo com o solo tem sido estudada por muitos pesquisadores como BLACK (1943); COLEMAN (1943, 1944), HSU (1964) , extensas revisões foram apresentadas por DAVIS (1935); DEAN (1949); WILD (1953) e LARSEN (1967), estabelecendo os conceitos, importância e interpretação físico-química da fixação do íon fosfato pelos solos.

O fósforo solúvel em água e em citrato de amônio dos fertilizantes aplicados no solo transforma-se para formas menos solúveis e menos disponíveis através de reações que ocorrem no solo (CHANG & CHU, 1961 e HEMWALL, 1957).

MELLO (1970) esclareceu que a fixação do íon ortofosfato pelo solo é um fenômeno incontestável e que deve ser considerado na prática da adubação. Vários processos têm sido empregados para estudar a fixação e, como acentuam CATANI & PELEGRINO (1960), são convencionais, produzindo resultados variáveis de acordo com as condições experimentais.

A capacidade de sorção de fosfato é uma importante característica do solo, que afeta a resposta da planta à aplicação de fertilizantes fosfatados (FOX & KAMPRATH, 1970; HOLFORD & MATTINGLY, 1976). Segundo BREEUWSMA *et alii* (1986), a capacidade de sorção de fosfatos pelos solos tem sido incorporada na classificação de solos.

Os solos variam em suas capacidades de sorção de fósforo, sobretudo devido às suas características físico-

químicas (SING *et alii*, 1983).

Estudos sobre a fixação de fosfatos descrevem os mecanismos envolvidos como sendo a precipitação ou adsorção. A precipitação refere-se a um processo no qual os fosfatos são precipitados em compostos de baixa solubilidade com alumínio ou ferro em solos ácidos, ou cálcio em solos alcalinos ou neutros (HSU, 1965). Com respeito à adsorção, a literatura refere-se ao mecanismo por meio do qual o fosfato é retido. Muitos estudiosos comparam este processo como uma reação química, outros a uma reação física. As argilas minerais e os sesquióxidos de ferro e alumínio têm natureza adsorvente.

KITTRICK & JACKSON (1957) sugeriram que a adsorção e precipitação resultam de um mesmo tipo de força química.

A adsorção é um caso especial de precipitação na qual o alumínio ou o ferro reagem com o fosfato através de forças residuais na superfície.

Em solos ácidos ou neutros os hidróxidos de alumínio amorfos e óxidos de ferro são altamente adsortivos para o fósforo, sendo que as reações são rápidas. Entretanto, a rápida adsorção inicial é provavelmente uma adsorção de superfície devido a estes compostos. Isto foi comprovado por HASEMAN *et alii* (1950), que não obstante a extensa concentração de fosfato (1M, 0,1M e 0,01M) e pH (3,5 a 7,0), a quantia de fosfato fixada nos trinta minutos iniciais foi devido a uma reação de superfície.

HSU & RENNIE (1962) observaram fenômeno similar num sistema fosfato-hidróxido de alumínio amorfo. O alumínio

trocável, presente em solos fortemente ácidos, conduz a uma rápida precipitação de fosfatos de alumínio.

HSU (1965) afirmou que a natureza da fixação é ainda confusa, sendo-lhe atribuída diversas causas ligadas ora a fenômenos químicos, ora a fenômenos físicos de adsorção. Estudando a fixação de fosfato em solos ácidos, informou que a adsorção física não poderia ser considerada como um processo de fixação de certa importância. Acrescentou que a adsorção e precipitação resultam do mesmo tipo de força química, dependendo ambas do alumínio e/ou do ferro presentes no momento da reação, e por sua vez, são dependentes do pH e da concentração de fosfatos na solução.

2.1.3. Natureza dos compostos do solo e dos fatores envolvidos na fixação

Tem sido admitido que a fixação de fosfato está relacionada com diversos constituintes dos solos; conseqüentemente, várias reações de fixação podem ocorrer ou não ao mesmo tempo, dependendo dos teores relativos desses constituintes e das características dos solos.

A presença de Ca^{+2} , Fe^{+3} , Al^{+3} , Mg^{+2} , K^+ , H^+ e F^- constitui, segundo LINDSAY & MORENO (1960), independentemente da fase do solo em que se encontrem, uma influência constante na disponibilidade do íon fosfato.

Na avaliação da capacidade de fixação de fósforo por solos do Estado de São Paulo, CATANI & PELLEGRINO (1960), salientaram que as quantidades de fósforo fixadas pelos solos

dependiam da concentração do elemento na solução, pH da solução, tempo de reação, temperatura e relação peso:volume entre o solo e a solução.

Conforme TISDALE & NELSON (1965), os principais fatores que afetam a adsorção de fósforo são os seguintes: tipo de mineral de argila, tempo de reação, pH, temperatura, matéria orgânica, saturação de fósforo no solo e a relação $R_{2}O_{3}/P_{2}O_{5}$.

LEAL & VELLOSO (1973) pesquisaram a adsorção de fosfato em nove Latossolos do Estado de São Paulo e Goiás, usando a equação de Langmuir, e observaram grande variação nestes solos quanto à capacidade de adsorção de fosfatos, e verificaram que foram devidos a diversidade das características químicas e granulométricas dos mesmos.

SINGH *et alii* (1983) estudaram seis classes de solos dos trópicos úmidos da Amazônia com baixos valores de fósforo assimilável e total. Verificaram que houve variação quanto à sorção máxima de fósforo desde 158,3 $\mu\text{g P.g}^{-1}$ em um Podzólico Vermelho-Amarelo (PV) até 979 $\mu\text{g P.g}^{-1}$ num Glei Pouco Húmico (GPH), segundo a isoterma de sorção de Langmuir. A sorção máxima e a constante relativa à energia de sorção foram relacionadas às propriedades dos solos, obtendo-se respectivamente, as seguintes sequências em significância estatística: CTC > argila > Al trocável > Fe ditionito > carbono orgânico > Fe oxalato > Al ditionito e argila > CTC > Al trocável > Fe ditionito > Al ditionito.

2.1.4. Influência das argilas silicatadas

Um grande número de trabalhos têm mostrado a influência significativa do teor de argila na fixação de fosfatos.

Uma afinidade entre o conteúdo de argila e a sorção de fosfatos foi relatada por NELLER & COMAR (1947). Alta fixação de fosfato por hidromicas, muscovita, biotita e margarita foram citadas por PERKINS & KING (1943), que relacionaram esta alta fixação com a substituição de silício por alumínio.

A retenção de fosfatos por argilas silicatadas, segundo COLEMAN (1944), é devida ao teor de alumínio das argilas e tem provavelmente pouca relação com as partículas de argilas intactas. Neste trabalho, a quantidade de fosfato retida pelas argilas foi proporcional à quantidade de óxidos de alumínio livre nas argilas, e a adsorção só ocorreu quando o alumínio estava presente. Realmente, segundo LARSEN (1967), há evidência da presença de um hidróxido parcialmente hidratado entre as lâminas das argilas em solos bem intemperizados.

HASEMAN *et alii* (1950), mostraram que os mecanismos de retenção de fosfato nas argilas montmorilonita, illita, caulinita, gibsita e goetita são semelhantes e consistem numa reação química entre fosfatos e íons alumínio e ferro, e apresentam dois estádios de adsorção, um muito rápido e outro bem mais lento.

Estudando o mecanismo da adsorção, KITTRICK & JACKSON (1957), com o uso do microscópio eletrônico, observaram que a caulinita e a grenalita (silicato hidratado de ferro, com estrutura parecida com a da caulinita) reagiram com o fosfato originando uma nova fase de fosfato cristalino.

CATANI & PELLEGRINO (1960), em estudo da capacidade de fixação de fósforo em quinze solos do Estado de São Paulo, encontraram que o solo que mais fixou, foi o que apresentou o menor pH, o menor índice de saturação de bases e a maior porcentagem de argila; o menor valor para a fixação foi determinado para um solo muito ácido, com baixa saturação de bases e com baixa porcentagem de argila.

RAMULU *et alii* (1967), estudaram a fixação de fósforo em doze solos ácidos da Califórnia e Virginia, e que tinham quantidades variáveis de óxido de ferro livre, concluíram que os solos que continham apenas caulinita como único mineral de argila fixaram mais fósforo do que os que continham caulinita e vermiculita. Os dados experimentais mostraram que o ferro nas intercamadas da vermiculita não foi ativo na fixação.

Em solos com a vermiculita predominando na fração argila, o ferro extraído com ditionito não foi ativo na fixação de fósforo. Resultados de pesquisas indicaram que sob certas condições polímeros de hidróxidos de ferro, formaram-se nos espaços interlaminares da vermiculita e esses polímeros de ferro não estavam disponíveis para a retenção de fósforo (RAMULU *et alii*, 1967).

Embora a capacidade de fixação de fosfato de um solo não dependa exclusivamente do seu teor de argila mas, entre outros fatores também da qualidade das mesmas, MELLO (1970) observou certa tendência para a correlação entre teor de argila e quantidade de fósforo fixado. Dentre os solos usados o da série Iracema foi excessão a esta observação, pois apresentou teor coloidal mais elevado e um dos poderes de fixação mais baixos. Uma explicação para esse fenômeno foi o fato de tal solo conter um teor elevado de fósforo, o que teria saturado em grande parte a capacidade fixadora do mesmo.

Nas argilas silicatadas do solo, segundo MELLO *et alii* (1983), ocorrem adsorções na superfície ou nos bordos dos cristais de caulinita, através de substituições de hidroxilos (OH^-), com a formação de ligações argila-cálcio-fosfato e, ainda, de tetraedros de fosfato (PO_4^{3-}).

A adsorção de fósforo é muito variável no solo em relação à natureza mineralógica da fração argila, ocorrendo um aumento de adsorção do elemento na grade cristalina tipo 2:1 para o tipo 1:1 e óxidos de ferro e alumínio. Entretanto, solos de São Paulo, devido ao recobrimento das argilas silicatadas pelos óxidos de ferro e alumínio, praticamente não se verifica quase a influência da natureza mineralógica desses na adsorção de fósforo (RAIJ, 1981).

Em um ensaio de incubação, com solos Podzólico e Latossolo e utilizando as argilas caulinita e vermiculita, SOLIS (1981) verificou que a porcentagem de fósforo fixada aumentou com o acréscimo do percentual do minério

vermiculítico, até adquirir valores próximos à porcentagem fixada pela vermiculita pura. Atribuiu-se este aumento da fixação do fósforo à natureza da argila adicionada (vermiculita) e à alta concentração de magnésio numa faixa de pH favorável à precipitação de compostos fosfo-magnesianos.

Para a caulinita, o efeito das doses crescentes foi contrário nos dois solos: aumentou a porcentagem de fósforo fixado no Latossolo e diminuiu no Podzólico. No primeiro solo, o autor cita que possivelmente o aumento esteve relacionado com o acréscimo do teor de argila e com a natureza da caulinita, que apresenta cargas eletro-positivas na faixa de pH dos tratamentos. No segundo caso, a diminuição de fósforo fixado nos tratamentos pode ser atribuído a um efeito de diluição da concentração da illita e da vermiculita nativa.

PENA & TORRENT (1984) verificaram que a sorção de fosfato foi altamente correlacionada com a porcentagem de argila e ferro solúveis em ditionito. Solos bem drenados e imperfeitamente drenados diferiram pouco nas propriedades de sorção. Em solos mal drenados, com hematita livre, o croma foi relacionado com a sorção.

2.1.5. Influência dos óxidos de ferro e alumínio

Muitos autores têm encontrado uma relação muito estreita entre o conteúdo de óxidos de ferro e alumínio no solo e a capacidade de fixação de fosfatos. (BLACK, 1943; COLEMAN, 1943, 1944; HSU, 1964 e KITTRICK & JACKSON, 1957). Com respeito à eficiência relativa do ferro ou do alumínio no

processo de fixação, alguns pesquisadores têm considerado que o ferro é um agente mais eficiente que o alumínio, embora o contrário também tenha sido argumentado.

BLANCHET'S (1959) sugeriu que a fixação de fósforo pelo colóide $Fe(OH)_3$ foi devida a um processo de adsorção e não de precipitação.

FRANKLIN & REISENAVER (1960) estudaram a afinidade entre as propriedades do solo e a disponibilidade de fósforo e verificaram que a sorção de fosfato foi altamente correlacionada com o alumínio trocável e solúvel em citrato. O alumínio solúvel em citrato foi cento e sessenta vezes mais ativo na sorção do fósforo do que o ferro solúvel em citrato.

E largamente difundido o conceito de que os óxidos de ferro e alumínio têm ação importante na sorção de fosfatos por solos ácidos. Isto pode ser verificado pelo fato da sorção de fosfatos ser reduzida quando os óxidos de ferro e alumínio são removidos por extrações químicas, sem contudo, determinar a relativa contribuição de cada óxido (BROMFIELD, 1964).

Estudos de retenção de fosfatos em alguns solos mostraram correlação linear altamente significativa entre o fosfato retido e teor de óxido de ferro (RAMULU *et alii*, 1967). Por outro lado, postula-se que os óxidos de alumínio sejam mais reativos que os óxidos de ferro (BROMFIELD, 1964; FRANKLIN & REISENAVER (1960); KANWAR, 1956 e SAINI & MACLEAN 1965).

Em solos levemente ácidos, o fósforo não é fixado na forma de compostos, tais como a variscita e a strengita, e sim adsorvido aos hidróxidos de ferro e alumínio amorfos,

hidroxi-polímeros existentes no solo (HSU, 1964). O autor observou que, quando uma solução de fosfato permaneceu por um ano em contato com esse tipo de solo, surgia no sistema uma nova fase formada por hidróxido férrico, o qual retinha a maior parte do fósforo fixado.

De acordo com HSU (1965), as superfícies reativas dos hidróxidos amorfos de alumínio e ferro dominam o processo de adsorção de fosfatos, uma vez que as atividades destes compostos não são limitadas pelo efeito do pH do solo.

Nos últimos anos, um grande número de trabalhos têm mostrado que a extensão das superfícies sortivas destes minerais é um fator mais importante do que a quantidade total na sorção (JUO & FOX, 1977; BIGHAM *et alii*, 1978; PARFITT, 1978).

Em solos do Estado de São Paulo e Goiás, LEAL & VELLOSO (1973) encontraram correlação linear altamente significativa entre a adsorção de fosfatos e os teores de óxidos de alumínio amorfos, mas não entre a adsorção e os teores de óxidos de ferro amorfo. Esta observação em relação aos óxidos de ferro amorfo diverge da opinião de diversos autores, como WILD (1953) e DEAN (1949), que obtiveram evidências de que tanto os óxidos de alumínio como os de ferro desempenham papel importante na adsorção do fósforo.

Pesquisando alguns Ultissóis e Oxissóis, BIGHAM *et alii* (1978) verificaram que solos com goetita foram mais eficientes na sorção do fósforo do que os solos com hematita, porque a goetita teve uma maior superfície específica do que a

hematita. Em outro caso, JONES (1981) demonstrou, pelas análises de difratogramas de raio-x, que as áreas específicas calculadas da gibsitita, hematita e goetitita em solos de Porto Rico (Ultissol e Oxissol), foram mais úteis do que a quantidade total destes minerais para prever a sorção do fósforo.

SANTANA & MOURA FILHO (1978) notaram correlação significativa entre o material amorfo e a adsorção máxima de fósforo em três solos de Viçosa. A adsorção é mais um fenômeno de superfície e a contribuição do material amorfo para a superfície específica foi grande nos solos estudados de Viçosa.

CANESSA *et alii* (1986) verificaram que a fração de alumínio ativo contribui em tal grau para a retenção de fosfato que tem sido considerada como critério para a classificação pelo ICOMANDO (International Committee on the Classification of Andisols).

2.1.6. Influência da reação do solo

O efeito da reação do solo na retenção do fósforo tem sido muito discutido, sendo que a maioria dos pesquisadores concordam que as retenções de fósforo são maiores nas faixas extremas de acidez ou alcalinidade.

A influência do pH no processo de precipitação de fosfatos foi estudada por COLE & JACKSON (1950), os quais verificaram que precipitados amorfos de fósforo ligados ao ferro e alumínio aumentavam com a rápida elevação do pH no sistema, devido ao maior tempo de passagem dos precipitados

amorfo de fósforo para a forma cristalina; quando o aumento do pH foi gradativo, a passagem foi mais rápida.

A adsorção de fosfato por carbonato de cálcio (CaCO_3) foi relatada por COLE *et alii* (1953) que verificaram uma rápida adsorção de fosfato para baixa concentração, na superfície do carbonato de cálcio, sendo que para uma alta concentração de fosfato ocorre a precipitação como CaHPO_4 ou um produto similar.

CATANI & PELLEGRINO (1960) concordaram com as afirmações de outros autores ao considerarem que, para os solos ácidos, os compostos de ferro e alumínio são os maiores responsáveis pela fixação de fósforo, enquanto que, para os solos alcalinos, são os compostos de cálcio e magnésio.

RALTJE (1960) propôs um equilíbrio entre as formas de fósforo dos solos (Ca-P, Al-P e Fe-P) de acordo com o pH o qual, em condições ácidas é deslocado no sentido da formação de um composto constituído de fosfato e hidróxido de ferro e alumínio.

LARSEN *et alii* (1963) mostraram que ocorreu uma reação inicial de fosfato com carbonato de cálcio a qual conduziu à formação de CaHPO_4 , que foi concluída dentro de três a quatro dias.

A concentração de fósforo assimilável geralmente aumenta depois de uma calagem em solos ácidos. Quando a estrengita ou a variscita estão presentes, a calagem hidrolisa estes compostos e libera ions fosfatos na solução do solo (LINDSAY & MORENO, 1960).

A retenção de fosfatos, em solos da Costa Rica, foi pesquisada por FASSBENDER (1969), que verificou que a média da retenção foi de 42%, 58,2% e 86,4% para solos Aluviais, Latossolos e Andossolos, respectivamente.

TAYLOR & GURNEY (1965) conduziram um estudo em cinco solos ácidos, para verificarem o efeito do carbonato de cálcio na concentração de fósforo na solução e notaram que quatro solos tiveram uma diminuição na concentração de fósforo com a adição do primeiro nível de carbonato de cálcio. Entretanto estes pesquisadores observaram que o teor de fósforo extraído com resina aumentou com a calagem nos cinco solos.

MURRAMANN & FEECH (1969) estudaram o efeito do pH no fósforo lábil e solúvel, usando CaCl_2 0,01M e observaram que a calagem diminuiu o fósforo lábil e solúvel até pH 5,0. Acima desta faixa de pH, ambos os parametros aumentaram com o aumento do pH.

CABALA & FASSBENDER (1971), pesquisando oito solos ácidos da Bahia, notaram que a calagem diminuiu o poder de fixação até um pH de 5,8, e a partir daí houve um aumento.

Para verificar o efeito da reação do solo e da fertilização fosfatada, AMARASIRI & OLSEN (1973) conduziram experimento utilizando um solo ácido com pH de 3,8 e seis níveis de calagem, atingindo níveis de pH até 7,0. Para pH em torno de 6,5, a calagem diminuiu o fósforo solúvel e o lábil. Observaram que a calagem não aumentou a capacidade de adsorção máxima do solos. Em solos tratados com calcário, a adsorção de fósforo por hidróxidos de ferro e alumínio recentemente

formados pareceu ter causado uma maior inativação do fósforo adicionado.

LEAL & VELLOSO (1973) verificaram que o pH teve grande influência sobre a adsorção máxima de fosfatos em Latossolos sob vegetação de cerrado, diminuindo com a elevação do pH.

A adsorção de fósforo por cargas variáveis de superfície está relacionada com o aumento na força iônica quando o pH está acima do ponto de carga zero (PCZ), e tem efeito oposto, quando o pH está abaixo do PCZ (RYDEN *et alii*, 1977).

HALL & BAKER (1971), com o objetivo de avaliar o efeito do pH e do alumínio na adsorção do fósforo pela vermiculita e montmorilonita, realizaram experimento onde o alumínio foi adicionado em quatro dosagens para cada nível de pH e o fósforo em cinco doses, usando fósforo radioativo; concluíram que a montmorilonita fixou quantias crescentes de fósforo para os aumentos de pH, enquanto que a vermiculita fixou quantidades menores.

Em experimento conduzido em casa de vegetação com centeio (*Secal cereale* L.) e milho (*Setaria italica* L.), e utilizando seis níveis de calcário e quatro de fósforo, AMARASIRI & OLSEN (1973) verificaram que a produção e a porcentagem de fósforo na planta tiveram aumentos significativos na presença de fósforo sem calcário. A calagem promoveu um aumento na produção de milho com a adição de

fósforo, até um pH em torno de 5,0 a 6,0; com uma calagem adicional, houve um decréscimo na produção.

A fixação de fosfato em solos com CaCO_3 , variou de 0,15 a 47,2%, tendo sido melhor correlacionada com o conteúdo de argila do que com a porcentagem de CaCO_3 (Sengupta & Cornfield, 1963, citados por VELAYUTHAM, 1980).

CANESSA *et alii* (1986) estudaram o efeito do pH e do alumínio ativo na retenção de fosfatos em solos da Costa Rica, e observaram uma correlação significativa entre o pH em fluoreto de sódio e o alumínio ativo na retenção de fosfatos. Para valores de alumínio ativo maiores que 2% e pH em fluoreto de sódio maiores que 10,2 houve uma retenção de fósforo superior a 82%.

Sob condições de casa de vegetação, CANESSA *et alii* (1987) estudaram a resposta à fertilização fosfatada em quinze solos da Costa Rica, usando como planta teste o sorgo (*Sorghum vulgare* var. Sx17) aplicando cinco níveis de fosfatos (0, 200, 400, 600 e 800 $\mu\text{g P. ml}^{-1}$), concluíram que o rendimento da matéria seca teve correlação negativa e significativa com a porcentagem de alumínio ativo. Com um aumento na retenção de fósforo, a produção de matéria seca foi menor devido à menor disponibilidade do fósforo na solução do solo.

BOLAN *et alii* (1988) notaram que um aumento no pH de 5,2 para 8,2, resultante da incubação com hidróxido de sódio, causou uma diminuição na adsorção de fósforo, resultando

em aumento na lixiviação de fósforo, em experimentos realizados em colunas.

BORRERO *et alii* (1988) estudaram os efeitos do carbonato de cálcio na sorção do fósforo em trinta e seis amostras de solos calcários da região do Mediterrâneo, Espanha, e concluíram que o carbonato de cálcio não teve influência na sorção de fosfatos devido à pequena superfície específica e baixa capacidade de sorção. Isto sugere que na prática, outros componentes como óxidos de ferro, devido à sua alta capacidade de sorção, e argilas silicatadas, devido ao seu alto conteúdo, tenham um papel fundamental na sorção. Essa observação discorda de muitos pesquisadores que conferem ao carbonato de cálcio, usualmente a calcita, o poder de solvente de ortofosfato em solos alcalinos (COLE *et alii*, 1953; RYAN *et alii*, 1985). A reatividade do carbonato de cálcio, e não a quantidade total, é a propriedade que mais influência tem na sorção do fosfato.

2.1.7. Influência de cátions trocáveis

A eficiência dos cátions na adsorção de fosfato decresce na ordem: $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{H} > \text{NH}_4 > \text{K} > \text{Na}$, sendo que a ordem para liberação dos fosfatos adsorvidos é contrária a esta (RAVIKOVITCH, 1939).

HIBBARD (1939), estudando a fixação de fósforo em dez solos, verificou que a fixação aumentou com o pH e com a adição de cálcio e carbonato de cálcio.

Alguns autores, explicando o papel dos cátions trocáveis na retenção do fósforo, propuseram a ocorrência de

uma ponte " miscela do solo - cátion trocável - fosfato". Porém, estudos isotópicos, com potencial de ácido fosfórico e com resinas de troca (WILD, 1953), têm desacreditado a hipótese dessa ponte.

Os cátions Ca^{+2} , Fe^{+3} e Al^{+3} quando presentes, resultam em apreciável associação com o fosfato devido à interação química com o radical fosfato, os quais conduzem à formação de fosfatos insolúveis (DE, 1961).

DE et alii (1963) observaram que a fixação de fósforo pela montmorilonita foi afetada por outros cátions, sendo maior com o NH_4 , H, Na, Ca e Mg do que com o K. No caso da presença de Al, Ca e H, CALVERT et alii (1960) afirmaram que a intensidade de fixação decresce nessa mesma ordem. Para os autores, a fixação de fósforo por argila previamente acidificada aumentou com a saturação de cálcio devido à formação de fosfato de cálcio complexo.

O aumento na adsorção de fósforo com o aumento na concentração de cálcio tem sido atribuído à inúmeros mecanismos: a) precipitação de fosfato de cálcio; b) formação de superfície complexa entre fósforo adsorvido e solução de cálcio (HELYAR et alii, 1967); c) aumento da força iônica na solução do solo (HAYNES, 1984); d) efeito específico do cálcio no potencial eletrostático (BARROW et alii, 1980) ou e) adsorção de fósforo por precipitados de hidróxidos de ferro e alumínio formados após a calagem (AMARISIRI & OLSEN, 1973).

Dentre os mecanismos propostos para explicar o efeito do cálcio na fixação do fósforo, na faixa de pH maior

que 6,0, segundo MELLO *et alii* (1983), podem-se mencionar: a) formação de fosfatos de cálcio pouco solúveis; b) precipitação sobre a superfície das partículas de CaCO_3 e c) fixação pelas argilas saturadas com cálcio.

Segundo HAYNES (1984) a calagem provoca um aumento no pH e na concentração de íons cálcio na solução do solo. O aumento do pH pode diminuir a adsorção de fósforo e aumentar a adsorção de potássio, mas um aumento na concentração de íons cálcio tem efeito oposto na adsorção de fósforo. Conseqüentemente, o efeito resultante da calagem na adsorção de fósforo dependerá provavelmente da concentração de cálcio na solução do solo.

2.1.8. Influência do tempo de contato entre o íon fosfato e o solo

Pesquisadores como DAVIS (1935) e COLEMAN (1944) constataram que a retenção de fósforo pelos solos e pelas argilas do solo ocorre nos estágios iniciais, mas uma pequena reação de fixação continua por muitas semanas.

E admitido por vários autores (OLSEN & WATANABE, 1957; HSU, 1965), que a adsorção de fosfatos pelos solos se processa em duas etapas, as quais correspondem inicialmente a uma reação de troca entre os íons fosfato e hidróxido da superfície das partículas e uma reação lenta e contínua que se dá pelo aumento gradual do tamanho dos cristais dos fosfatos precipitados de ferro e alumínio.

HASEMAN *et alii* (1950) também verificaram que a retenção de fosfato pelas argilas apresenta dois estádios, sendo um muito rápido e outro bem mais lento. O estádio mais rápido resulta da reação entre íons fosfatos e íons alumínio e ferro em solução, e o estádio mais lento da reação com íons alumínio e ferro liberados por meio da intemperização dos minerais argilosos.

CATANI & GLORIA (1964) observaram, em oito solos do Estado de São Paulo, em estudo com fósforo radioativo $^{32}\text{P}_{15}$, que o tempo de equilíbrio entre o fósforo fixado e o da solução foi de 16 horas.

Um solo levemente ácido foi tratado com soluções diluídas de fosfato, a pH 7,0, para estudar o mecanismo de fixação de fosfato. HSU (1964) reconheceu duas reações operando no sistema: uma reação rápida, devido à adsorção de fosfatos pelos hidróxidos de alumínio amorfos e óxidos de ferro existentes nestes solos, e outra mais lenta, devido à superfície de adsorção de hidróxido amorfo e óxidos desenvolvidos durante o experimento.

Incubando amostra de dois solos do município de Piracicaba, Estado de São Paulo, com argilas vermiculita e caulinita em dosagens que variaram de 1,25% a 25,00% e com doses de 50 e 100 ppm de P, durante 10 e 20 dias, SOLIS (1981) verificou que em todos os tratamentos a quantidade e a porcentagem de fósforo fixada aumentaram com o tempo de contato entre o íon fosfato e os solos. Cerca de 90% da fixação ocorreu

aos 10 dias de incubação, o que evidenciou que o processo se estabilizou entre os períodos estudados de 10 e 20 dias.

SHARPLEY & AHUJA (1982) estudaram o efeito do tempo, da temperatura e do conteúdo de água do solo na desorção de fósforo de dois solos incubados com 0, 47,5, 95 e 190 ug P/g solo e observaram que a constante de um modelo para descrever a desorção de fósforo não foi significativamente afetada pelo tempo de incubação (0 a 8 semanas), temperatura (0 a 25°C) e conteúdo de água (10 a 35 % do peso). Um aumento no tempo de incubação, na temperatura e no conteúdo de água entre 10 e 25%, resultou numa diminuição no fósforo desorvido. Isto foi atribuído ao efeito destas variáveis na sorção de fósforo, pela formação de complexos de ferro e alumínio e precipitados de cálcio.

O efeito do tempo na adsorção de fósforo é importante porque segundo MENDOZA & BARROW (1987), o fosfato continua a reagir no solo, tendo então um efeito importante no valor residual do fertilizante fosfatado. Verificaram que em cinco solos do Argentina, não adubados com fosfato, houve uma variação na concentração de fosfatos em função do tempo e da temperatura de incubação, e os aumentos na concentração de fosfato foram mais significativos depois de longos períodos de incubação a altas temperaturas (60°C). O aumento na concentração de fosfato parece ser devido à liberação de fosfatos já presentes no solo.

2.1.9. Influência da concentração do íon fosfato

Diversos autores têm mostrado que a fixação de fósforo tende a aumentar com o aumento da concentração de fósforo na solução do solo.

Em aveia (*Avena sativa*) cultivada em casa de vegetação, VOLK & McLEAN (1963) concluíram que o nível de fósforo inicial e a capacidade de fixação foram importantes na determinação da resposta da aveia ao fósforo aplicado. O fósforo disponível aumentou com a calagem e a aplicação de fósforo.

FOX (1969) estudou a capacidade de retenção de fósforo em alguns solos da Costa Rica e encontrou valores que variaram de 10 a 2.500 g P.ml⁻¹ para alcançar o nível de 0,2 ug P.ml⁻¹. Os valores para atingir esse nível de fósforo variaram de acordo com os solos estudados. Para solos do Hawaii, os valores de fósforo que proporcionaram um crescimento ótimo para uma gramínea (*Pennisetum clandestinum*) variaram de 80 a 1.650 g P.ml⁻¹ para três solos estudados.

ALMEIDA NETO & BRASIL SOBRINHO (1977) estudaram a fixação de fósforo em três solos sob vegetação de cerrado, por meio de teste de laboratório e teste biológico, usando o painço (*Panicum miliaceum*) como planta indicadora e doses de fósforo que variaram de 0 a 1.500 ppm. Obtiveram um fixação máxima para o solo de Anapólis, quando se usou 50 ppm de P e o de Morrinhos foi o que menos fixou (28%) quando se adicionaram 1.000 ppm de P. No ensaio biológico com o painço, a produção máxima foi

obtida quando foram adicionadas as doses de 300 a 400 ppm de P ao solo de Anapólis, 175 a 300 ppm ao de Itumbiara e 175 ppm ao de Morrinhos.

SOLIS (1981) verificou que, dentro de um mesmo tempo de incubação (10 ou 20 dias), a quantidade em ppm de fósforo fixado aumentou com a dose de fósforo aplicado (50 e 100 ppm), mas o percentual fixado diminuiu, indicando a saturação das amostras com o íon fosfato.

Um estudo da adsorção de fósforo em Vertissolos, realizado por SOLIS & TORRENT (1989), utilizando vinte e quatro amostras e isotermas de adsorção de Freundlich, mostrou que a concentração de equilíbrio foi altamente correlacionada com a porcentagem de ferro extraído com citrato-ditionito-bicarbonato e com o teor de argila, e que os óxidos de ferro foram os mais ativos na adsorção de fósforo. Concluíram ainda que o carbonato de cálcio teve papel secundário na adsorção.

2.1.10. Influência da superfície específica

A adsorção de fósforo tem correlação positiva com a superfície específica. OLSEN & WATANABE (1957) observando o efeito da superfície específica na adsorção de fósforo, verificaram que esta desempenha papel relevante na adsorção, visto que é um fenômeno de superfície.

SANTANA & MOURA FILHO (1978), estudando a sorção de fosfatos em solos do Triângulo Mineiro e Viçosa, encontraram correlação significativa entre a textura do solo e a adsorção de fosfato. O material dos solos de textura média apresentou

menores valores de C_{org} que o dos solos de textura argilosa. Estes dados concordam com os observados por SA *et alii* (1968), que notaram tal ocorrência no material dos solos estudados por eles. Uma possível explicação seria que em razão do menor teor de argila, o material dos solos de textura média apresenta-se menos subdividido e, conseqüentemente, com menor superfície de adsorção.

BORRGAARD (1983) estudou a importância relativa dos óxidos de ferro fracamente cristalino para diferentes solos, com o objetivo de medir a capacidade de sorção de fósforo, e verificou que a contribuição de cada fração para a sorção do fósforo foi relacionada com a superfície.

2.2. O POTÁSSIO

2.2.1. O potássio no solo

O potássio total no solo é encontrado em quatro formas de acordo com RITCHEY (1979), a saber: a) potássio que ocorre como um componente estrutural de minerais tais como: micas e feldspatos potássicos, e que se torna disponível apenas quando estes minerais são decompostos; b) potássio temporariamente "fixado" entre as lâminas de argilas expansivas; c) potássio facilmente trocável por um sal neutro, não tamponado e d) uma pequena quantidade de potássio presente na solução do solo.

De acordo com Black (1967), citado por BRAGA & YAMADA (1984), as diferentes forças com que o potássio se adsorve aos minerais secundários do solo permitem classificá-lo

quimicamente em não trocável, trocável e solúvel em água. Destas formas, o potássio trocável é o mais utilizado no estudo da fertilidade do solo.

TISDALE & NELSON (1975) classificaram as formas de potássio existentes no solo em potássio não disponível, lentamente disponível e prontamente disponível. O não disponível refere-se ao potássio estrutural dos minerais primários não intemperizados ou ligeiramente intemperizados, dos minerais secundários (ilita, vermiculita, clorita) e dos minerais interestratificados em que dois ou mais destes tipos de minerais secundários ocorrem em arranjo mais ou menos ao acaso, na mesma partícula. O potássio lentamente disponível refere-se àquele que é fixado ou retido entre as camadas de certas argilas expansivas.

2.2.2. Equilíbrio das formas de potássio no solo

A relação entre o potássio liberado e o potássio fixado, resultando num equilíbrio de várias formas de potássio no solo, tem recebido atenção de muitos pesquisadores. O estágio de intemperização e os tipos e quantidade de minerais primários e secundários que contém potássio têm sido sugeridos como fatores que afetam o nível do equilíbrio de potássio (DOWDY & HUTCHESON, 1963).

Nos solos, a maior parte do potássio disponível está retido na forma trocável no complexo de troca. A atividade dos ions potássio na solução do solo depende primeiramente da quantia de potássio no complexo de troca. Existe um equilíbrio

entre o potássio trocável e o potássio fixado, sendo este estabelecido mais lentamente. Então, a proporção de potássio no estado fixado pode aumentar pelas aplicações contínuas de fertilizantes potássicos, e ser reduzido pelos cultivos contínuos, devido à tendência para se manter o equilíbrio (MATTHEWS & BECKETT, 1962).

Segundo DENNIS & ELLIS (1962), a fixação e a liberação de potássio no solo parece ser um processo de equilíbrio. Em vários experimentos, a fixação aumentou com o aumento no potássio solúvel. Estudando a fixação e o equilíbrio das formas de potássio no solo, pela vermiculita, para diferentes níveis de potássio por métodos químicos e difração de raio-X, concluíram que a fixação de potássio pela vermiculita foi associada com a mudança no espaçamento basal das camadas de vermiculita.

Nos solos, a maior parte do potássio lábil está retido na forma trocável. A atividade química dos íons potássio na solução depende em primeiro lugar da quantidade do cátion no complexo de troca. A atividade é, entretanto, também afetada por diferença no potencial elétrico através da camada dupla que envolve o complexo de troca. A diferença de potencial depende da composição e concentração total da solução do solo. Existe uma afinidade entre a atividade dos íons potássio na solução e o potássio no complexo de troca (MATTHEWS & BECKETT, 1962). Esses autores verificaram que o equilíbrio entre o potássio na solução do solo e o trocável se estabeleceu dentro de uma hora.

Concluíram que existiu também um equilíbrio entre o potássio trocável e o fixado, que ocorreu mais lentamente.

As formas solúvel, trocável e não trocável estão em equilíbrio. Conseqüentemente, a remoção do potássio solúvel por lixiviação ou cultivo causa a saída do potássio trocável para a solução. Também, conforme o potássio trocável vai sendo exaurido, a forma não trocável é liberada, apesar dessa liberação nem sempre ser suficiente para atender as exigências das culturas (McLEAN, 1980).

2.2.3. Aspectos gerais da fixação

Têm-se verificado, em numerosos solos, que uma parte do potássio adicionado na forma de um sal solúvel não é recuperado por extração com reagentes usuais de troca catiônica. Diz-se neste caso que o potássio é fixado (GAMA, 1961). O grau de fixação varia com os solos e depende de diversos fatores (VOLK, 1934).

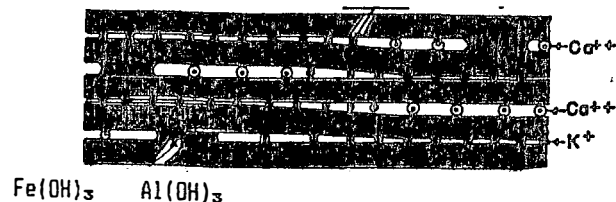
A fixação de potássio é um fenômeno comum e a intensidade depende da quantidade e da natureza das argilas presentes no solo (DOWDY & HUTCHESON, 1963; BLANCHET, 1965 e BRADY, 1983), e também da umidade do solo (DEMUMBRUM & HOOVER, 1958).

PAGE & BAVER (1940) propuseram a teoria de expansão e contração para fixação do potássio, segundo a qual a fixação é possível devido à similaridade do raio do cátion não hidratado com o raio hexagonal das camadas tetraédrica dos

minerais de argila 2:1. Estes cátions não hidratados poderiam entrar nestes vazios, causando um colapso na expansão.

Foi proposto que uma pequena quantidade de potássio trocável, tais como as que normalmente são encontradas nos solos, são frequentemente localizadas em espaços em forma de cunha, nas intercamadas das micas intemperizadas. Estes espaços em forma de cunha ocorrem nas arestas quebradas ou em lugares mais profundos dentro das micas intemperizadas. A figura a seguir, mostra o diagrama de uma mica intemperizada, mostrando as zonas de cunha onde ocorre a seletividade do íon de acordo com seu tamanho no estado hidratado. Os círculos abertos indicam água de hidratação sobre os íons cálcio. Tal modelo pode explicar porque o potássio pode ser fixado pela vermiculita e ainda porque o cálcio, no mesmo sistema, não é fixado. A presença de hidróxido de alumínio ou hidróxido de ferro nas intercamadas, conforme proposto por RICH (1960), poderá inibir a fixação de potássio.

K não trocável por cátions maiores



O efeito das zonas de cunha na fixação do potássio ou na seletividade de potássio foi determinada pelos seus números e posições no cristal de argila. Se a zona estiver localizada perto da extremidade, poderá fixar pequena quantidade de potássio, mas se ocorrer no interior da

partícula, este efeito poder resultar numa maior fixação de potássio (ARIFIN *et alii* 1973).

Existe na literatura alguma controvérsia sobre o efeito que a fixação de potássio em formas não trocáveis exerce no aproveitamento do potássio no solo. Em muitos casos, este fenômeno tem sido visto com certo interesse devido às consequências da redução da disponibilidade de potássio para as plantas (ATTOE, 1948). No entanto, BRAY & DE TURK (1938) consideraram que a fixação do potássio tem algum efeito benéfico, pois este potássio não está sujeito à lixiviação e pode tornar-se disponível para as plantas sob condições adequadas.

Em dois solos de Wisconsin, ATTOE (1948) verificou que de 76 a 98% do potássio aplicado como fertilizante foram recuperados pelas culturas, em dois anos de cultivo, embora uma considerável quantidade fosse fixada em alguns solos em forma não trocável. Com base nestes resultados, o autor concluiu que o potássio fixado em formas não trocáveis é um processo não totalmente prejudicial, havendo, contudo, uma redução temporária da disponibilidade do elemento; este potássio serve como um reservatório, reduzindo as perdas por lixiviação e evita o consumo de luxo pelas plantas.

Para explicar o mecanismo de fixação de potássio, WEAR & WHITE (1951) propuseram que, quando o complexo de troca está saturado com íons potássio, eles são presos por forças atrativas das cargas nos octaedros e tetraedros, distribuídos ao acaso no cristal.

A fixação de potássio tem sido considerada contrária à reação de desagregação mica \longrightarrow illita \longrightarrow vermiculita \longrightarrow montmorilonita (JACKSON *et alii*, 1956). Os íons potássio são geometricamente e ionicamente capazes de entrar nos buracos das camadas das argilas 2:1.

A proporção de potássio no estado fixado pode aumentar devido às aplicações contínuas de fertilizantes potássicos e diminuir com os cultivos contínuos (MATTHEWS & BECKETT, 1962).

2.2.4. Influência dos minerais de argila na fixação

A fixação de potássio pelos solos e a relação com a mineralogia de argila tem sido objeto de numerosas investigações (COOK & HUTCHESON, 1960). A relação entre a fixação e os minerais de argila tem sido aceita ao menos com a vermiculita (DENNIS & ELLIS JUNIOR, 1962). A montmorilonita e a illita também poderão fixar o potássio mas, segundo RICHARDS & McLEAN (1963), terão que ser vistos com cautela.

Os mecanismos, nos solos, que tornam possíveis a retenção de potássio em formas trocável e fixada e a conversão de uma para outra forma são complexos. O tipo e a quantidade de minerais de argila são os fatores mais importantes, sendo os responsáveis pela fixação e liberação de potássio (COOK & HUTCHESON, 1960).

A vermiculita, nos solos, é importante porque fixa o potássio temporariamente, retarda a lixiviação do potássio aplicado e promove um suprimento adequado do potássio

disponível. O potássio aplicado como fertilizante poderá mostrar baixa disponibilidade em solos com alta porcentagem de vermiculita devido à fixação e, em solos de textura grosseira, devido à lixiviação, mas em solos de textura fina a lixiviação do potássio é restringida, exceto na presença de CaCO_3 ou de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

BARSHAD (1954) estudou o mecanismo de fixação de potássio e verificou que a maior parte do elemento foi fixado pela vermiculita. As camadas expandidas dos silicatos com 15 a 16 Å de espaçamento basal são responsáveis pela fixação (VAN der MAREL, 1954).

A vermiculita pode ser definida como camadas de mineral silicatado que atingem o espaçamento de 14 Å com a saturação de magnésio e o solvente glicerol (Walker, 1958, citado por ALEXIADES & JACKSON, 1965), e que colapsam (14 → 10 Å) quando saturadas com potássio e aquecidas (JACKSON, 1956). As propriedades de fixação de potássio estão intimamente associadas com altas cargas nas camadas e com minerais tendo estas propriedades de difração. Devido o pico de difração da vermiculita frequentemente envolver interestratificação com outras micas como clorita e montmorilonita, a intensidade do pico de difração não são quantitativos, mas são relacionados com a fixação de potássio (ALEXIADES & JACKSON, 1965).

BARSHAD (1954) citou que a capacidade de fixação de potássio pela vermiculita esteve ao redor de 70 meq/100g, e que 10% deste mineral presente em um separado de argila aumentou a fixação para 7 meq/100g, sem necessitar de um outro

mineral para a fixação. Em experimentos realizados com solos de Mississippi, DEMUMBRUM (1958), verificou que os solos contendo alta porcentagem de montmorilonita, geralmente fixaram menos potássio do que aqueles contendo vermiculita.

MORTLAND *et alii* (1957), através de métodos químicos, eletroquímicos e biológicos, estudaram a liberação de potássio de formas fixadas pela ilita, montmorilonita e vermiculita, e de formas nativas como a ilita, biotita, muscovita, e verificaram que o potássio fixado pela vermiculita e montmorilonita era disponível para o crescimento das plantas. Das formas nativas, o potássio da biotita foi mais disponível que o da ilita e muscovita. Alterações da biotita para vermiculita, como um resultado da extração de potássio por cultivos contínuos de trigo, foram notadas por MORTLAND *et alii* (1956).

A vermiculita possui habilidade para fixar grandes quantidades de potássio por unidade de peso. DEMUMBRUM (1958) verificou que a presença de pouca vermiculita foi suficiente para influenciar as características de fixação e liberação de potássio de amostras de solo de Mississippi. Por outro lado, uma temperatura de 350°C foi necessária para que a montmorilonita fixasse relativamente pequena quantia de potássio.

A mineralogia da argila foi correlacionada com as reações do potássio nos solos por COOK & HUTCHESON (1960), em solos de Kentucky. Nos solos com alto poder de suprimento de potássio, os autores verificaram que a fração argila continha mais ilita que naqueles com baixo poder de suprimento de

potássio. Concluíram que a illita possui alto poder de suprimento de potássio.

Em solos da Califórnia, a manutenção da nutrição adequada de potássio é complicada devido à predominância de solos com vermiculita, com alta capacidade de fixação (PAGE *et alii*, 1963).

ALEXIADES & JACKSON (1965) propuseram um método químico baseado na fixação de potássio para a determinação quantitativa da vermiculita nos solos. A CTC de uma amostra foi determinada pela lavagem com cloreto de cálcio e substituição de cálcio pelo cloreto de magnésio; a amostra foi lavada com cloreto de potássio e aquecida a 110°C para desidratar e colapsar as camadas de vermiculita e fixar o potássio. O potássio trocável remanescente foi determinado pela lavagem com cloreto de amônio. A diferença entre os dois valores de CTC dá a carga nas intercamadas da vermiculita.

ACQUAYE *et alii* (1967) agruparam os solos em dois grupos com relação à mineralogia de argila: aqueles contendo apreciáveis quantidades de minerais expansivos 2:1 e aqueles com uma variável quantia de illita, mas sendo a caulinita dominante. Verificaram que o grau de fixação estava relacionado com a mineralogia de argila. Os solos contendo menos caulinita e mais minerais de argila 2:1 fixaram mais potássio que os outros solos. Em solos com vermiculita e com vermiculita-mica interestratificada as fixações foram maiores.

Tanto a vermiculita como a mica apresentam cargas de alta seletividade para o potássio e, dependendo das

condições podem fixar o elemento com maior ou menor intensidade. Também os materiais amorfos do solo, como os alumino-silicatos podem fixar o potássio (VAN REEUWIJK & VILLIERS, 1968).

ARIFIN *et alii* (1973) estudaram a fixação de potássio em cinco séries de solos do Sul dos Estados Unidos, e observaram que todas as argilas presentes nos solos mostraram capacidade para fixar potássio. A quantidade fixada foi correlacionada com o potássio aplicado e observaram que a fixação tem tendência de acordo com a isoterma de adsorção de Langmuir, indicando que a fixação foi associada com fenômeno de superfície.

Segundo BRADY (1983), a vermiculita nos solos fixa uma quantia considerável de potássio.

BARBER (1979) estudou a fixação em treze solos do Kenia, variando o potássio aplicado de 0 a 1.000 mg.Kg⁻¹. A fixação foi medida e definida pela diferença entre a quantidade de potássio aplicado e o aumento no potássio trocável, depois do equilíbrio. Para as aplicações de 50 e 1.000 mg.Kg⁻¹ a fixação variou de -52 a 64 % e de 7 a 39 % respectivamente. O autor encontrou correlação significativa entre a fixação de potássio e o conteúdo de argila. Estimativas mostraram que a fixação pela fração argila foi de 53 a 80 % para a montmorilonita, de 48 a 66 % para o material amorfo e de 19 a 32 % para a caulinita. Sugeriu que o material amorfo pode fixar potássio pelo mecanismo de "peneira".

BAJWA (1980) considerou que a fixação de potássio tem recebido atenção devido à importância da disponibilidade de potássio para as plantas, sendo uma função do mineral de argila, atribuída à vermiculita, às micas hidratadas e à montmorilonita.

Estudando o efeito da composição mineralógica do solo na fixação de potássio, BAJWA (1980) observou que os solos contendo somente beidelita fixaram mais de 75% de potássio; nos solos com vermiculita pura ou interestratificada com haloisita a fixação variou de 51 a 66%; nos solos contendo menos vermiculita e associados com mica hidratada ou caulinita a fixação foi de 26 a 35% e naquele onde a beidelita e a vermiculita estavam ausentes, possuindo apenas montmorilonita, clorita, mica hidratada, caulinita e material amorfo a fixação foi menor que 18%. Diante destes resultados, o autor concluiu que a mineralogia da argila do solo, isto é, o tipo de mineral, sua proporção e o grau de cristalinização, são importantes na fixação de potássio.

2.2.5. Influência da calagem na fixação

Numerosos trabalhos têm evidenciado o efeito da calagem na fixação do potássio. MACINTIRE *et alii* (1936) verificaram que a adição de calcário no solo aumentou a fixação.

VOLK (1934), estudando o efeito da calagem na fixação de potássio, concluiu que a adição de calcário favoreceu a fixação do cátion. Segundo o autor, a razão para

este aumento não está bem evidente, mas pode ser devido ao fato das condições alcalinas trazerem alumina e sílica para a solução, as quais combinam com o potássio formando um silicato insolúvel de alumínio e potássio.

HARRIS (1937) relatou que o óxido de cálcio hidratado resultou num aumento do potássio fixado e, que em valores de pH mais elevado a fixação foi maior.

AYRES (1941) verificou que em solos da Costa Hilo, no Hawai houve um aumento no potássio trocável com o aumento do pH e que isto favoreceu a fixação do elemento, pois desde que o complexo de troca ficou mais saturado com potássio devido ao aumento do pH, houve maior disponibilidade do elemento para sofrer a fixação.

BRADY (1983) citou que a elevação no pH e a abundância de calcário nos solos favoreceram a fixação de potássio.

BITTENCOURT & SAKAI (1975) estudaram o comportamento do potássio em três solos do Estado de São Paulo, a saber, Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho Escuro - fase arenosa e solos Podzólizados de Lins e Marília, variação Lins, com adição de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ou CaCl_2 , e verificaram que a adição de CaCl_2 ou $\text{Ca}(\text{OH})_2$ aos solos, de uma maneira não uniforme, ocasionou maior liberação de potássio. No Latossol Roxo notou-se um efeito altamente pronunciado das doses de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, porém, o CaCl_2 mostrou-se menos efetivo. Ficou evidente um efeito mais pronunciado do pH sobre o deslocamento de potássio das

formas trocáveis e não trocáveis do que propriamente do poder de substituição do cálcio.

No Latossolo Vermelho Escuro fase arenosa, os efeitos da adição dos compostos de cálcio são menos pronunciados que no caso anterior. Doses mais elevadas de cálcio, independentemente do pH, tenderam a liberar maiores quantidades de potássio, mostrando que o processo é devido apenas a um efeito de troca iônica. Entretanto, como nesse solo o elemento parece ser retido com maior energia, apenas uma certa fração do potássio trocável foi lixiviado pela água.

O solo Podzolizado de Lins e Marília, variação Lins, mostrou também um comportamento diferente para as interações cálcio-potássio, onde maiores quantidades do íon potássio tenderam a ser liberadas pelo CaCl_2 do que pelo Ca(OH)_2 , além de uma certa fração do potássio trocável ser lixiviada (BITTENCOURT & SAKAI, 1975). Assim, o cálcio deslocou o potássio das formas trocável e não trocável e, ao mesmo tempo o aumento do pH provocou o desenvolvimento de novas cargas negativas, dependentes do pH, as quais passaram a adsorver o elemento (NEMETH & GREMME, 1972).

DE FELIPO & BRAGA (1983) estudaram a influência da calagem e de fontes de potássio na adsorção em dez Latossolos do Estado de Minas Gerais, sendo o potássio adicionado na proporção de 0,625 mg/10g solo e nas formas de cloreto, fosfato e sulfato; verificaram que houve efeito significativo da calagem na adsorção de potássio. Na ausência de calagem,

observaram uma maior adsorção, quando este foi aplicado na forma de fosfato e sulfato.

BOLAN *et alii* (1988) verificaram o efeito do pH na adsorção de potássio através de experimento realizado em colunas. Com um aumento do pH de 5,2 para 8,2 através da incubação com Ca(OH)_2 e NaOH, houve um aumento na adsorção de potássio, havendo uma diminuição na lixiviação. Já nos experimentos realizados em séries, um aumento no pH resultante da incubação com NaOH mostrou resultados similares ao experimento em coluna, enquanto que com a adição de Ca(OH)_2 houve uma diminuição na adsorção de potássio. Concluíram que no experimento em série o decréscimo na adsorção de potássio com a calagem foi principalmente devido ao aumento na concentração de cálcio na solução do solo e a uma diminuição na densidade de carga, o qual resultou em um aumento na seletividade do cálcio sobre o potássio, enquanto no experimento em coluna, houve uma diminuição no cálcio da solução do solo, devido à percolação da solução. Então, na ausência da competição de cálcio, um aumento nas cargas negativas para um pH maior, resultou no aumento da retenção de potássio.

2.2.6. Influência da secagem e umedecimento na fixação

Tem sido estabelecido por diversos autores que o processo de fixação do potássio no solo varia de acordo com o secamento e umedecimento do solo. VOLK (1934) estudou a fixação de potássio em dois solos silte-argiloso de Miami e Hagerstown, e verificou que a alternância do umedecimento e secagem nos

solos tratados com sais potássicos solúveis causou rápida fixação do elemento em formas não trocáveis. Quando esses solos foram conservados úmidos, houve menor fixação de potássio.

RANEY & HOOVER (1946) observaram que a fixação em solos de Susgutama, Mississippi foi incrementada com o secamento dos solos, e que alta concentração de potássio na solução do solo favoreceu a fixação.

Diversos trabalhos têm evidenciado que pequenas quantidades de potássio são fixadas em solos ou minerais de argilas sem a condição de secamento. A quantidade de potássio fixado sob esta condição é relativamente pequena se comparada com a fixada quando o complexo de troca é saturado com potássio e o solo ou mineral de argila sofre o processo de secamento. STANFORD (1947) relatou que pequena fixação ocorreu pela illita sob condição de umidade. Já a bentonita em estado de umidade não fixou o potássio e, o autor concluiu que os minerais do tipo expansivo não fixam potássio, exceto em condições de secamento.

Em Latossolos e Andossolos da Costa Rica, MARTINI & SUAREZ (1947) verificaram que os solos incubados sob condições de umidade contínua favoreceram a fixação de potássio, e que solos incubados sob ciclos de umidade e secamento, resultaram em liberações do potássio não trocável.

Numerosos trabalhos têm associado a fixação e a liberação de potássio para diferentes níveis de umidade com a presença de certos minerais de argila. STANFORD (1947) notou que a montmorilonita não fixou potássio em condições de

umidade. Observou, ainda, que a illita não fixou potássio na presença de hidrogênio, ferro e alumínio, em solos ácidos, sob condições de umidade; entretanto houve fixação de potássio pela illita em solos tratados com calcário e secos.

Sob condições de desidratação a vermiculita fixou mais potássio do que quando mantida continuamente sob molhamento (REITEMEIER, 1951); e o mecanismo para explicar o aumento na fixação sob desidratação sugeriu que há uma adsorção irreversível nas camadas da vermiculita, as quais ocorrem somente em condições de secamento.

DEMUMBRUM & HOOVER (1958) notaram que a vermiculita teve alta capacidade de fixação quando o potássio foi adicionado sob condições de umidade, tendo havido uma fixação adicional sob secamento.

O efeito do secamento na fixação e liberação de potássio tem sido um tópico de interesse no meio agrônômico. Com base em estudos em solos de Iowa, SCOTT *et alii* (1957), propuseram que o potássio poderá ser fixado em condições de secamento se o nível inicial de potássio trocável for maior que o nível de equilíbrio para o solo.

As argilas do tipo 2:1 fixam mais potássio entre suas lâminas em condições de secagem. No entanto, alguma fixação ocorre sem a secagem do mineral de argila. STANFORD (1947) mostrou que a montmorilonita fixou menos potássio no estado úmido do que a illita. DENNIS & ELLIS JUNIOR (1962) verificaram que a desidratação aumentou a fixação de potássio pela vermiculita.

O efeito do nível de potássio trocável e do secamento sobre a fixação e liberação do potássio foi estudado por DOWDY & HUTCHESON (1963), em seis séries de solos. A diferença na ação do potássio no solo pareceu estar relacionada com a mineralogia das argilas do solo. A fixação, onde a umidade foi maior que 4%, esteve associada com a vermiculita e foi menor com a montmorilonita.

PAGE *et alii* (1967) observaram que o potássio fixado sob condições de solo seco ao ar e seco em estufa foi comparável com o potássio fixado sob condições de umidade.

Conforme RAFAHI (1980), existe uma relação entre o potássio fixado e o conteúdo e tipo de argila. A fixação de potássio, que representa de 7 a 11% da CTC, em solos brunos calcários, foi também influenciada pelo secamento dos solos.

A secagem do solo, mesmo em temperatura inferior a 100°C, pode intensificar a fixação pelo aumento na concentração de potássio na solução do solo, em torno da partícula de argila (MIELNICZUK, 1982).

2.2.7. Influência da concentração de potássio na fixação

ATTOE (1948) verificou que a fixação de potássio foi comum em solos de Wisconsin, principalmente se a solução do solo continha potássio em excesso.

COOK & HUTCHESON (1960), em pesquisas realizadas em seis solos secos ao ar, notaram que o potássio foi liberado quando o solo foi lavado com solução neutra de acetato de

amônio 1N, para um nível de potássio trocável menor que 0,5 meq/100g de solo, e a fixação ocorreu quando o potássio trocável originário foi maior que 0,5 meq/100g de solo.

SCOTT *et alii* (1957) consideraram que foi necessário um alto nível de potássio trocável para que houvesse a fixação, e que baixos níveis de potássio trocável estavam relacionados com a liberação do elemento. Quando o clóreto de potássio foi adicionado, notaram que a fixação e a liberação ocorreram dependendo do nível de umidade do solo. Portanto, para predizer se ocorrerá a fixação ou a liberação de potássio para um equilíbrio, é importante, segundo os autores, definir o grau de umidade e secamento do solo.

AHMAD E. DAVIS (1970), trabalhando com solos de Trinidad, verificaram que os valores de potássio fixado flutuaram de mês para mês, mas a análise de variância indicou que em ambos os tempos a concentração de potássio adicionado foi altamente significativa, causando a fixação. Apesar da fixação aumentar com a concentração, em percentual a fixação tendeu a um decréscimo com o aumento da concentração. Observaram que a fixação começou com uma concentração de potássio equivalente a 3% da CTC, conclusão esta que diferiu da obtida por MOSS (1963), onde a fixação ocorreu com a saturação em potássio ao redor de 62%.

AMBERGER *et alii* (1974), realizaram experimentos em vasos por um período de três anos, com aveia (*Avena sativa* L), trevo (*Trifolium resupinatum* L), nabo (*Brassica napus* L.oleifera), feijão fava (*Vicia faba* L.), para avaliar o

efeito da adição de potássio (KCl , K_2SO_4) na absorção mineral, na produção e na dinâmica do potássio num solo Gley com alta capacidade de fixação de potássio. Os autores verificaram que estes solos requereram uma alta quantidade de potássio para um nível ótimo de produção, e que a recuperação de potássio pelas culturas foi apenas de 23 a 47%.

Para determinar a fixação de potássio em solos da série Arcadia, STEENKAMP *et alii* (1987) conduziram experimento, em canteiros, durante doze anos. Os solos receberam anualmente duas aplicações de até $1.000 \text{ kg de } KCl \cdot ha^{-1}$ e, ao final foram analisados para o potássio total, trocável e solúvel. Os solos que receberam $1.000 \text{ kg } KCl \cdot ha^{-1}$ fixaram um máximo de 4% do potássio aplicado. Quando uma pequena quantidade de potássio foi aplicada, houve uma liberação de potássio trocável. Os autores sugeriram que, diante da pequena fixação em condições de campo, esta poderia ser desprezada, e que os resultados indicaram que as perdas de potássio no campo devido à lixiviação excedeu o potássio fixado.

MARCHETTI (1988) estudou o efeito do teor de potássio na fixação e verificou que, para um mesmo tempo de incubação, houve um aumento no potássio fixado com o aumento na dose de potássio de 50 para 100 ppm.

2.2.8. Influência de outros elementos na fixação

Muitos trabalhos têm mostrado que a fixação de potássio por argilas 2:1 pode ser fortemente influenciada pelos

grupos de cátions e ânions do sistema. Em estudos com íons silicato, MORTLAND & GIESEKING (1951) encontraram que a montmorilonita rica em K_2SiO_3 foi alterada em suas propriedades de expansão e fixou uma alta quantidade de potássio. A fixação também foi alta para as argilas ilíticas cujo potássio não pode ser removido com HNO_3 .

DE TURK *et alii* (1943) notaram que o potássio adicionado como fosfato foi mais fixado do que, quando adicionado como cloreto. Sob esta condição a concentração de fosfato, nitrato, cloreto, sulfato e silicatos presentes poderão afetar a fixação.

É conhecida a afinidade dos íons potássio e amônio no fenômeno da fixação (REITMEIER, 1951), estando geralmente estabelecido que estes íons são fixados pelo mesmo mecanismo (STANFORD & PIERRE, 1946). É admitido, ainda, que em grau variável, a fixação prévia de amônio contrarie ou mesmo anule a fixação de potássio. STANFORD & PIERRE (1946) verificaram que num solo, franco-argilo-limoso houve diferença no potássio fixado para as diferentes doses de amônio, num tempo de contato de vinte e quatro horas. Com a dose mais elevada de amônio (12 meq/100g solo), a fixação foi de 0,02 meq de potássio adicionado.

A vermiculita, com uma capacidade de troca catiônica de 150 a 160 meq/100g, segundo BARSHAD (1954), fixou cerca de dez vezes mais potássio do que amônio. Similarmente, JOFFE & LEVINE (1947) observaram, utilizando a bentonita, que houve diferença na fixação de potássio e amônio.

DENNIS & ELLIS (1962) estudaram a fixação e o equilíbrio de potássio pela vermiculita saturada com sódio e cálcio, e concluíram que o teor de potássio solúvel em água foi maior e o de potássio trocável menor para o sistema saturado com cálcio. Para um dado nível de potássio, a fixação foi maior quando o cálcio foi o cátion complementar.

RICH E BLACK (1964), em quatorze solos do sudeste e centro-oeste dos Estados Unidos, observaram que o acetato de amônio 1N foi mais eficiente no deslocamento do potássio do que o acetato de magnésio 1N, mas o cloreto de magnésio foi mais eficiente que o acetato de amônio, e o cálcio trocável foi removido eficientemente pelos três sais. Propuseram que o potássio trocável não está uniformemente distribuído por todo material trocável, mas que uma porção está presente nos espaços, nas intercamadas, parcialmente fechado das micas e parcialmente aberto da vermiculita e montmorilonita. Em tais posições, o potássio foi trocado, rapidamente, somente por íons menores, tais como amônio ou por íons hidrogênio, e a fixação de potássio em tais solos foi inibida por hidróxido de alumínio ou de ferro.

Quando a vermiculita ou a montmorilonita saturadas com cálcio foram tratadas com potássio, sofreram um colapso no espaçamento de 10 \AA e 12 \AA , respectivamente (SAWHNEY, 1969). A vermiculita saturada com potássio não mostrou expansão em água ou glicol.

Em estudos realizados em condições de laboratório, com solos de Trinidad, tratados com potássio nas formas de

cloreto, nitrato, fosfato e sulfato, nas concentrações variando de 0 a 1.000 ppm, AHMAD & DAVIS (1970) notaram que houve considerável fixação de potássio quando a saturação foi maior que 3% da CTC. O tempo de equilíbrio e a concentração de potássio adicionado como cloreto foram altamente significativos na fixação. Verificaram que a fixação não foi significativamente afetada pelos ânions cloreto ou fosfato, mas sulfato e nitrato resultaram numa menor fixação.

2.2.9. Influência do tempo de contato na fixação

Experimentos conduzidos por AMBERGER *et alii* (1974), em vasos, por um período de três anos, evidenciaram a influência do tempo no potássio fixado. Observaram que a maior parte do potássio adicionado foi fixado dentro de poucas semanas após a aplicação.

Para estudar a influência do tempo de contato na fixação de potássio, MARCHETTI (1988) incubou dois solos da região de Paraguaçu Paulista, Estado de São Paulo, com dois minérios vermiculíticos durante 10 e 20 dias, e verificou que para o minério vermiculítico de Piauí, em torno de 70% do potássio adicionado foram fixados nos 10 primeiros dias de incubação, independente do teor de potássio adicionado e da porcentagem da argila presente; para o minério vermiculítico de Catalão-Goiás, em torno de 40 a 70% foram fixados nos 10 dias após a incubação.

2.2.10. A liberação do potássio fixado

A relação entre o potássio liberado e o potássio fixado, resultando num equilíbrio entre as várias formas de potássio no solo, tem recebido atenção dos pesquisadores.

A fixação e a liberação de potássio parece ser um processo de equilíbrio, sendo estes processos dependentes da natureza do potássio adicionado ou removido do sistema.

Segundo JOFFE & LEVINE (1946), desde que a liberação do potássio em solos é um fenômeno comum, o problema da liberação do elemento disponível é também de grande importância.

REITEMEIR (1951) sugeriu que a fixação ou a liberação do potássio pode ocorrer em solos secos, geralmente a fixação ocorre quando os níveis iniciais de potássio trocável são altos e a liberação quando os níveis iniciais são baixos.

A magnitude da fixação ou da liberação de potássio parece estar diretamente relacionada com a mineralogia da argila (DOWDY & HUTCHESON, 1963).

COOK & HUTCHESON (1960) verificaram, em estudos realizados em seis amostras de solos secas ao ar, que houve liberação de potássio quando os solos foram lavados com solução neutra de acetato de amônio 1N e o nível de potássio trocável era menor que 0,5 meq K/100g solos, e que houve a fixação quando o nível era maior que 0,5 meq K/100g solo.

Conforme OLIVEIRA *et alii* (1971), as grandes quantidades de potássio liberadas das formas não trocáveis

poderiam, talvez, ser atribuídas ao potássio estrutural e/ou ao elemento localizado entre as camadas cristalinas de minerais de rede expansiva.

MARTINI & SUÁREZ (1977), cultivaram tomateiro (*Lycopersicum esculentum*) em casa de vegetação em vários cultivos sucessivos e verificaram que o potássio absorvido e o trocável foram altos nos dois primeiros cultivos, caindo drasticamente nos cultivos sucessivos. Notaram, também que no terceiro cultivo houve liberação de potássio de formas não trocáveis para suprir o baixo nível de potássio trocável.

3. MATERIAL e METODOS

3.1. Solos

No experimento, conduzido em laboratório e casa de vegetação da Escola Superior de Agronomia de Paraguaçu Paulista, foram utilizadas amostras da camada de 0-20 cm de dois solos, sendo referidas no trabalho de acordo com a Tabela 1.

As amostras foram secas ao ar e passadas através de peneira de 2 mm de malha e misturadas com quantidades variáveis de vermiculita expandida, da Eucatex, tipo fina, Plantmax, nas concentrações de 0, 5, 10 e 20% de vermiculita em relação ao volume de solo seco.

Tabela 1 - Localização e classificação dos solos a nível de Grande Grupo

Número da amostra	Localidade	Classificação
01	Paraguaçu Paulista	Latossolo Vermelho Escuro distrófico, A moderado, textura média, fase cerrado tropical, relevo suave ondulado.
02	Quatá	Podzólico Vermelho amarelo distrófico, A moderado, textura arenosa/média, fase floresta subtropical, relevo ondulado.

3.2. Determinações preliminares

3.2.1. Análise granulométrica

As amostras de terra, após receberem quantidades variáveis de vermiculita, foram submetidas à análise granulométrica no laboratório de solos da Escola Superior de Agronomia de Paraguaçu Paulista, sendo utilizado o método da pipeta descrito por KILMER e ALEXANDER (1949), empregando como dispersante uma solução de hexametáfosfato de sódio a 5%. Os resultados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Análise granulométrica das amostras

Número da amostra	Argila	Areia total	Areia muito grossa	Areia grossa	Areia média	Areia fina	Areia muito fina	Silte	%	
01	7,4	84,0	0,2	1,0	10,2	56,0	16,6	8,6		
01-5%	16,2	83,3	0,2	1,1	24,7	41,0	16,3	0,5		
01-10%	16,2	83,5	0,3	1,0	27,3	40,5	14,4	0,3		
01-20%	16,5	82,4	0,7	1,6	24,2	39,8	16,1	1,1		
02	10,6	81,9	0,2	1,6	18,1	43,1	18,9	7,5		
02-5%	12,6	82,4	0,3	1,4	23,7	37,5	19,5	5,0		
02-10%	12,1	82,0	0,3	1,8	24,9	36,7	18,3	5,9		
02-20%	12,4	82,6	0,5	2,2	25,6	36,0	18,3	5,0		

3.2.2. Análise química para fins de fertilidade

A análise química das amostras foi realizada segundo a metodologia do IAC (RAIJ *et alii*, 1987). A reação do solo (pH) foi determinada potenciométricamente em suspensão de 1 : 2,5 de solo com CaCl_2 0,01M ; a matéria orgânica pelo método colorimétrico; o fósforo, potássio, cálcio e magnésio extraídos com resina trocadora de ions e posteriormente determinados no colorímetro, fotômetro de chama e titulação com EDTA 0,01M, respectivamente. A acidez potencial foi determinada pelo método do tampão SMP. Os resultados das análises são apresentadas na Tabela 3

Tabela 3 - Características químicas das amostras

Número da amostra	P resina ug/ml	NO %	pH CaCl ₂ 0,01M	K	Ca	Mg	H+Al	Al ³⁺	S	CTC		V %
										meq/100 cm ³		
01	9	1,6	3,9	0,08	0,9	0,3	5,3	1,1	1,3	6,6	19	
01- 5%	8	2,2	3,9	0,06	0,9	0,4	6,0	1,2	1,4	7,4	19	
01-10%	8	2,1	3,9	0,06	0,9	0,4	6,0	1,2	1,3	7,3	18	
01-20%	8	1,8	4,0	0,07	1,0	0,5	5,2	1,1	1,6	6,6	23	
02	6	1,4	4,5	0,09	1,1	0,3	2,0	0,2	1,5	3,5	43	
02- 5%	5	1,1	4,6	0,06	1,0	0,5	1,8	0,2	1,5	3,3	45	
02-10%	6	1,1	4,7	0,07	1,2	0,5	1,8	0,1	1,8	3,6	50	
02-20%	7	1,2	4,9	0,07	1,3	0,7	1,7	0,1	2,1	3,8	55	
Vermic.	14	0,4	7,7	0,25	22,5	12,5	0,6	-	35,2	35,8	96	

3.2.3 Análise mineralógica da fração argila

Na determinação mineralógica das argilas nas amostras de solo e na vermiculita, realizadas na ESALQ-USP, procedeu-se conforme os métodos descritos por JACKSON (1956). As amostras foram submetidas a diferentes tratamentos até a obtenção das argilas cristalinas, em condições de serem analisadas por difratometria de raio-X.

Uma vez obtidos no aparelho de raio-X os difratogramas das amostras à temperatura ambiente, aquecidas e glicoladas, foi feita a identificação dos minerais componentes da fração argila mediante a determinação da distância basal. Na

Tabela 4 ilustram-se os valores obtidos para alguns minerais de argila submetidos a diversos tratamentos de acordo com as especificações de Lucas *et alii*, citado por NEVES (1968).

Tabela 4 - Alguns minerais de argila e seus espaçamentos basais

Minerais	Espaçamentos basais				
	Saturação	com	K	Satura-	Outros es- paçamentos saturação com K
	Natural	Aquecido		ção com	
	25° C	350°C	550°C	Mg gli- colada	
Å					
Caulinita	7,2	7,2	-	7,2	3,5
Ilita	10	10	10	10	5,0-3,3
Motmorilo-					
nita	12-14	10	10	17	5,1-3,05
Vermiculita	12-14	10	10	14	5,0-3,2

Nas figuras 1, 2, 3 apresentam-se os difratogramas das amostras de argila e dos solos após terem sido submetidos aos diversos tratamentos e irradiações de raio-X.

Os resultados obtidos da mineralogia da fração argila das amostras, baseados na identificação dos respectivos difratogramas são dados na Tabela 5.

Tabela 5 - Análise mineralógica da fração argila das amostras

Amostras	Minerais de argila contido (X)				
	Cauli- nita	Vermi- culita	Vermi/ clorita	Gibsita	Mica
Vermiculita expandida		X			
Latossolo Vermelho Escuro-fase-arenosa (LVE)	X		X	X	X
Podzolizado de Lins e Marília-Var.Lins	X	X	X	X	X

3.3. Efeito da adição de vermiculita na retenção de fósforo e potássio pelas amostras

3.3.1. Na ausência de carbonato de cálcio

Os efeitos da adição de vermiculita expandida na retenção de fósforo e potássio, foram estudados em condições de laboratório, através da incubação de 2,5 cm³ de amostra com 50 e 100 ug P/ml e 50 e 100 ug K/ml, conforme os tratamentos que se encontram na Tabela 6.

As amostras foram transferidas para frascos plásticos de 100 cm³ de capacidade e a eles adicionaram-se soluções contendo 50 ou 100 ug P/ml e 50 ou 100 ug K/ml de potássio. As soluções foram distribuídas de modo uniforme às amostras, procurando umedecê-las por igual. Nas amostras que

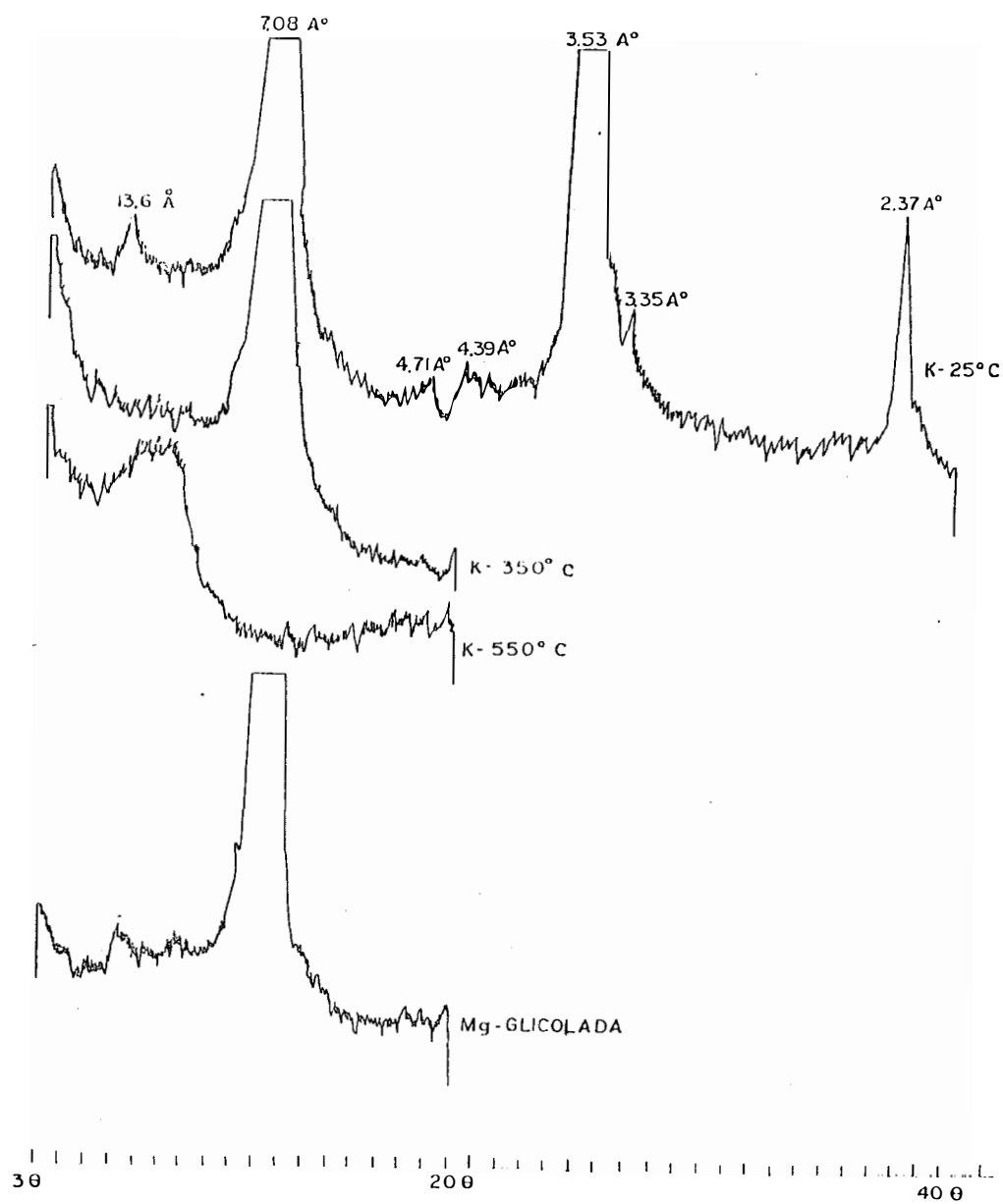


Figura 1 - Difratoogramas de raio-X da fração argila da amostra O1 (Latossolo).

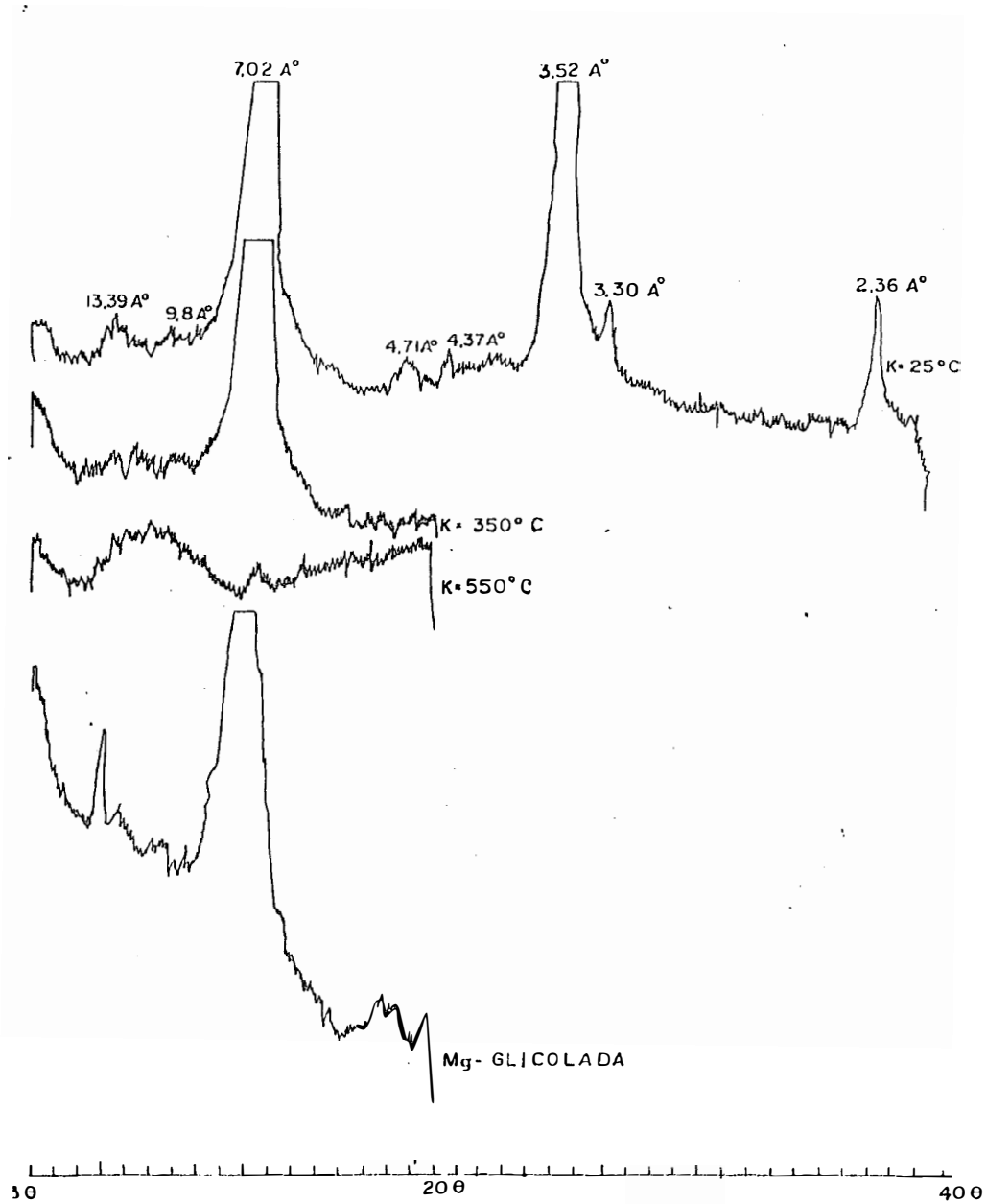


Figura 2 - Difratoogramas de raio-X da fração argila da amostra 02 (Solo Podzolizado).

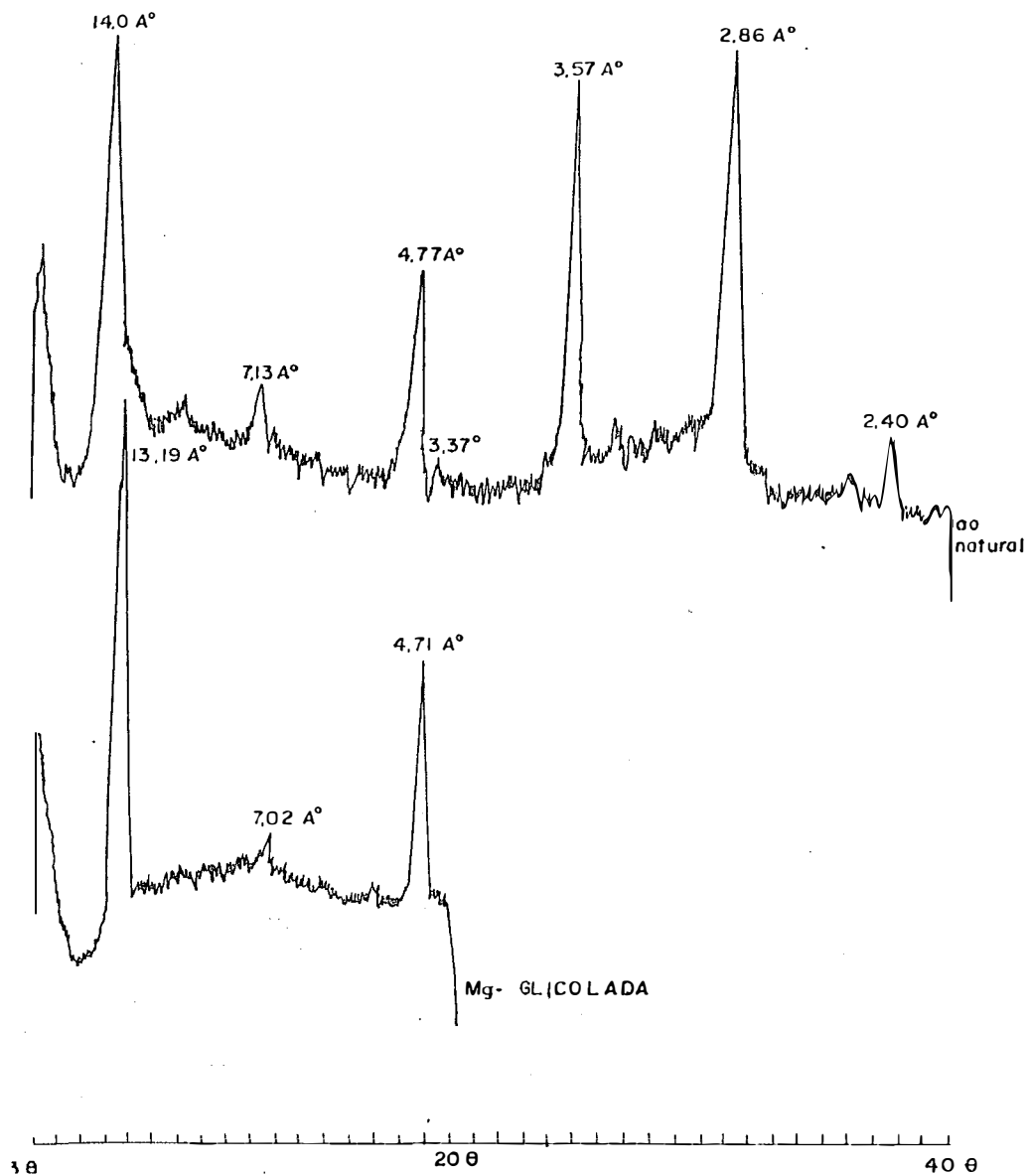


Figura 3 - Difratoogramas de raio-X da fração argila da vermiculita.

não receberam fósforo e potássio, adicionaram-se 2 ml de água destilada para umedecê-las. Foi empregado o delineamento experimental inteiramente casualizado com 4 repetições.

Os frascos foram tapados a fim de evitar a evaporação e conservar as amostras úmidas. As amostras foram incubadas por um período de vinte dias, após o que foram submetidas à determinação dos teores de fósforo e potássio pelo método da resina, conforme descrito por RAIJ *et alii* (1987).

A retenção de potássio foi calculada através da fórmula, de acordo com BARBER (1979).

A = K em ug/ml aplicado ao solo

B = K trocável em ug/ml após a incubação

C = K em ug/ml originário do solo.

A retenção de fósforo foi calculada através da fórmula:

$$P \text{ retido} = A - (B - C) \quad (2)$$

A = P em ug/ml aplicado ao solo

B = P extraído pela resina em ug/ml obtido após incubação

C = P em ug/ml originário do solo.

3.3.2. Na presença de carbonato de cálcio

Para estudar o efeito da vermiculita expandida na retenção de fósforo e potássio na presença de carbonato de cálcio, usaram-se 30 ml de cada tratamento que foram colocados em recipientes de plásticos de 100 ml de capacidade e adicionou-se CaCO_3 p.a., baseado no método da

Tabela 6 - Tratamentos

Número da amostra	Solo e vermiculita		
01	Solo 01 + 0 % vermiculita +	0 ug P/ml +	0 ug K/ml
02	Solo 01 + 5 % vermiculita +	0 ug P/ml +	0 ug K/ml
03	Solo 01 + 10 % vermiculita +	0 ug P/ml +	0 ug K/ml
04	Solo 01 + 20 % vermiculita +	0 ug P/ml +	0 ug K/ml
05	Solo 01 + 0 % vermiculita +	50 ug P/ml +	0 ug K/ml
06	Solo 01 + 5 % vermiculita +	50 ug P/ml +	0 ug K/ml
07	Solo 01 + 10 % vermiculita +	50 ug P/ml +	0 ug K/ml
08	Solo 01 + 20 % vermiculita +	50 ug P/ml +	0 ug K/ml
09	Solo 01 + 0 % vermiculita +	100 ug P/ml +	0 ug K/ml
10	Solo 01 + 5 % vermiculita +	100 ug P/ml +	0 ug K/ml
11	Solo 01 + 10 % vermiculita +	100 ug P/ml +	0 ug K/ml
12	Solo 01 + 20 % vermiculita +	100 ug P/ml +	0 ug K/ml
13	Solo 01 + 0 % vermiculita +	0 ug P/ml +	50 ug K/ml
14	Solo 01 + 5 % vermiculita +	0 ug P/ml +	50 ug K/ml
15	Solo 01 + 10 % vermiculita +	0 ug P/ml +	50 ug K/ml
16	Solo 01 + 20 % vermiculita +	0 ug P/ml +	50 ug K/ml
17	Solo 01 + 0 % vermiculita +	0 ug P/ml +	100 ug K/ml
18	Solo 01 + 5 % vermiculita +	0 ug P/ml +	100 ug K/ml
19	Solo 01 + 10 % vermiculita +	0 ug P/ml +	100 ug K/ml
20	Solo 01 + 20 % vermiculita +	0 ug P/ml +	100 ug K/ml
21	Solo 01 + 0 % vermiculita +	50 ug P/ml +	50 ug K/ml

Continua

Tabela 6 - Continuação

Número da amostra	Solo e vermiculita
22	Solo 01 + 5 % vermiculita + 50 ug P/ml + 50 ug K/ml
23	Solo 01 + 10 % vermiculita + 50 ug P/ml + 50 ug K/ml
24	Solo 01 + 20 % vermiculita + 50 ug P/ml + 50 ug K/ml
25	Solo 01 + 0 % vermiculita + 100 ug P/ml + 50 ug K/ml
26	Solo 01 + 5 % vermiculita + 100 ug P/ml + 50 ug K/ml
27	Solo 01 + 10 % vermiculita + 100 ug P/ml + 50 ug K/ml
28	Solo 01 + 20 % vermiculita + 100 ug P/ml + 50 ug K/ml
29	Solo 01 + 0 % vermiculita + 50 ug P/ml + 100 ug K/ml
30	Solo 01 + 5 % vermiculita + 50 ug P/ml + 100 ug K/ml
31	Solo 01 + 10 % vermiculita + 50 ug P/ml + 100 ug K/ml
32	Solo 01 + 20 % vermiculita + 50 ug P/ml + 100 ug K/ml
33	Solo 01 + 0 % vermiculita + 100 ug P/ml + 100 ug K/ml
34	Solo 01 + 5 % vermiculita + 100 ug P/ml + 100 ug K/ml
35	Solo 01 + 10 % vermiculita + 100 ug P/ml + 100 ug K/ml
36	Solo 01 + 20 % vermiculita + 100 ug P/ml + 100 ug K/ml
37	Solo 02 + 0 % vermiculita + 0 ug P/ml + 0 ug K/ml
38	Solo 02 + 5 % vermiculita + 0 ug P/ml + 0 ug K/ml
39	Solo 02 + 10 % vermiculita + 0 ug P/ml + 0 ug K/ml
40	Solo 02 + 20 % vermiculita + 0 ug P/ml + 0 ug K/ml
41	Solo 02 + 0 % vermiculita + 50 ug P/ml + 0 ug K/ml
42	Solo 02 + 5 % vermiculita + 50 ug P/ml + 0 ug K/ml

Continuação

Tabela 6 - Continuação

Número da amostra	Solo e vermiculita
43	Solo 02 + 10 % vermiculita + 50 ug P/ml + 0 ug K/ml
44	Solo 02 + 20 % vermiculita + 50 ug P/ml + 0 ug K/ml
45	Solo 02 + 0 % vermiculita + 100 ug P/ml + 0 ug K/ml
46	Solo 02 + 5 % vermiculita + 100 ug P/ml + 0 ug K/ml
47	Solo 02 + 10 % vermiculita + 100 ug P/ml + 0 ug K/ml
48	Solo 02 + 20 % vermiculita + 100 ug P/ml + 0 ug K/ml
49	Solo 02 + 0 % vermiculita + 0 ug P/ml + 50 ug K/ml
50	Solo 02 + 5 % vermiculita + 0 ug P/ml + 50 ug K/ml
51	Solo 02 + 10 % vermiculita + 0 ug P/ml + 50 ug K/ml
52	Solo 02 + 20 % vermiculita + 0 ug P/ml + 50 ug K/ml
53	Solo 02 + 0 % vermiculita + 0 ug P/ml + 100 ug K/ml
54	Solo 02 + 5 % vermiculita + 0 ug P/ml + 100 ug K/ml
55	Solo 02 + 10 % vermiculita + 0 ug P/ml + 100 ug K/ml
56	Solo 02 + 20 % vermiculita + 0 ug P/ml + 100 ug K/ml
57	Solo 02 + 0 % vermiculita + 50 ug P/ml + 50 ug K/ml
58	Solo 02 + 5 % vermiculita + 50 ug P/ml + 50 ug K/ml
59	Solo 02 + 10 % vermiculita + 50 ug P/ml + 50 ug K/ml
60	Solo 02 + 20 % vermiculita + 50 ug P/ml + 50 ug K/ml
61	Solo 02 + 0 % vermiculita + 100 ug P/ml + 50 ug K/ml
62	Solo 02 + 5 % vermiculita + 100 ug P/ml + 50 ug K/ml

Continua

Tabela 6 - Continuação

Número da amostra	Solo e vermiculita
63	Solo 02 + 10 % vermiculita + 100 ug P/ml + 50 ug K/ml
64	Solo 02 + 20 % vermiculita + 100 ug P/ml + 50 ug K/ml
65	Solo 02 + 0 % vermiculita + 50 ug P/ml + 100 ug K/ml
66	Solo 02 + 5 % vermiculita + 50 ug P/ml + 100 ug K/ml
67	Solo 02 + 10 % vermiculita + 50 ug P/ml + 100 ug K/ml
68	Solo 02 + 20 % vermiculita + 50 ug P/ml + 100 ug K/ml
69	Solo 02 + 0 % vermiculita + 100 ug P/ml + 100 ug K/ml
70	Solo 02 + 5 % vermiculita + 100 ug P/ml + 100 ug K/ml
71	Solo 02 + 10 % vermiculita + 100 ug P/ml + 100 ug K/ml
72	Solo 02 + 20 % vermiculita + 100 ug P/ml + 100 ug K/ml

saturação em bases (RAIJ & QUARQID, 1983), em quantidades suficientes para atingir o índice de 75% e 105%. Em seguida adicionou-se fósforo e potássio na dose de 50 ou 100 ug/ml, de acordo com os tratamentos apresentados na Tabela 6. As amostras foram umedecidas com água destilada, tapadas para evitar a evaporação e incubadas por um período de 20 dias, sendo o delineamento experimental inteiramente casualizado com 4 repetições. Após esse período realizou-se a análise química das amostras. Determinou-se o fósforo e o potássio pelo método da resina, segundo RAIJ *et alii* (1987); e calculou-se o fósforo e potássio retido, conforme as fórmulas (1) e (2).

3.4. Efeito da adição de vermiculita na produção de matéria seca e na absorção de nutrientes pelo painço

Foi conduzido um ensaio em casa de vegetação para estudar o efeito da vermiculita expandida e de três doses de fósforo e potássio (0, 50 e 100 ug/ml) no desenvolvimento e absorção de nutrientes pelo painço (*Panicum miliaceum*).

Foram utilizados vasos com capacidade de 1.000 ml, com furo na base para permitir a drenagem, cilíndricos, onde colocaram-se 1000 g de cada tratamento e adicionaram-se 50 ou 100 ug P/ml e 50 ou 100 ug K/ml, de acordo com a Tabela 6, provenientes do superfosfato simples e cloreto de potássio respectivamente. Em cada vaso além do fósforo e potássio adicionou-se 50 ug N/ml no plantio e aos 15 e 30 dias após o plantio, proveniente da uréia.

Em cada vaso foi adicionado 100 ml de água destilada e semeado sementes de painço (*Panicum miliaceum*) como planta indicadora da extração de nutrientes, sendo que após a germinação cada vaso permaneceu com 20 plantas.

Foi empregado no ensaio o delineamento experimental inteiramente casualizados, com 36 tratamentos e 4 repetições, para cada solo.

As plantas foram colhidas no início da formação das espigas, com 40 dias, lavadas com água destilada e secas em estufa a 70°C, até peso constante. Em seguida, foram determinadas a produção de matéria seca e a extração de nutrientes, por meio de análise química, segundo a metodologia descrita por MALAVOLTA *et alii* (1989). Para o nitrogênio fez-se a digestão sulfúrica. Para os demais nutrientes empregou-se o extrato nítrico-perclórico. Em seguida realizou-se as determinações, sendo que o fósforo foi determinado no colorímetro e os demais nutrientes através de absorção atômica, na ESALQ-USP.

3.5. Análise estatística

Nos dados obtidos em cada experimento realizaram-se as análises estatísticas de variância e regressão, utilizando-se do programa pelo SANEST II.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Fósforo

4.1.1. Efeito da adição de vermiculita expandida na retenção de fósforo na ausência de carbonato de cálcio

As médias das quantidades do fósforo retido pelas amostras, expressas em ug/ml e suas respectivas porcentagens, encontram-se nas Tabelas 7 e 8.

A análise de variância apresentada no apêndice 1 revelou um efeito significativo da vermiculita na diminuição da retenção e dos níveis de fósforo e potássio na retenção. Nos dois solos estudados observa-se um efeito significativo das interações vermiculita-potássio, fósforo-potássio na retenção.

Evidencia-se um decréscimo na capacidade de retenção de fósforo pelas amostras dos dois solos, quando o teor de vermiculita expandida aumentou de 0 para 20% em relação ao volume dos solos. Observa-se que o fósforo retido diminuiu

em valores absolutos (ug/ml) e em valores relativos (% retido).

As ilustrações gráficas da retenção de fósforo pelo Latossolo e o solo Podzolizado são mostradas pelas figuras 4 e 5, sendo as equações de regressão com altos valores para r . Observa-se um decréscimo na retenção de fósforo em todas as interações. No Latossolo a máxima retenção ocorre com os níveis de P_{100} na presença de K_{50} e no Podzolizado observa-se a máxima retenção com P_{100} na presença de K_{50} e K_{100} .

A retenção de fósforo no solo é um fenômeno que tem sido observado e estudado por diversos autores, e está relacionada com diversos constituintes do solo, como minerais de argila, reação do solo, outros cátions.

Neste experimento não se verificou efeito positivo da vermiculita expandida na retenção do fósforo. Isto contraria as conclusões obtidas por NELLER & COMAR (1947) e PERKINS & KING (1943) que verificaram uma afinidade entre o conteúdo de argila e a sorção de fosfatos.

RAMULU *et alii* (1967) verificaram a alta capacidade da caulinita para reter o fósforo quando comparada com a vermiculita.

A capacidade de fixação de fósforo num solo, de acordo com MELLO (1970) não depende somente do teor de argila, mas também da qualidade da mesma. Neste experimento a argila utilizada foi a vermiculita expandida e esta não foi eficiente na retenção do fosfato, inclusive causando uma menor retenção com o aumento no teor de vermiculita. Segundo os pesquisadores,

Tabela 7 - Resultados de retenção de fósforo e potássio obtidos da incubação do solo Latossolo em quantidades variáveis de vermiculita expandida, com três níveis de fósforos e potássio e vinte dias de incubação média de quatro repetições).

Tratamento	Retenção de fósforo		Retenção de potássio	
	ug P/ml retido	% P retido	ug K/ml retido	% K retido
01	V ₀ P ₀ K ₀	-	-	-
02	V ₅ P ₀ K ₀	-	-	-
03	V ₁₀ P ₀ K ₀	-	-	-
04	V ₂₀ P ₀ K ₀	-	-	-
05	V ₀ P ₅₀ K ₀	23,50	47,00	-
06	V ₅ P ₅₀ K ₀	21,50	43,00	-
07	V ₁₀ P ₅₀ K ₀	21,25	42,50	-
08	V ₂₀ P ₅₀ K ₀	19,50	39,00	-
09	V ₀ P ₁₀₀ K ₀	44,00	44,00	-
10	V ₅ P ₁₀₀ K ₀	38,00	38,00	-
11	V ₁₀ P ₁₀₀ K ₀	38,50	38,50	-
12	V ₂₀ P ₁₀₀ K ₀	34,75	34,75	-
13	V ₀ P ₀ K ₅₀	-	-	8,95
14	V ₅ P ₀ K ₅₀	-	-	14,61
15	V ₁₀ P ₀ K ₅₀	-	-	12,85
16	V ₂₀ P ₀ K ₅₀	-	-	5,04
17	V ₀ P ₀ K ₁₀₀	-	-	23,76
18	V ₅ P ₀ K ₁₀₀	-	-	18,86
19	V ₁₀ P ₀ K ₁₀₀	-	-	19,84
20	V ₂₀ P ₀ K ₁₀₀	-	-	19,84
21	V ₀ P ₅₀ K ₅₀	29,75	59,50	6,99
22	V ₅ P ₅₀ K ₅₀	28,50	57,00	6,01
23	V ₁₀ P ₅₀ K ₅₀	28,25	56,50	4,05
24	V ₂₀ P ₅₀ K ₅₀	27,00	54,00	6,01
25	V ₀ P ₁₀₀ K ₅₀	51,00	51,00	6,01
26	V ₅ P ₁₀₀ K ₅₀	51,00	51,00	4,05
27	V ₁₀ P ₁₀₀ K ₅₀	50,25	50,25	4,05
28	V ₂₀ P ₁₀₀ K ₅₀	49,50	49,50	4,05
29	V ₀ P ₅₀ K ₁₀₀	30,75	61,50	32,55
30	V ₅ P ₅₀ K ₁₀₀	22,00	44,00	18,86
31	V ₁₀ P ₅₀ K ₁₀₀	19,00	38,00	62,85
32	V ₂₀ P ₅₀ K ₁₀₀	19,50	39,00	57,96
33	V ₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	46,50	46,50	56,01
34	V ₅ P ₁₀₀ K ₁₀₀	38,75	38,75	55,03
35	V ₁₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	39,00	39,00	64,81
36	V ₂₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	36,00	36,00	63,63

(-) Não houve retenção

C.V. = 3,63 %

D.M.S. = 3,91 ug P/ml (Tukey 1%)

C.V. = 8,07 %

D.M.S. = 6,23 ug K/ml (Tukey 1%)

Tabela 8 - Resultados de retenção de fósforo e potássio obtidos da incubação do solo Podzolizado em quantidades variáveis de vermiculita expandida, com três níveis de fósforos e potássio e vinte dias de incubação (média de quatro repetições).

Tratamento	Retenção de fósforo		Retenção de potássio	
	ug P/ml retido	% P retido	ug K /ml retido	% K retido
37 V ₀ P ₀ K ₀	-	-	-	-
38 V ₅ P ₀ K ₀	-	-	-	-
39 V ₁₀ P ₀ K ₀	-	-	-	-
40 V ₂₀ P ₀ K ₀	-	-	-	-
41 V ₀ P ₅₀ K ₀	23,25	46,50	-	-
42 V ₅ P ₅₀ K ₀	20,25	40,50	-	-
43 V ₁₀ P ₅₀ K ₀	19,75	39,50	-	-
44 V ₂₀ P ₅₀ K ₀	17,25	34,50	-	-
45 V ₀ P ₁₀₀ K ₀	34,25	34,25	-	-
46 V ₅ P ₁₀₀ K ₀	30,52	30,25	-	-
47 V ₁₀ P ₁₀₀ K ₀	30,00	30,00	-	-
48 V ₂₀ P ₁₀₀ K ₀	28,00	28,00	-	-
49 V ₀ P ₀ K ₅₀	-	-	17,74	35,48
50 V ₅ P ₀ K ₅₀	-	-	6,01	12,02
51 V ₁₀ P ₀ K ₅₀	-	-	6,99	13,98
52 V ₂₀ P ₀ K ₅₀	-	-	4,05	8,10
53 V ₀ P ₀ K ₁₀₀	-	-	19,84	19,84
54 V ₅ P ₀ K ₁₀₀	-	-	7,14	7,14
55 V ₁₀ P ₀ K ₁₀₀	-	-	10,07	10,07
56 V ₂₀ P ₀ K ₁₀₀	-	-	2,25	2,25
57 V ₀ P ₅₀ K ₅₀	21,50	43,00	6,99	13,98
58 V ₅ P ₅₀ K ₅₀	21,25	42,50	6,01	12,02
59 V ₁₀ P ₅₀ K ₅₀	18,00	36,00	6,01	12,02
60 V ₂₀ P ₅₀ K ₅₀	17,50	35,00	2,31	4,62
61 V ₀ P ₁₀₀ K ₅₀	39,50	39,50	34,36	68,72
62 V ₅ P ₁₀₀ K ₅₀	39,50	39,50	35,54	71,08
63 V ₁₀ P ₁₀₀ K ₅₀	37,50	37,50	35,54	71,08
64 V ₂₀ P ₁₀₀ K ₅₀	35,00	35,00	34,56	69,12
65 V ₀ P ₅₀ K ₁₀₀	30,00	60,00	57,96	57,96
66 V ₅ P ₅₀ K ₁₀₀	26,25	52,50	49,17	49,17
67 V ₁₀ P ₅₀ K ₁₀₀	27,25	54,50	50,15	50,15
68 V ₂₀ P ₅₀ K ₁₀₀	26,25	52,50	37,44	37,44
69 V ₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	38,75	38,75	50,15	50,15
70 V ₅ P ₁₀₀ K ₁₀₀	38,25	38,25	49,17	49,17
71 V ₁₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	39,00	39,00	49,17	49,17
72 V ₂₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	36,50	36,50	35,48	35,48

(-) Não houve retenção

C.V. = 3,62 %

D.M.S. = 3,37 ug P/ml (Tukey 1%)

C.V. = 8,65 %

D.M.S. = 7,02 ug K/ml (Tukey 1%)

a adsorção de fósforo esta muito relacionada com a natureza mineralógica da fração argila, sendo que os minerais do tipo 1:1 são mais eficientes na capacidade de retenção do fósforo que os do tipo 2:1. Isto explica porque no presente trabalho a vermiculita expandida (mineral do tipo 2:1) não proporcionou um aumento na retenção de fósforo.

4.1.2. Efeito da adição de fosfato aplicado na retenção de fósforo na ausência de carbonato de cálcio.

Os resultados contidos nas tabelas 7 e 8, mostram que com o acréscimo das doses de fósforo adicionado, a retenção aumenta em valores absolutos (ug/ml) mas, diminui em valores relativos (% de P retido), e que existem diferenças significativas entre os níveis P₅₀ e P₁₀₀, em ambos os solos.

Ao se estudar o efeito das doses de fósforo aplicadas, a análise estatística foi altamente significativa, indicando sua influência na retenção em ambos os solos.

A observação das figuras 4 e 5, referentes ao P retido (ug/ml), pelas amostras em função dos teores de vermiculita expandida e com doses de 50 ou 100 ug P/ml e 50 ou 100 ug K/ml, permite inferir que o aumento nos níveis de fósforo aumentou significativamente a retenção de fósforo em ambos os solos.

Os resultados observados neste trabalho coincidem com aqueles obtidos por VOLK & McLEAN (1963) e SOLIS (1981).

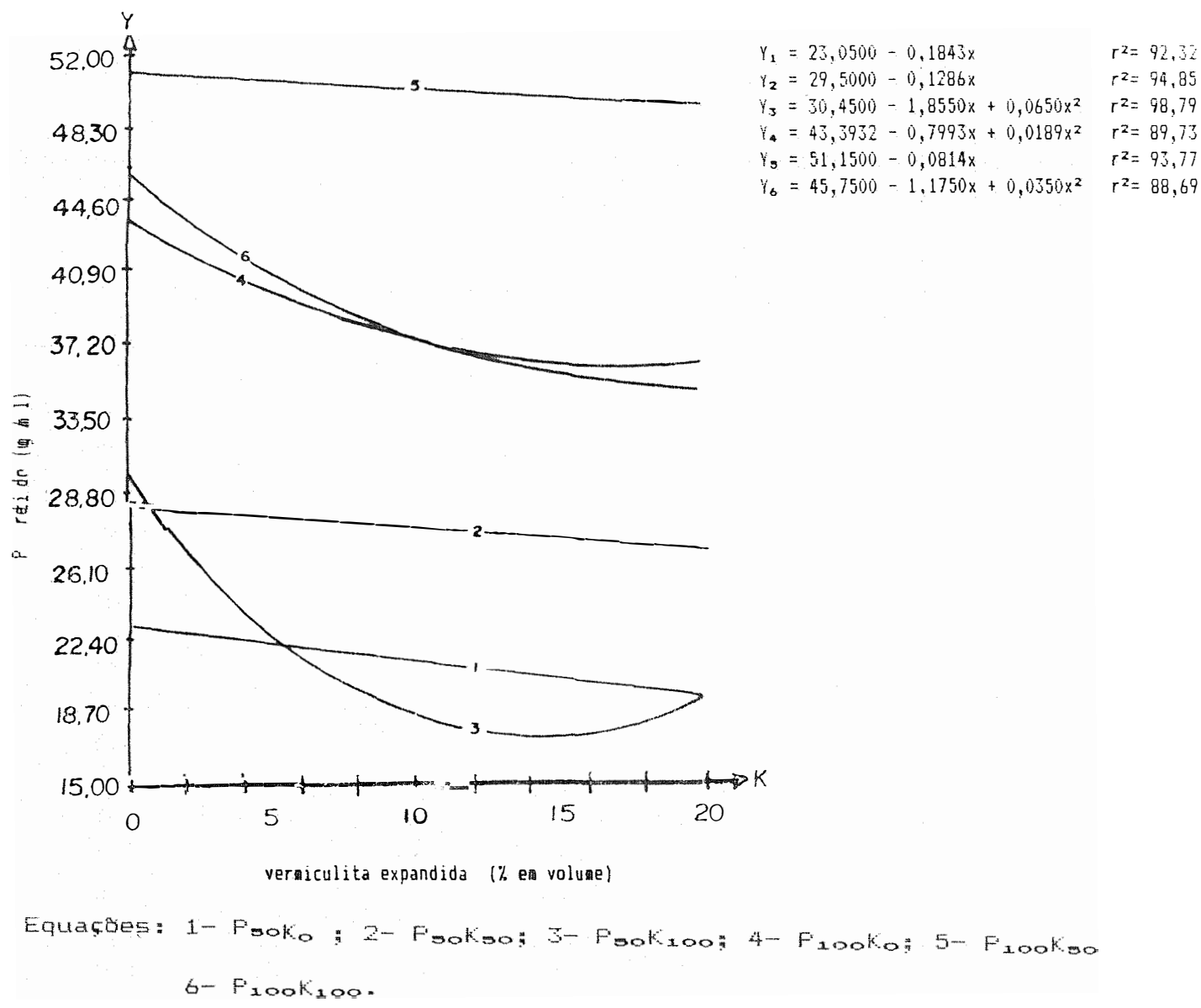
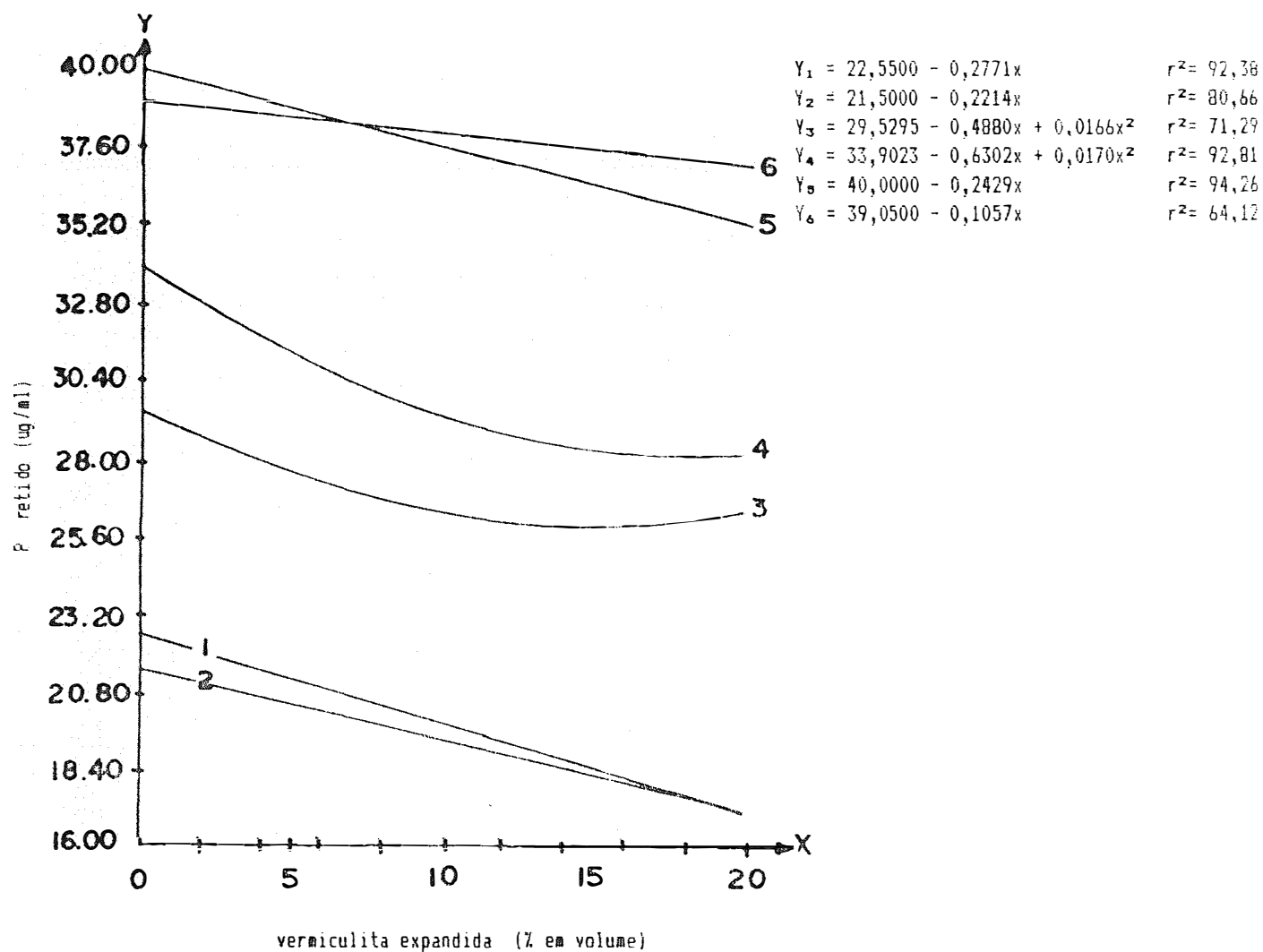


FIGURA 4 - Curvas de retenção de fósforo para o Latossolo, com doses crescentes de vermiculita expandida (dois níveis de fósforo e três de potássio).



Equações: 1- P₅₀K₀; 2- P₅₀K₅₀; 3- P₅₀K₁₀₀; 4- P₁₀₀K₀; 5- P₁₀₀K₅₀
6- P₁₀₀K₁₀₀.

FIGURA 5 - Curvas de retenção de fósforo para o solo Podzolizado com doses crescentes de vermiculita expandida (dois de fósforo e três de potássio).

Ambos verificaram um aumento na retenção do fósforo com um aumento nos níveis do elemento.

4.1.3. Efeito da adição de vermiculita expandida na retenção de fósforo na presença de carbonato de cálcio

As médias das quantidades de fósforo retidas pelas amostras incubadas com CaCO_3 p.a. para atingir a saturação em bases de 75 e 105%, expressas em $\mu\text{g/ml}$ e suas respectivas porcentagens, acham-se nas tabelas 9 e 10.

Os resultados apresentados mostram um decréscimo na fixação de fósforo pelas amostras dos solos, quando o teor de vermiculita aumentou de 0% para 20%.

A análise de variância apresentada no apêndice 3, revelou um efeito significativo da vermiculita, dos níveis de fósforo e potássio e da saturação em bases, na retenção de fósforo em ambos os solos. Observa-se o efeito significativo das interações vermiculita-fósforo, vermiculita-V%, fósforo-potássio e potássio-V%, mas a interação vermiculita-potássio não foi significativa para o Latossolo e no Podzolizado a interação V%-fósforo-potássio não foi significativa.

Para as doses de fósforo utilizadas (0, 50 e 100 $\mu\text{g/ml}$) existem diferenças significativas entre as médias, sendo que a retenção de fósforo foi maior para a dose de 100 $\mu\text{g F/ml}$.

O efeito da reação do solo na retenção de fósforo tem sido muito discutido, sendo a retenção maior nas faixas extremas de acidez ou alcalinidade.

COLE *et alii* (1953), verificaram uma rápida adsorção de fosfato para baixas concentração do elemento, na superfície do carbonato de cálcio e, para um alta concentração de fosfato ocorreu a precipitação como CaHPO_4 ou um produto similar.

As figuras 6, 7, 8 e 9, representando a retenção de fósforo em ug/ml pelos solos, com adição de CaCO_3 p.a., para atingir saturação em bases de 75 e 105%, ilustram o efeito do nível de 100 ug P/ml na retenção. Para o Latossolo, com V% de 75, a retenção foi maior na ausência de potássio e para a saturação em bases 105% foi maior na presença de 50 ug K/ml. Para o Podzolizado a máxima retenção ocorre com o nível 100 ug P/ml na presença de potássio, embora que para a saturação de 105% na presença de doses baixas de vermiculita expandida a retenção também foi significativa na ausência de potássio.

Através dos dados obtidos por Lindsay e Moreno (1960), citados por AMARASIRI & OLSEN (1973), verifica-se um aumento na concentração de fósforo após a calagem em solos ácidos, pois, segundo os autores, a variscita e a strengita estão presentes nestes solos, e a calagem hidroliza estes compostos e libera íons fosfatos na solução do solo.

Os solos usados neste experimento são ácidos, principalmente o Latossolo, com presença de alumínio e com a caulinita, vermiculita/clorita, gibsitita e mica predominando na

Tabela 9 - Resultados de retenção de fósforo obtidos da incubação do Latossolo e carbonato de cálcio para atingir saturação em bases de 75% e 105% em quantidades variáveis de vermiculita expandida, com três níveis de fósforo e 20 dias de incubação (média de quatro repetições).

Tratamento	Saturação em bases = 75%		Saturação em bases = 105%	
	ug P/ml retido	% P retido	ug P/ml retido	% P retido
01 V ₀ P ₀ K ₀	-	-	-	-
02 V ₅ P ₀ K ₀	-	-	-	-
03 V ₁₀ P ₀ K ₀	-	-	-	-
04 V ₂₀ P ₀ K ₀	-	-	-	-
05 V ₀ P ₅₀ K ₀	24,75	49,50	22,75	45,40
06 V ₅ P ₅₀ K ₀	23,25	46,50	22,75	45,50
07 V ₁₀ P ₅₀ K ₀	22,25	44,50	21,50	43,00
08 V ₂₀ P ₅₀ K ₀	20,25	40,50	19,75	39,50
09 V ₀ P ₁₀₀ K ₀	46,25	46,25	51,25	51,25
10 V ₅ P ₁₀₀ K ₀	43,25	43,25	41,75	41,75
11 V ₁₀ P ₁₀₀ K ₀	38,50	38,50	39,25	39,25
12 V ₂₀ P ₁₀₀ K ₀	37,25	37,25	30,50	30,50
13 V ₀ P ₀ K ₅₀	-	-	-	-
14 V ₅ P ₀ K ₅₀	-	-	-	-
15 V ₁₀ P ₀ K ₅₀	-	-	-	-
16 V ₂₀ P ₀ K ₅₀	-	-	-	-
17 V ₀ P ₀ K ₁₀₀	-	-	-	-
18 V ₅ P ₀ K ₁₀₀	-	-	-	-
19 V ₁₀ P ₀ K ₁₀₀	-	-	-	-
20 V ₂₀ P ₀ K ₁₀₀	-	-	-	-
21 V ₀ P ₅₀ K ₅₀	31,25	62,50	23,25	46,50
22 V ₅ P ₅₀ K ₅₀	26,50	57,00	19,75	39,50
23 V ₁₀ P ₅₀ K ₅₀	27,25	54,50	18,75	37,50
24 V ₂₀ P ₅₀ K ₅₀	24,50	49,00	18,00	36,00
25 V ₀ P ₁₀₀ K ₅₀	22,50	22,50	53,00	53,00
26 V ₅ P ₁₀₀ K ₅₀	26,50	28,50	46,00	46,00
27 V ₁₀ P ₁₀₀ K ₅₀	25,75	25,75	40,75	40,75
28 V ₂₀ P ₁₀₀ K ₅₀	21,00	21,00	37,25	37,25
29 V ₀ P ₅₀ K ₁₀₀	30,00	60,00	26,50	26,50
30 V ₅ P ₅₀ K ₁₀₀	29,25	59,00	26,75	53,50
31 V ₁₀ P ₅₀ K ₁₀₀	27,00	54,00	25,00	50,00
32 V ₂₀ P ₅₀ K ₁₀₀	26,00	52,00	25,00	50,00
33 V ₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	30,25	30,25	44,75	44,75
34 V ₅ P ₁₀₀ K ₁₀₀	30,50	30,50	31,25	31,25
35 V ₁₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	28,75	28,75	23,25	23,25
36 V ₂₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	22,50	22,50	19,25	19,25

(-) Não houve retenção

C.V. = 8,86 %

D.M.S. = 8,02 ug P/ml (Tukey 1%)

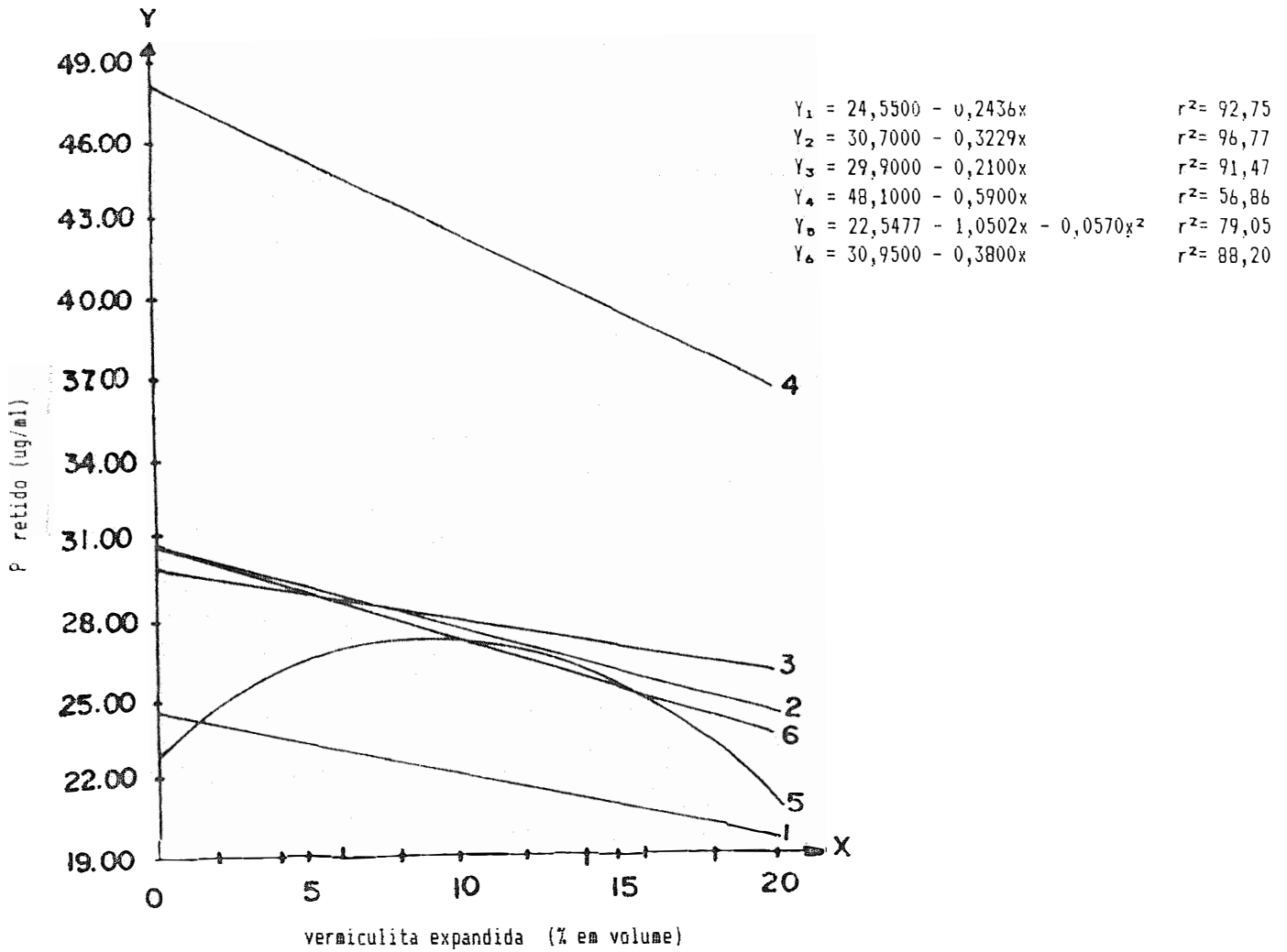
Tabela 10 - Resultados de retenção de fósforo obtidos da incubação do solo Podzolizado e carbonato de cálcio para atingir saturação em bases de 75% e 105% em quantidades variáveis de vermiculita expandida, com três níveis de fósforo e 20 dias de incubação (média de quatro repetições).

Tratamento	Saturação em bases = 75%		Saturação em bases = 105%		
	ug P/ml retido	% P retido	ug P/ml retido	% P retido	
37	V ₀ P ₀ K ₀	-	-	-	
38	V ₅ P ₀ K ₀	-	-	-	
39	V ₁₀ P ₀ K ₀	-	-	-	
40	V ₂₀ P ₀ K ₀	-	-	-	
41	V ₀ P ₅₀ K ₀	18,00	36,00	23,75	47,50
42	V ₅ P ₅₀ K ₀	19,00	38,00	23,50	47,00
43	V ₁₀ P ₅₀ K ₀	14,50	29,00	22,25	44,50
44	V ₂₀ P ₅₀ K ₀	10,75	21,50	18,00	36,00
45	V ₀ P ₁₀₀ K ₀	37,25	37,25	46,00	46,00
46	V ₅ P ₁₀₀ K ₀	30,75	30,75	41,50	41,50
47	V ₁₀ P ₁₀₀ K ₀	30,00	30,00	41,50	41,50
48	V ₂₀ P ₁₀₀ K ₀	28,00	28,00	40,50	40,50
49	V ₀ P ₀ K ₅₀	-	-	-	-
50	V ₅ P ₀ K ₅₀	-	-	-	-
51	V ₁₀ P ₀ K ₅₀	-	-	-	-
52	V ₂₀ P ₀ K ₅₀	-	-	-	-
53	V ₀ P ₀ K ₁₀₀	-	-	-	-
54	V ₅ P ₀ K ₁₀₀	-	-	-	-
55	V ₁₀ P ₀ K ₁₀₀	-	-	-	-
56	V ₂₀ P ₀ K ₁₀₀	-	-	-	-
57	V ₀ P ₅₀ K ₅₀	19,25	38,50	17,50	35,00
58	V ₅ P ₅₀ K ₅₀	20,00	40,00	13,25	26,50
59	V ₁₀ P ₅₀ K ₅₀	17,50	35,00	10,75	21,50
60	V ₂₀ P ₅₀ K ₅₀	16,25	32,50	10,75	21,50
61	V ₀ P ₁₀₀ K ₅₀	43,75	43,75	46,25	46,25
62	V ₅ P ₁₀₀ K ₅₀	43,50	43,50	39,25	39,25
63	V ₁₀ P ₁₀₀ K ₅₀	41,25	41,25	37,75	37,75
64	V ₂₀ P ₁₀₀ K ₅₀	40,75	40,75	37,50	37,50
65	V ₀ P ₅₀ K ₁₀₀	20,00	40,00	31,25	62,50
66	V ₅ P ₅₀ K ₁₀₀	21,00	42,00	17,50	35,00
67	V ₁₀ P ₅₀ K ₁₀₀	19,25	38,50	15,50	31,00
68	V ₂₀ P ₅₀ K ₁₀₀	16,50	33,00	11,00	22,00
69	V ₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	40,00	40,00	45,50	45,50
70	V ₅ P ₁₀₀ K ₁₀₀	39,25	39,25	44,25	44,25
71	V ₁₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	38,25	38,25	42,25	42,25
72	V ₂₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	37,00	37,00	39,25	39,25

(-) Não houve retenção

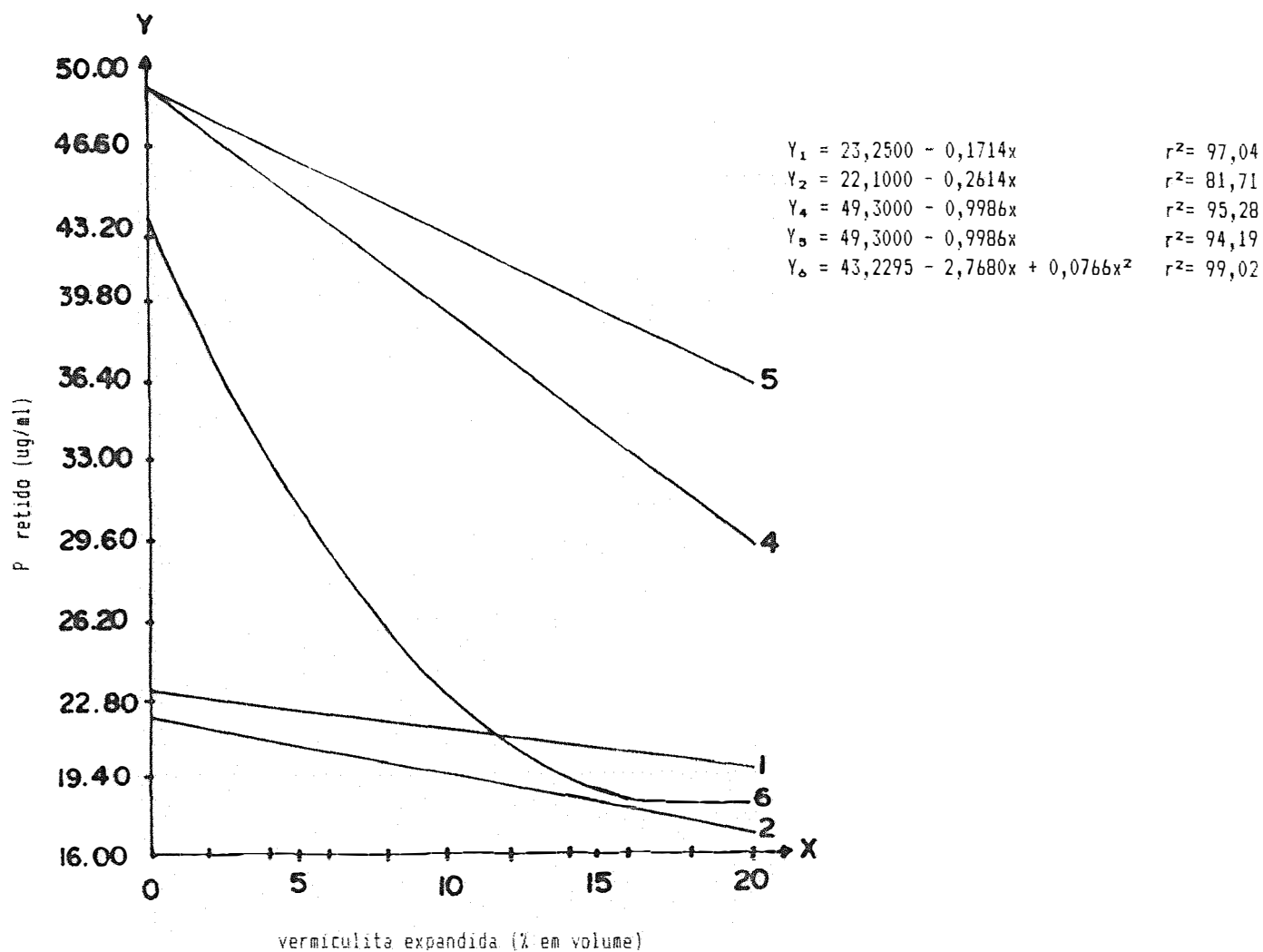
C.V. = 5,81 %

D.M.S. = 5,14 ug/ml (Tukey 1%)



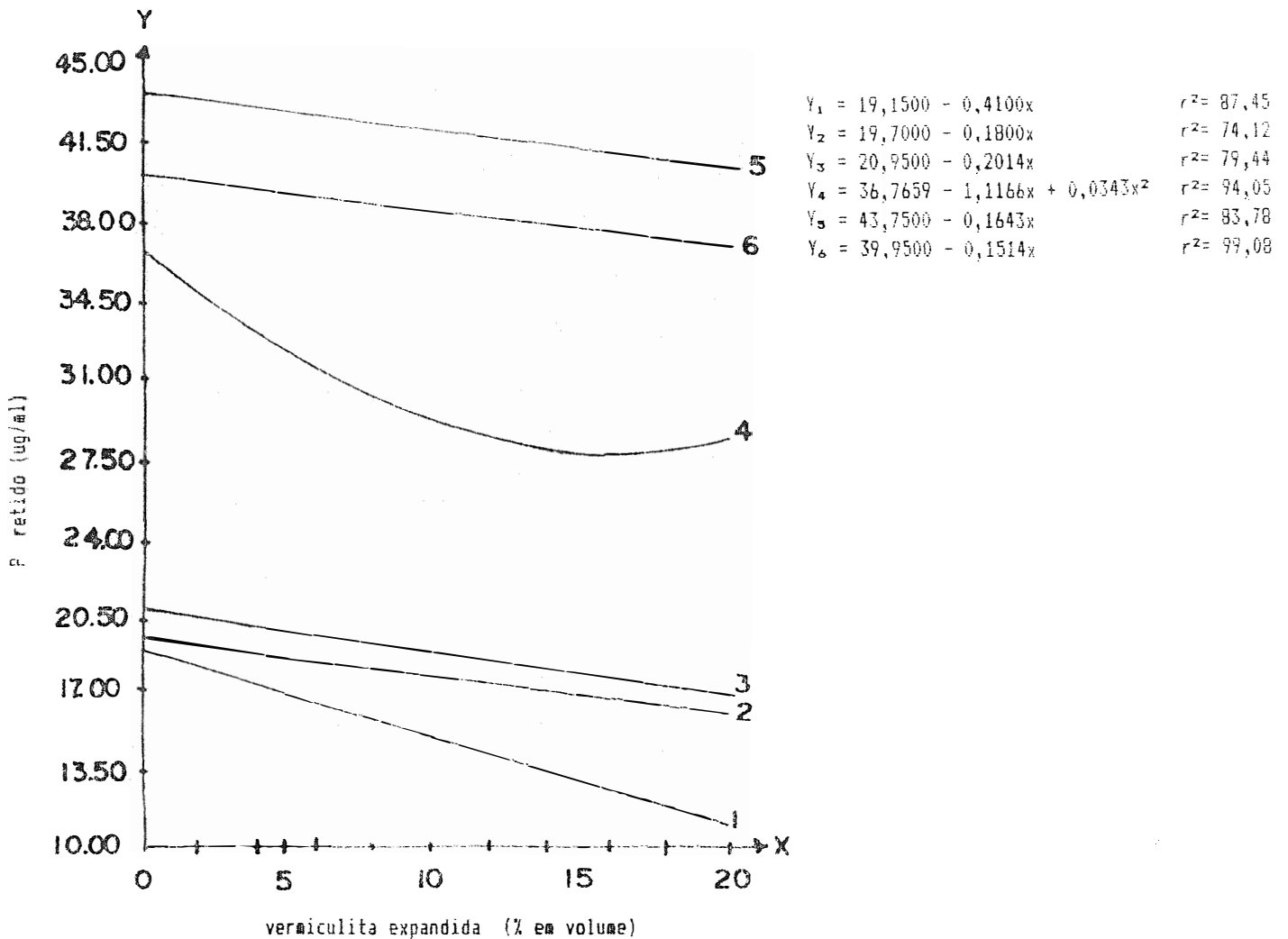
Equações: 1- P₅₀K₀ ; 2- P₅₀K₅₀; 3- P₅₀K₁₀₀; 4- P₁₀₀K₀; 5- P₁₀₀K₅₀
 6- P₁₀₀K₁₀₀.

FIGURA 6 - Curvas de retenção de fósforo para o Latossolo incubado com CaCO₃ para atingir saturação em bases de 75% com doses crescentes de vermiculita expandida (dois níveis de fósforo e três de potássio).



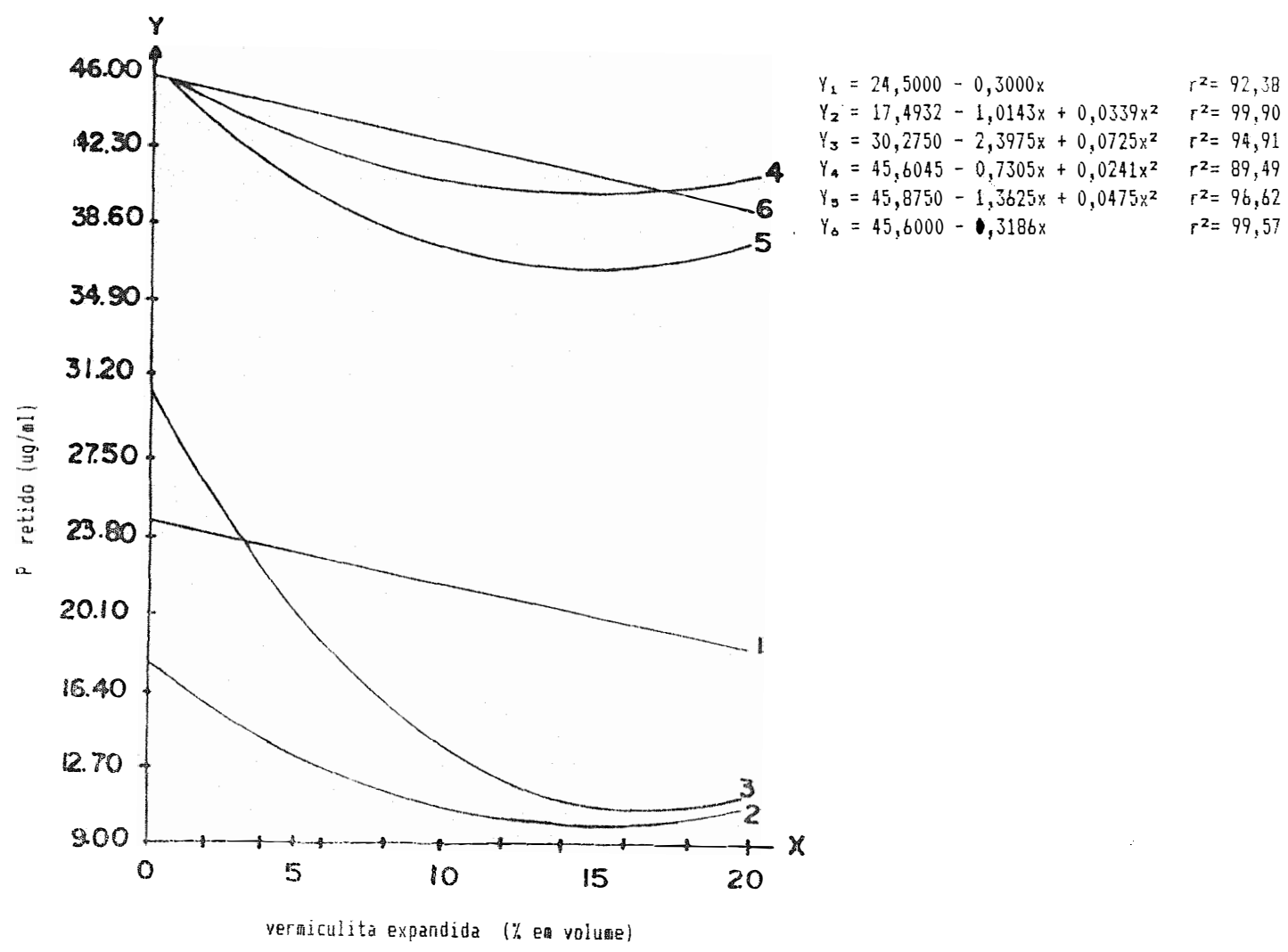
Equações: 1- P₅₀K₀; 2- P₅₀K₅₀; 3- P₅₀K₁₀₀; 4- P₁₀₀K₀;
 5- P₁₀₀K₅₀; 6- P₁₀₀K₁₀₀.

FIGURA 7 - Curvas de retenção de fósforo, para o Latossolo incubado com CaCO₃ para atingir saturação em bases de 105%, com doses crescentes de vermiculita expandida (dois níveis de fósforo e três de potássio).



Equações: 1- P₅₀K₀; 2- P₅₀K₅₀; 3- P₅₀K₁₀₀; 4- P₁₀₀K₀; 5- P₁₀₀K₅₀
6- P₁₀₀K₁₀₀.

FIGURA 8 - Curvas de retenção de fósforo para o solo Podzolizado incubado com CaCO₃ para atingir saturação em bases de 75% com doses crescentes de vermiculita expandida (dois níveis de fósforo e três de potássio).



Equações: 1- P₅₀K₀; 2- P₅₀K₅₀; 3- P₅₀K₁₀₀; 4- P₁₀₀K₀; 5- P₁₀₀K₅₀
 6- P₁₀₀K₁₀₀.

FIGURA 9 - Curvas de retenção de fósforo para o solo Podzolizado incubado com CaCO₃ para atingir saturação em bases de 105% com doses crescentes de vermiculita expandida (dois níveis de fósforo e três de potássio).

fração argila. Supõem-se que a calagem e a adição de vermiculita expandida favoreceram a liberação de fosfatos retidos pelo alumínio e ferro.

Resultados semelhantes foram observados por ANDREW *et alii* (1965), que verificaram um efeito significativo da calagem na liberação de fosfatos nos solos estudados, devido a solubilização de fosfatos de ferro e alumínio.

TAYLOR & GURNEY (1965) notaram que em solos ácidos a adição de CaCO_3 aumentou a concentração de fósforo na solução e observaram uma maior extração de fósforo pela resina.

AMARISIRI & OLSEN (1973) sugeriram que em solos tratados com calcário a adsorção de fósforo por hidróxidos de ferro e alumínio recentemente formados parecem causar uma maior inativação do fósforo adicionado.

Em Latossolos sob vegetação de cerrado, o pH teve grande influência sobre a adsorção de fosfatos, sendo que houve um decréscimo na adsorção com a elevação do pH.

Estes dados na literatura comprovam que a calagem pode não conduzir um aumento na adsorção de fosfatos, seja pela solubilização de compostos fosfatados insolúveis de ferro e alumínio presentes em pH baixo, seja pela precipitação de alumínio e ferro, ficando então o fósforo na solução do solo. Resultados semelhantes foram obtidos por HALL & BAKER (1971), que verificaram uma menor fixação de fósforo pela vermiculita com um aumento do pH.

Em experimentos realizados em colunas, BOLAN *et alii* (1988), observaram que em solos incubados com NaOH, e com

pH na faixa de 8,2 houve uma diminuição na adsorção de fósforo, proporcionando maior lixiviação do fósforo.

4.2. Potássio

4.2.1. Efeito da adição de vermiculita expandida na retenção de potássio na ausência de carbonato de cálcio

As médias das quantidades de potássio retidas pelas amostras com teores variáveis de vermiculita expandida, expressas em $\mu\text{g/ml}$ e suas respectivas porcentagens, acham-se nas Tabelas 7 e 8.

A análise de variância, apresentada no apêndice 2, revelou um efeito altamente significativo da vermiculita na retenção de potássio, indicando sua influência no processo.

Os dados apresentados permitem verificar que com o aumento nos teores de vermiculita expandida houve redução significativa da retenção de potássio.

As ilustrações gráficas encontram-se nas figuras 10 e 11, onde observa-se que para o Latossolo o aumento na dose de vermiculita, na presença de F_{100} mais K_{100} e na presença de P_{50} mais K_{100} , proporciona um acréscimo na retenção de potássio. Para o Podzolizado nota-se um decréscimo na retenção com o aumento na dose de vermiculita em todas as interações. Para o Latossolo a equação 1 apresenta alto valor para r e para o Podzolizado todas as equações de regressão apresentam um elevado valor para r .

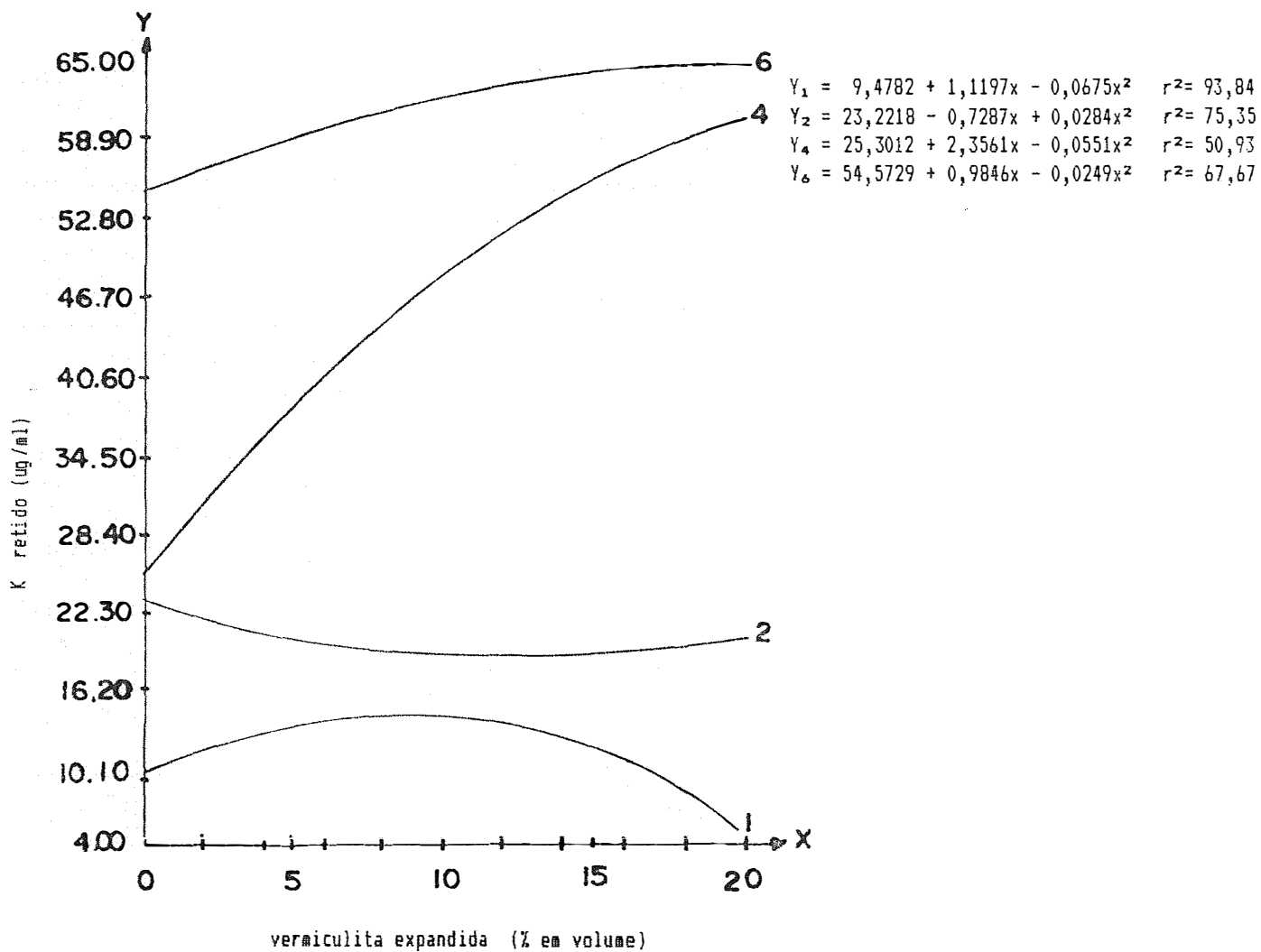
A fixação do potássio tem sido estudada para vários minerais de argila, inclusive a vermiculita, mas estudos com a vermiculita expandida são raros. DENNIS & ELLIS (1962), que estudaram a fixação de potássio pela vermiculita, para diferentes níveis de potássio, associaram a fixação pela vermiculita com alterações no espaçamento basal das camadas de vermiculita.

Para ocorrer a fixação de potássio é importante a presença de argila 2:1, pois é necessário segundo PAGE & BAVER (1940) haver a expansão e contração do mineral e, a fixação do potássio é possível dada a similaridade do raio do cátion não hidratado com o raio hexagonal das camadas tetraédricas dos minerais de argila 2:1.

Pelos dados da tabela 6, verifica-se que na fração argila dos solos predominam a caulinita, vermiculita/clorita, mica e gibsitita, e no Podzolizado ocorre também a vermiculita, mas talvez em quantidade que não seja suficiente para proporcionar um aumento significativo na retenção de potássio.

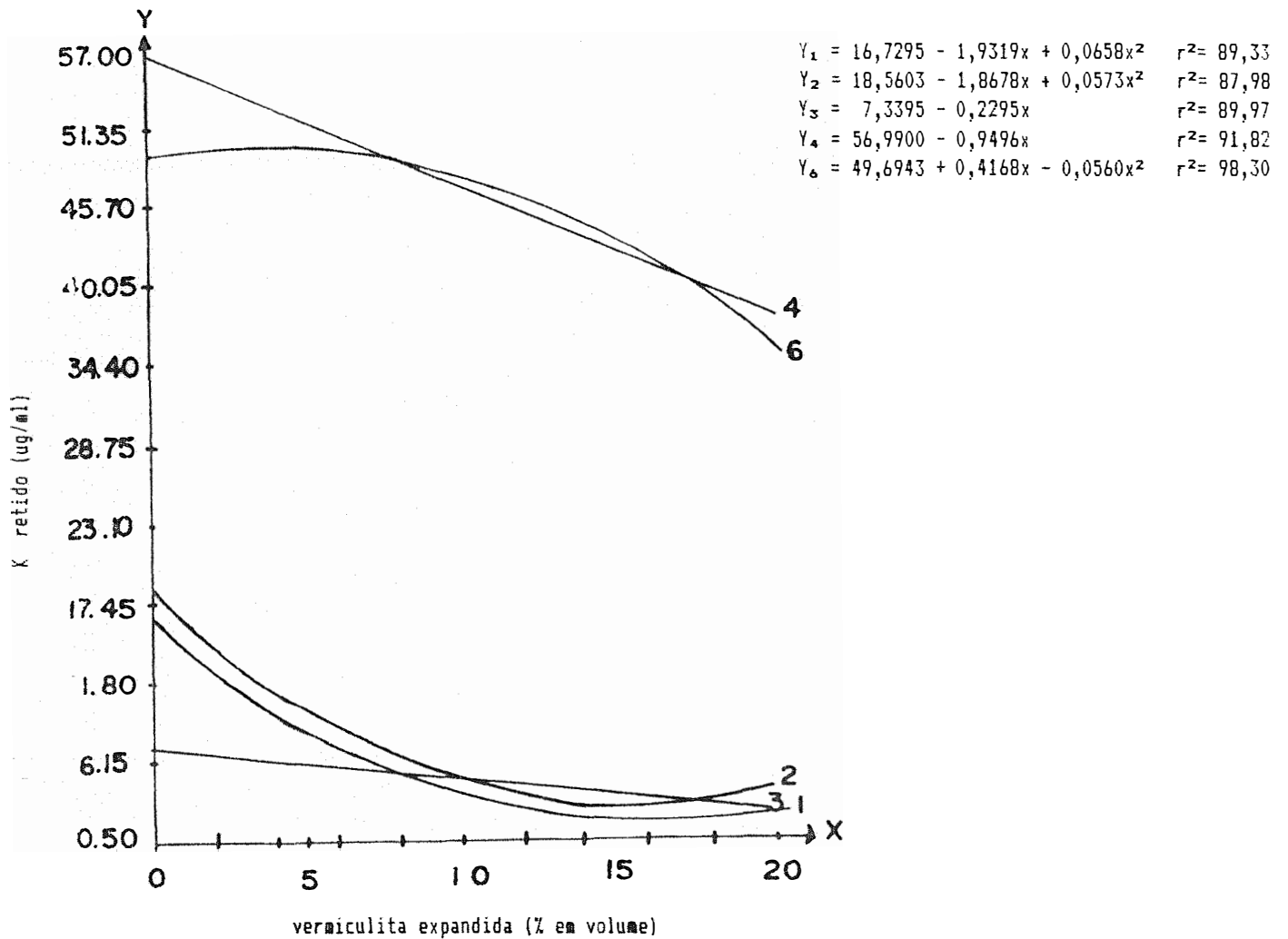
Os mecanismos nos solos, responsáveis pela retenção do potássio são complexos e o tipo e a quantidade de minerais de argila são importantes neste fenômeno.

Neste experimento utilizou-se a vermiculita expandida e esta após o processo de expansão perde sua propriedade de contração. Portanto, sendo necessário a propriedade de expansão e contração para que ocorra a fixação, verifica-se que a vermiculita expandida não é eficiente na fixação e, pelos dados obtidos nota-se que houve uma menor



Equações: 1- P₀K₅₀ ; 2- P₀K₁₀₀; 3- P₅₀K₅₀; 4- P₅₀K₁₀₀; 5- P₁₀₀K₅₀
 6- P₁₀₀K₁₀₀.

FIGURA 10 - Curvas de retenção de potássio para o Latossolo com doses crescentes de vermiculita expandida (três níveis de fósforo e dois de potássio).



Equações: 1- P₀K₅₀ ; 2- P₀K₁₀₀; 3- P₅₀K₅₀; 4- P₅₀K₁₀₀; 5- P₁₀₀K₅₀
 6- P₁₀₀K₁₀₀.

FIGURA 11- Curvas de retenção de potássio para o solo Podzolizado com doses crescentes de vermiculita expandida (três níveis de fósforo e dois de potássio).

fixação com o aumento no teor de vermiculita expandida. A retenção de potássio foi maior no Latossolo para a dose de 20% de vermiculita, na presença de P_{50} e P_{100} .

4.2.2. Efeito da adição de potássio na retenção de potássio na ausência de carbonato de cálcio

Os resultados deste trabalho, contidos nas Tabelas 7 e 8, mostram que com o acréscimo das doses de potássio adicionadas, a retenção aumentou, sendo que a máxima retenção, tanto em valores absolutos (ug/ml) quanto em valores relativos (% retido) foi obtido com o nível K_{100} na presença de P_{100} para o Latossolo. No solo Podzolizado, a retenção foi maior em valores absolutos (ug/ml) com a dose K_{100} na presença de P_{100} , mas em valores relativos (%) foi maior com a nível K_{50} na presença de P_{50} .

A análise de variância dos tratamentos apresentada no apêndice 2, revelou um efeito significativo dos níveis de potássio e dos níveis de fósforo na retenção de potássio em ambos os solos. As interações foram também significativas na retenção em ambos os solos.

As ilustrações gráficas da retenção de potássio em ug/ml acham-se nas figuras 10 e 11, onde observa-se que a máxima retenção no Latossolo foi obtida com K_{100} na presença de P_{100} e para o Podzolizado com o nível K_{100} na presença de P_{50} .

Os dados obtidos concordam com aqueles encontrados por COOK & HUTCHESON (1960), que notaram um efeito positivo da concentração de potássio na fixação.

SCOTT *et alii* (1957), consideraram ser necessário um alto nível de potássio troçável para que a fixação ocorra, e que baixos níveis de potássio estão relacionados com a liberação do elemento.

STEENKAMP *et alii* (1987), verificaram que quando uma pequena quantidade de potássio foi aplicada houve uma liberação de potássio troçável.

4.2.3. Efeito da adição de vermiculita expandida na retenção de potássio na presença de carbonato de cálcio.

As tabelas 11 e 12, apresentam as quantidades de potássio retidas pelas amostras com teores variáveis de vermiculita expandida, incubadas com CaCO_3 p.a., para atingir a saturação em bases de 75% e 105% expressas em ug/ml e suas respectivas porcentagens.

A análise de variância apresentada no apêndice 4, revelou um efeito significativo dos teores de vermiculita, dos níveis de fósforo e potássio aplicados e da saturação em bases na retenção e liberação de potássio. Todas as interações duplas tiveram um efeito significativo na retenção em ambos os solos.

Os resultados apresentados mostram que com o aumento da porcentagem de vermiculita de 0 para 20% e com a aplicação de CaCO_3 , houve um decréscimo na retenção de potássio, e com as doses maiores de vermiculita houve liberação do elemento, sendo a liberação maior com a saturação em bases de 105%, nos dois solos estudados.

Tabela 11 - Resultados de retenção de potássio obtidos da incubação do Latossolo e carbonato de cálcio para atingir saturação em bases de 75% e 105% em quantidades variáveis de vermiculita expandida, com três níveis de potássio e 20 dias de incubação (média de quatro repetições).

Tratamento	Saturação em bases = 75%		Saturação em bases = 105%	
	ug K/ml retido	% K retido	ug K/ml retido	% K retido
01 V ₀ P ₀ K ₀	-	-	-	-
02 V ₅ P ₀ K ₀	-	-	-	-
03 V ₁₀ P ₀ K ₀	-	-	-	-
04 V ₂₀ P ₀ K ₀	-	-	-	-
05 V ₀ P ₅₀ K ₀	-	-	-	-
06 V ₅ P ₅₀ K ₀	-	-	-	-
07 V ₁₀ P ₅₀ K ₀	-	-	-	-
08 V ₂₀ P ₅₀ K ₀	-	-	-	-
09 V ₀ P ₁₀₀ K ₀	-	-	-	-
10 V ₅ P ₁₀₀ K ₀	-	-	-	-
11 V ₁₀ P ₁₀₀ K ₀	-	-	-	-
12 V ₂₀ P ₁₀₀ K ₀	-	-	-	-
13 V ₀ P ₀ K ₅₀	11,08	22,16	7,64	7,70
14 V ₅ P ₀ K ₅₀	6,20	12,40	- 0,26	- 0,52
15 V ₁₀ P ₀ K ₅₀	- 1,62	- 3,24	- 1,24	- 2,48
16 V ₂₀ P ₀ K ₅₀	- 5,53	-11,06	- 9,08	-18,12
17 V ₀ P ₀ K ₁₀₀	20,03	20,03	14,54	14,54
18 V ₅ P ₀ K ₁₀₀	11,23	11,23	14,94	14,94
19 V ₁₀ P ₀ K ₁₀₀	5,41	5,41	10,65	10,65
20 V ₂₀ P ₀ K ₁₀₀	- 8,31	- 8,31	4,77	4,77
21 V ₀ P ₅₀ K ₅₀	9,13	18,26	5,43	5,86
22 V ₅ P ₅₀ K ₅₀	8,15	16,30	- 0,47	- 0,94
23 V ₁₀ P ₅₀ K ₅₀	4,24	8,48	- 4,17	- 8,34
24 V ₂₀ P ₅₀ K ₅₀	- 4,55	- 9,10	-15,90	-31,80
25 V ₀ P ₁₀₀ K ₅₀	9,13	18,26	- 3,19	- 6,38
26 V ₅ P ₁₀₀ K ₅₀	7,17	14,34	-12,97	-25,94
27 V ₁₀ P ₁₀₀ K ₅₀	- 1,62	- 3,24	-14,92	-29,84
28 V ₂₀ P ₁₀₀ K ₅₀	- 6,50	-13,00	-23,72	-47,44
29 V ₀ P ₅₀ K ₁₀₀	15,14	15,14	2,04	2,04
30 V ₅ P ₅₀ K ₁₀₀	13,19	13,19	- 4,02	- 4,02
31 V ₁₀ P ₅₀ K ₁₀₀	4,39	4,39	- 8,91	- 8,91
32 V ₂₀ P ₅₀ K ₁₀₀	-11,24	-11,24	-25,30	-25,30
33 V ₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	11,23	11,23	12,09	12,09
34 V ₅ P ₁₀₀ K ₁₀₀	4,39	4,39	7,70	7,70
35 V ₁₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	- 4,40	- 4,40	- 1,09	- 1,09
36 V ₂₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	- 9,29	- 9,29	- 4,02	- 4,02

(-) Não houve retenção

C.V. = 12,49 %

D.M.S. = 8,61 ug K/ml (Tukey 1%)

Tabela 12 - Resultados de retenção de potássio obtidos da incubação do solo Podzolizado e carbonato de cálcio para atingir saturação em bases de 75% e 105% em quantidades variáveis de vermiculita expandida, com três níveis de potássio e 20 dias de incubação (média de quatro repetições).

Tratamento	Saturação em bases = 75%		Saturação em bases = 105%		
	ug K/ml retido	% K retido	ug K/ml retido	% K retido	
37	V ₀ P ₀ K ₀	-	-	-	
38	V ₃ P ₀ K ₀	-	-	-	
39	V ₁₀ P ₀ K ₀	-	-	-	
40	V ₂₀ P ₀ K ₀	-	-	-	
41	V ₀ P ₃₀ K ₀	-	-	-	
42	V ₃ P ₃₀ K ₀	-	-	-	
43	V ₁₀ P ₃₀ K ₀	-	-	-	
44	V ₂₀ P ₃₀ K ₀	-	-	-	
45	V ₀ P ₁₀₀ K ₀	-	-	-	
46	V ₃ P ₁₀₀ K ₀	-	-	-	
47	V ₁₀ P ₁₀₀ K ₀	-	-	-	
48	V ₂₀ P ₁₀₀ K ₀	-	-	-	
49	V ₀ P ₀ K ₃₀	22,94	45,88	1,93	3,86
50	V ₃ P ₀ K ₃₀	17,08	34,16	- 0,99	- 1,98
51	V ₁₀ P ₀ K ₃₀	12,19	24,38	-12,72	-25,44
52	V ₂₀ P ₀ K ₃₀	3,39	6,78	-20,54	-41,08
53	V ₀ P ₀ K ₁₀₀	16,25	16,25	4,03	4,03
54	V ₃ P ₀ K ₁₀₀	11,36	11,36	- 1,82	- 1,82
55	V ₁₀ P ₀ K ₁₀₀	2,56	2,56	- 3,78	- 3,78
56	V ₂₀ P ₀ K ₁₀₀	- 9,16	- 9,16	- 6,71	- 6,71
57	V ₀ P ₃₀ K ₃₀	7,09	14,18	5,82	11,64
58	V ₃ P ₃₀ K ₃₀	7,39	6,78	- 5,88	-11,76
59	V ₁₀ P ₃₀ K ₃₀	3,18	6,36	- 6,81	-13,62
60	V ₂₀ P ₃₀ K ₃₀	-11,47	-22,94	-21,52	-43,04
61	V ₀ P ₁₀₀ K ₃₀	13,17	26,34	- 0,99	- 1,98
62	V ₃ P ₁₀₀ K ₃₀	12,19	24,38	- 3,93	- 7,86
63	V ₁₀ P ₁₀₀ K ₃₀	7,30	14,60	- 9,79	-19,58
64	V ₂₀ P ₁₀₀ K ₃₀	- 5,40	-10,80	-13,76	-27,40
65	V ₀ P ₃₀ K ₁₀₀	15,27	15,27	19,67	19,67
66	V ₃ P ₃₀ K ₁₀₀	9,40	9,40	3,06	3,06
67	V ₁₀ P ₃₀ K ₁₀₀	10,93	10,93	- 1,82	- 1,82
68	V ₂₀ P ₃₀ K ₁₀₀	- 4,27	- 4,27	- 2,59	- 2,59
69	V ₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	8,43	8,43	- 2,80	- 2,80
70	V ₃ P ₁₀₀ K ₁₀₀	- 4,27	- 4,27	- 8,67	- 8,67
71	V ₁₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	- 7,21	- 7,21	- 9,64	- 9,64
72	V ₂₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	- 8,18	- 8,18	-18,44	-18,44

OBS: Sinal negativo significa que houve liberação de potássio.

C.V. = 14,58 %

D.M.S. = 8,45 ug K/ml (Tukey 1%)

Através dos dados apresentados nas tabelas, observa-se que com os teores maiores de vermiculita expandida houve liberação de potássio, e essa liberação foi maior para a saturação em bases de 105%, tanto em valores absolutos (ug/ml liberado) quanto em valores relativos (% liberada).

Numerosos trabalhos têm evidenciado o efeito da calagem na retenção de potássio. VOLK (1934), verificou que a calagem favoreceu a retenção do elemento, pois em pH alcalino ocorria a combinação do potássio com a sílica e alumina, formando um silicato insolúvel de alumínio.

AYRES (1941), observou que a calagem favoreceu a fixação de potássio, pois houve um aumento do potássio trocável e, com o complexo de troca saturado em potássio, a fixação foi maior.

Dados experimentais realizados por BITTENCOURT & SAKAI (1975), concordam com os dados obtidos neste trabalho, evidenciando que nem sempre a calagem favorece a fixação de potássio. pois a adição de CaCO_3 provocou uma liberação de potássio, principalmente com as doses mais elevadas de vermiculita expandida. A adição de cálcio provocou o deslocamento do potássio de sítios de adsorções; com o uso de vermiculita expandida, que perde a propriedade de expansão e contração, houve então a liberação de potássio.

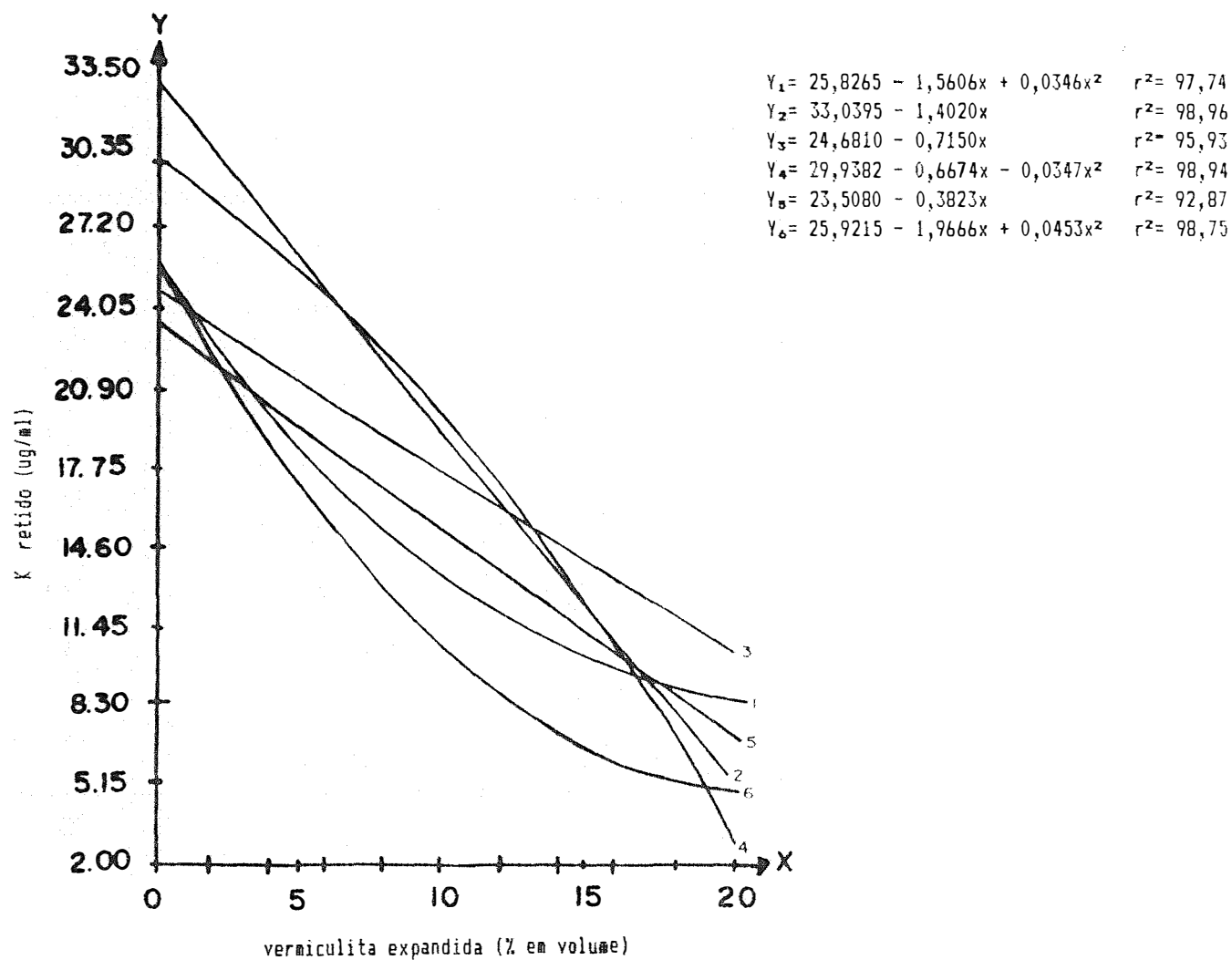
Além do deslocamento do potássio pelos ions cálcio, segundo NEMETH & GRIMME (1972), com o aumento no pH, houve o desenvolvimento de cargas negativas dependentes do pH,

as quais passam a adsorver o potássio, evitando então a fixação.

As figuras 12, 13, 14 e 15 representando a retenção de potássio em ug/ml na presença de doses variáveis de vermiculita expandida e saturação em bases de 75% e 105 %, ilustram o decréscimo e em alguns casos a liberação de potássio com a elevação das doses de vermiculita e com a saturação em bases. Nos dados das tabelas 11 e 12 as liberações de potássio estão representadas pelo sinal negativo mas, nas análises estatísticas e regressão polinomial, estes dados foram transformados em positivos, somando-se a cada um o máximo valor negativo encontrado. Devido este fato, as curvas estão todas acima de zero nos gráficos. Observa-se que os níveis de P_{100} na presença de K_{100} e o aumento nas doses de vermiculita provocaram um decréscimo na retenção de potássio, exceto para o Latossolo, com 105% de saturação em bases. As equações de regressão apresentam altos valores para r.

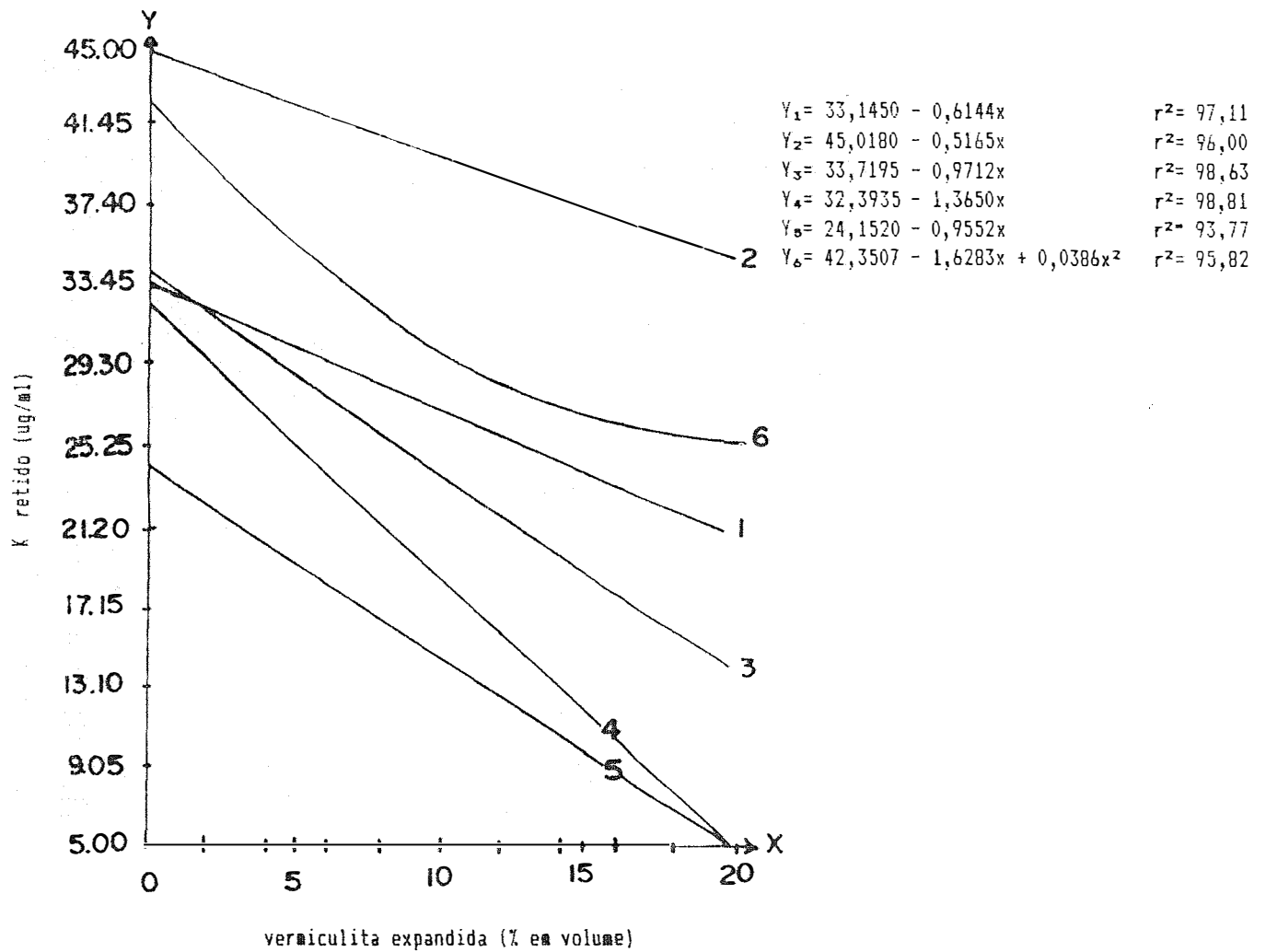
A liberação de potássio esta diretamente relacionada com a mineralogia de argila (DOWDY & HUTCHESON, 1963). Segundo OLIVEIRA *et alii* (1971), a liberação de potássio de formas não trocáveis poderia ser atribuída ao potássio estrutural e/ou ao elemento localizado entre as camadas cristalinas de minerais de rede expansiva.

Pela tabela 4, verifica-se que a vermiculita expandida possui um teor médio de potássio trocável e, com tratamento com $CaCO_3$ p.a. aliado ao fato da vermiculita perder seu poder de contração, houve uma troca desse potássio trocável



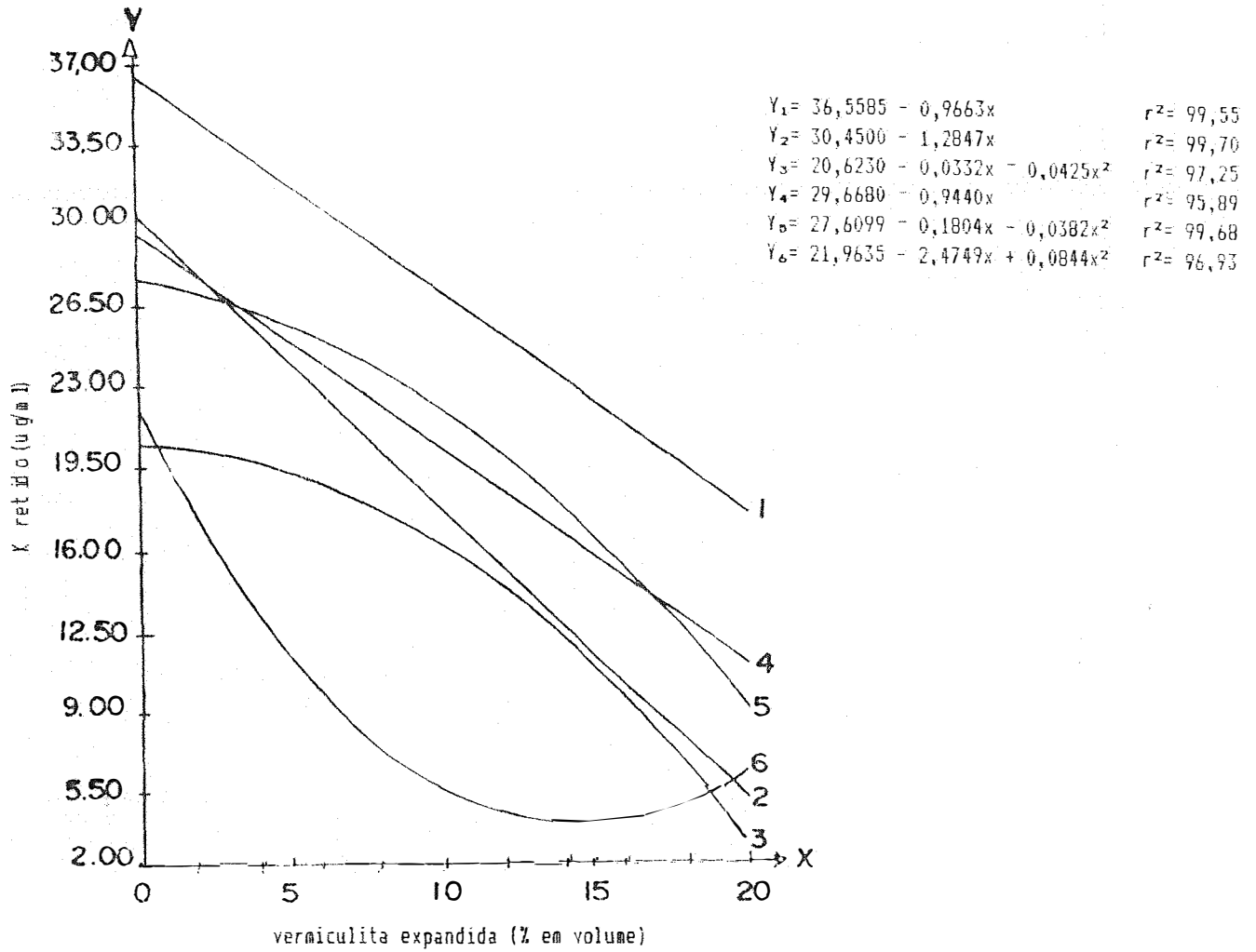
Equações: 1- P₀K₅₀ ; 2- P₀K₁₀₀; 3- P₅₀K₅₀; 4- P₅₀K₁₀₀; 5- P₁₀₀K₅₀
 6- P₁₀₀K₁₀₀.

FIGURA 12 - Curvas de retenção de potássio para o Latossolo incubado com CaCO₃ para atingir saturação em bases de 75% com doses crescentes de vermiculita expandida (três níveis de fósforo e dois de potássio).



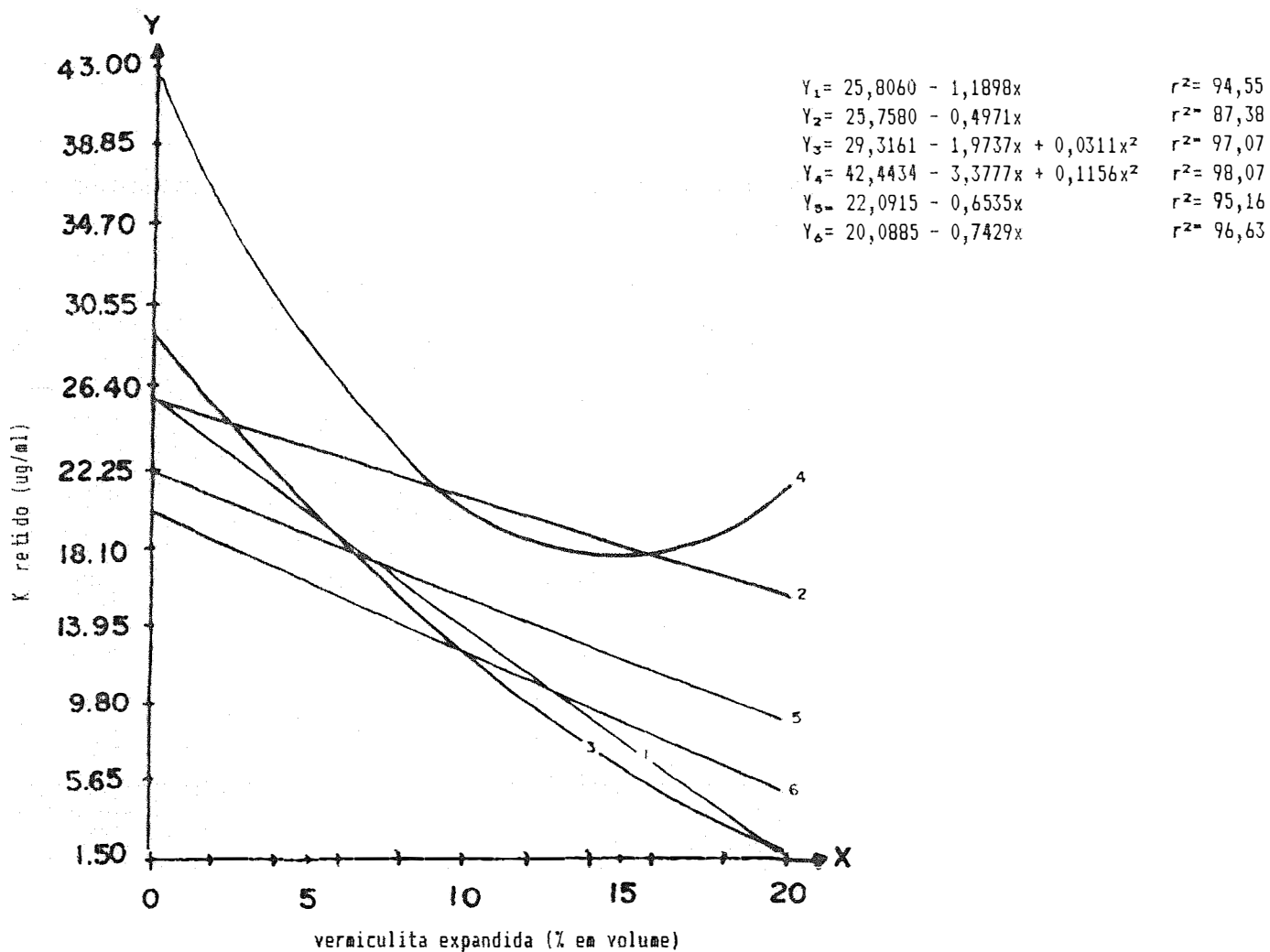
Equações: 1- P₀K₅₀; 2- P₀K₁₀₀; 3- P₅₀K₅₀; 4- P₅₀K₁₀₀; 5- P₁₀₀K₅₀
6- P₁₀₀K₁₀₀.

FIGURA 13 - Curvas de retenção de potássio para o Latossolo incubado com CaCO₃ para atingir saturação em bases de 105% com doses crescentes de vermiculita expandida (três níveis de fósforo e dois de potássio).



Equações: 1- P₀K₅₀ ; 2- P₀K₁₀₀; 3- P₅₀K₅₀; 4- P₅₀K₁₀₀; 5- P₁₀₀K₅₀
6- P₁₀₀K₁₀₀.

FIGURA 14- Curvas de retenção de potássio para o solo Podzolizado incubado com CaCO₃ para atingir saturação em bases de 105% com doses crescentes de vermiculita expandida (três níveis de fósforo e dois de potássio).



Equações: 1- P₀K₅₀; 2- P₀K₁₀₀; 3- P₅₀K₅₀; 4- P₅₀K₁₀₀ 5- P₁₀₀K₅₀;
 6- P₁₀₀K₁₀₀.

FIGURA 15- Curvas de retenção de potássio para o solo Podzolizado incubado com CaCO₃ para atingir saturação em bases de 105% com doses crescentes de vermiculita expandida (três níveis de fósforo e dois de potássio).

com o cálcio e, também pode ter havido a liberação de potássio estrutural ou do elemento localizado entre as camadas cristalinas, ocasionando maior liberação do que retenção do elemento.

4.3. Efeito da adição de vermiculita expandida na produção de matéria seca e na absorção de nutrientes pelo painço

4.3.1. Produção de matéria seca

O crescimento do painço, expresso pela produção de matéria seca, encontra-se nas tabelas 13 e 14.

A análise de variância apresentada no apêndice 5, revelou um efeito significativo dos teores de vermiculita expandida, dos níveis de fósforo e potássio e todas as interações foram significativas nos dois solos.

Os resultados mostram um acréscimo na produção de matéria seca com o aumento dos teores de vermiculita expandida, nos dois solos. No Latossolo, a maior produção ocorreu quando o teor de vermiculita foi de 20% e para os níveis de P_{50} na presença de K_{100} . No solo Podzolizado, o maior acúmulo ocorreu com 20% de vermiculita e na presença de P_{100} e K_{100} .

O fósforo teve um efeito altamente significativo no crescimento e na produção de matéria seca pelo painço. Nos tratamentos sem adição de fósforo houve uma redução no crescimento e a média de produção de matéria seca foi muito reduzida.

Observa-se pelas figuras 16 e 17 que com o nível zero de fósforo, tanto na ausência como na presença de potássio houve uma menor produção de matéria seca, que aumentou com a adição de P_{50} e P_{100} . As equações de regressão para as curvas de produção de matéria seca, apresentam altos valores para r .

Para o Latossolo observa-se que o ponto de máxima produção de matéria seca dá-se com a dose de vermiculita em torno de 14%, sendo que a partir deste ponto houve um decréscimo no acúmulo de matéria seca e para o Podzolizado em torno de 18% de vermiculita.

O potássio teve influência significativa na produção de matéria seca, sendo que houve diferença significativa entre as médias obtidas e em ambos os solos, a produção foi maior com o nível de 100 ug/ml.

4.3.2. Absorção de nutrientes

4.3.2.1. Nitrogênio

As Tabelas 13 e 14 mostram a concentração e acúmulo do nitrogênio pelo painço cultivado com teores crescentes de vermiculita e 50 ug N/ml, 50 e 100 ug/ml de P e K. Houve um maior acúmulo de nitrogênio nos tratamentos com 20% de vermiculita expandida na presença de fósforo e potássio.

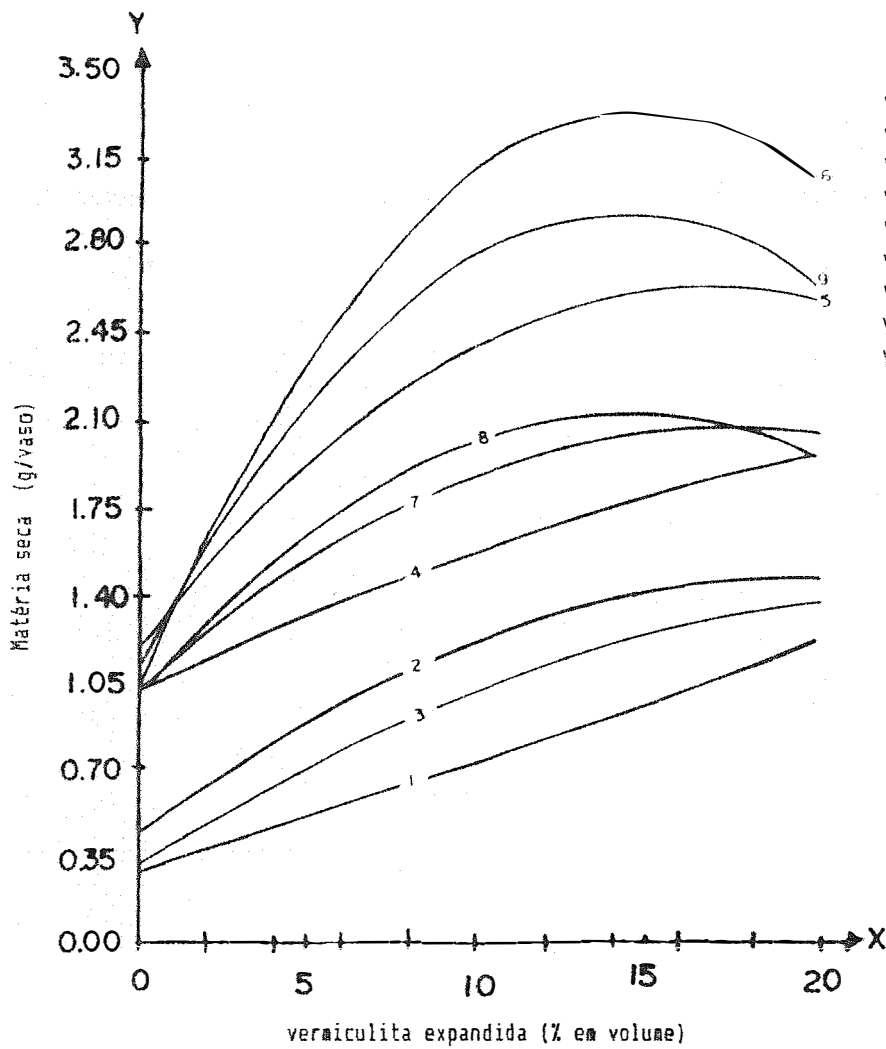
As figuras 18 e 19 ilustram os dados obtidos. Para o solo Podzolizado apenas as equações de regressão de P_{50} na presença de K_{50} e a P_{100} na presença de K_{100} foram significativas, com valores altos para r . No Latossolo, observa-se que na ausência de fósforo o acúmulo de N foi menor.

Tabela 13 - Quantidade de matéria seca (g/vaso), concentração e acúmulo de macronutrientes pelo painço, em % e mg/vaso, no solo Latossolo, tratado com vermiculita expandida e três níveis de fósforo e potássio (média de quatro repetições)

Trata- mento	Matéria seca	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg	
		g/vaso					%					
		g/vaso						mg/vaso				
01	V ₀ P ₀ K ₀	0,27	9,50	0,35	2,05	0,09	0,21	25,65	0,93	5,50	0,25	0,57
02	V ₅ P ₀ K ₀	0,48	9,80	0,37	1,96	0,17	0,43	47,04	1,79	9,48	0,85	2,01
03	V ₁₀ P ₀ K ₀	0,69	9,38	0,35	2,17	0,25	0,65	64,72	2,47	15,03	1,73	4,54
04	V ₂₀ P ₀ K ₀	1,22	5,32	0,38	2,30	0,31	0,71	64,90	4,66	28,02	3,90	8,72
05	V ₀ P ₅₀ K ₀	0,96	6,56	0,51	2,20	0,36	0,29	62,97	4,93	21,16	3,46	2,83
06	V ₅ P ₅₀ K ₀	1,44	9,52	0,48	2,10	0,36	0,58	137,09	7,01	30,22	5,17	8,39
07	V ₁₀ P ₅₀ K ₀	1,48	9,15	0,49	2,37	0,37	0,67	135,42	7,35	35,15	5,51	9,94
08	V ₂₀ P ₅₀ K ₀	2,00	8,26	0,46	2,32	0,52	1,01	165,20	9,21	46,32	10,37	20,22
09	V ₀ P ₁₀₀ K ₀	1,06	6,30	0,54	1,97	0,30	0,31	66,78	5,77	20,92	3,16	3,28
10	V ₅ P ₁₀₀ K ₀	1,46	9,13	0,52	2,12	0,32	0,64	133,29	7,67	31,06	4,73	9,46
11	V ₁₀ P ₁₀₀ K ₀	1,96	7,29	0,52	1,92	0,31	0,78	142,88	10,22	37,66	6,16	15,36
12	V ₂₀ P ₁₀₀ K ₀	2,05	8,65	0,49	2,00	0,36	0,85	177,32	10,20	41,05	7,48	17,59
13	V ₀ P ₀ K ₅₀	0,41	5,91	0,47	4,55	0,14	0,29	24,23	1,94	18,65	0,57	1,20
14	V ₅ P ₀ K ₅₀	0,89	5,06	0,39	4,35	0,22	0,53	45,03	3,53	38,69	1,95	4,75
15	V ₁₀ P ₀ K ₅₀	1,21	7,84	0,36	4,30	0,25	0,54	94,86	4,41	52,02	3,11	6,60
16	V ₂₀ P ₀ K ₅₀	1,48	6,44	0,40	7,15	0,30	0,65	95,31	5,91	105,67	4,54	9,60
17	V ₀ P ₀ K ₁₀₀	0,27	5,80	0,39	3,35	0,20	0,23	15,66	1,06	9,15	0,54	0,63
18	V ₅ P ₀ K ₁₀₀	0,77	5,74	0,37	6,30	0,21	0,41	44,19	2,84	48,47	1,61	3,17
19	V ₁₀ P ₀ K ₁₀₀	0,94	6,03	0,36	6,75	0,21	0,43	56,68	3,39	63,71	2,02	4,08
20	V ₂₀ P ₀ K ₁₀₀	1,39	5,30	0,41	7,72	0,14	0,41	73,67	5,70	107,48	1,98	5,70
21	V ₀ P ₅₀ K ₅₀	1,14	6,12	0,48	4,10	0,25	0,27	69,76	5,52	46,67	2,87	3,10
22	V ₅ P ₅₀ K ₅₀	2,02	5,83	0,38	4,00	0,29	0,46	117,76	7,78	80,90	5,91	9,34
23	V ₁₀ P ₅₀ K ₅₀	2,32	7,00	0,42	4,17	0,36	0,58	162,40	9,71	96,54	8,33	13,53
24	V ₂₀ P ₅₀ K ₅₀	2,59	10,08	0,45	4,60	0,35	0,73	261,07	11,87	119,40	9,28	18,95
25	V ₀ P ₁₀₀ K ₅₀	1,00	5,88	0,49	4,20	0,52	0,18	58,80	4,93	42,29	5,31	1,86
26	V ₅ P ₁₀₀ K ₅₀	1,57	6,16	0,53	4,65	0,33	0,46	96,71	8,36	73,00	5,26	7,34
27	V ₁₀ P ₁₀₀ K ₅₀	2,06	8,30	0,54	4,32	0,34	0,60	170,98	11,17	89,13	7,15	12,52
28	V ₂₀ P ₁₀₀ K ₅₀	1,97	9,33	0,57	4,25	0,35	0,72	183,80	11,31	83,62	7,03	14,11
29	V ₀ P ₅₀ K ₁₀₀	0,94	6,64	0,47	4,32	0,15	0,15	62,41	4,52	40,35	1,44	1,39
30	V ₅ P ₅₀ K ₁₀₀	2,57	7,56	0,43	4,30	0,23	0,27	194,29	11,12	110,61	5,91	6,94
31	V ₁₀ P ₅₀ K ₁₀₀	2,91	6,94	0,45	4,77	0,23	0,42	201,95	13,25	140,52	6,77	12,37
32	V ₂₀ P ₅₀ K ₁₀₀	3,08	5,09	0,44	5,05	0,32	0,50	156,77	13,57	155,72	10,02	15,87
33	V ₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	1,03	5,54	0,53	4,95	0,36	0,16	57,06	5,48	51,00	3,74	1,59
34	V ₅ P ₁₀₀ K ₁₀₀	2,35	7,00	0,50	5,85	0,42	0,35	164,50	11,84	137,81	10,01	8,36
35	V ₁₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	2,61	6,30	0,51	6,25	0,39	0,47	164,43	13,38	163,27	10,18	12,40
36	V ₂₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	2,65	6,27	0,52	6,17	0,42	0,52	166,15	13,64	163,56	11,19	13,70
C.V.			24,48	4,12	2,19	3,32	2,17					
D.M.S.			88,04	0,91	4,49	0,50	0,53	mg/vaso (Tukey 1%)				

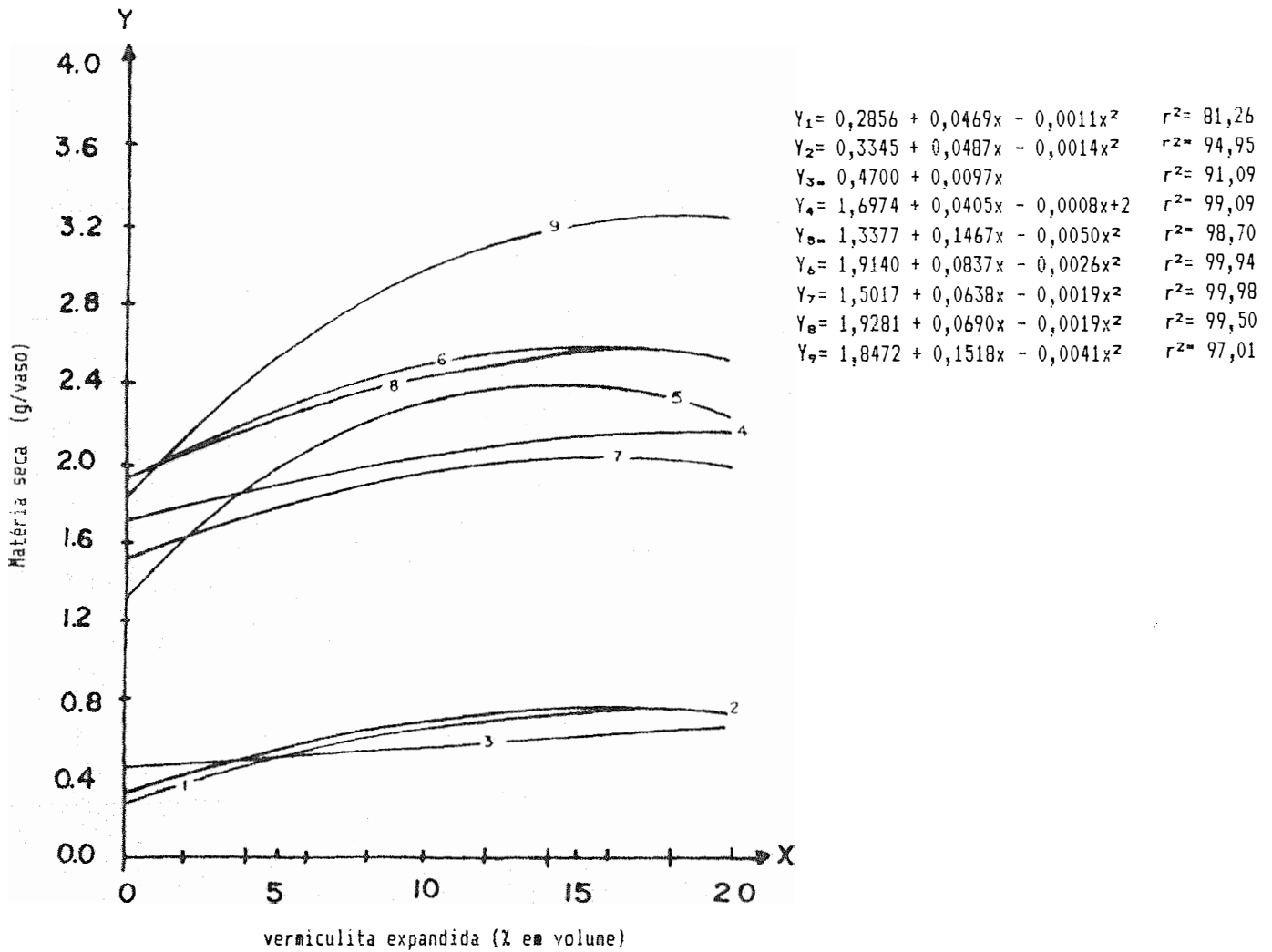
Tabela 14 - Quantidade de matéria seca (g/vaso), concentração e acúmulo de macronutrientes pelo painço, em % e mg/vaso, no solo Podzolizado, tratado com vermiculita expandida e três níveis de fósforo e potássio (média de quatro repetições)

Tratamento	Matéria seca g/vaso	%					mg/vaso					
		N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg	
37 V ₀ P ₀ K ₀	0,33	9,36	0,67	3,87	0,12	0,19	30,89	2,25	12,97	0,42	0,66	
38 V ₅ P ₀ K ₀	0,36	9,20	0,64	4,27	0,27	0,32	33,12	2,30	15,32	0,98	1,15	
39 V ₁₀ P ₀ K ₀	0,74	5,50	0,63	4,92	0,27	0,46	40,70	4,67	36,43	1,99	3,44	
40 V ₂₀ P ₀ K ₀	0,75	6,02	0,65	6,92	0,35	0,51	45,15	4,88	52,11	2,63	3,90	
41 V ₀ P ₅₀ K ₀	1,69	7,72	0,46	1,37	0,43	0,20	130,46	7,78	23,26	7,35	3,46	
42 V ₅ P ₅₀ K ₀	1,89	7,03	0,50	1,52	0,45	0,39	132,86	9,55	28,84	8,65	7,47	
43 V ₁₀ P ₅₀ K ₀	2,01	7,56	0,50	1,85	0,52	0,45	151,95	10,04	37,15	10,59	9,14	
44 V ₂₀ P ₅₀ K ₀	2,17	7,84	0,53	2,57	0,59	0,55	170,13	11,54	55,99	12,89	11,82	
45 V ₀ P ₁₀₀ K ₀	1,50	6,79	0,55	1,57	0,57	0,20	101,85	8,26	23,64	8,59	2,96	
46 V ₅ P ₁₀₀ K ₀	1,77	7,38	0,58	1,62	0,45	0,44	130,62	10,07	28,73	8,08	7,90	
47 V ₁₀ P ₁₀₀ K ₀	1,95	8,03	0,57	2,50	0,51	0,48	156,58	11,17	48,58	10,03	9,33	
48 V ₂₀ P ₁₀₀ K ₀	2,00	4,76	0,60	3,37	0,57	0,56	95,20	12,01	67,49	11,54	11,62	
49 V ₀ P ₀ K ₅₀	0,36	6,72	0,68	4,85	0,30	0,19	24,19	2,42	17,15	1,07	0,72	
50 V ₅ P ₀ K ₅₀	0,49	6,80	0,68	5,57	0,37	0,33	33,32	3,32	27,15	1,78	1,59	
51 V ₁₀ P ₀ K ₅₀	0,72	6,12	0,67	7,27	0,44	0,51	44,06	4,81	52,29	3,19	3,66	
52 V ₂₀ P ₀ K ₅₀	0,73	5,88	0,68	7,20	0,46	0,52	42,92	4,99	52,69	3,42	3,82	
53 V ₀ P ₀ K ₁₀₀	0,46	7,44	0,68	5,25	0,48	0,22	34,22	3,10	24,51	2,23	1,01	
54 V ₅ P ₀ K ₁₀₀	0,57	5,74	0,68	5,52	0,42	0,40	32,71	3,91	31,45	2,43	2,31	
55 V ₁₀ P ₀ K ₁₀₀	0,53	7,00	0,70	7,67	0,43	0,44	37,10	3,76	40,82	2,32	2,35	
56 V ₂₀ P ₀ K ₁₀₀	0,67	7,14	0,69	8,25	0,46	0,56	47,83	4,68	55,62	3,13	3,77	
57 V ₀ P ₅₀ K ₅₀	1,31	6,72	0,48	4,30	0,28	0,27	88,03	6,35	56,38	3,67	3,54	
58 V ₅ P ₅₀ K ₅₀	2,01	7,86	0,51	4,42	0,47	0,39	157,98	10,34	88,85	9,49	7,88	
59 V ₁₀ P ₅₀ K ₅₀	2,25	6,49	0,50	4,50	0,46	0,53	146,02	11,22	101,02	10,38	11,90	
60 V ₂₀ P ₅₀ K ₅₀	2,26	7,98	0,51	4,50	0,47	0,63	180,34	11,53	101,78	10,68	14,42	
61 V ₀ P ₁₀₀ K ₅₀	1,94	5,88	0,53	4,22	0,59	0,31	114,07	10,30	81,80	11,52	6,04	
62 V ₅ P ₁₀₀ K ₅₀	2,20	4,95	0,57	4,20	0,62	0,62	108,90	12,69	92,30	13,68	13,73	
63 V ₁₀ P ₁₀₀ K ₅₀	2,44	5,60	0,55	4,27	0,56	0,66	138,59	13,50	104,43	13,68	16,12	
64 V ₂₀ P ₁₀₀ K ₅₀	2,53	6,15	0,54	4,37	0,57	0,74	155,59	13,69	110,96	14,65	18,77	
65 V ₀ P ₅₀ K ₁₀₀	1,92	6,51	0,51	7,10	0,45	0,29	124,99	9,77	136,11	8,67	5,69	
66 V ₅ P ₅₀ K ₁₀₀	2,26	6,72	0,50	6,92	0,46	0,45	151,87	11,28	156,30	10,32	10,26	
67 V ₁₀ P ₅₀ K ₁₀₀	2,49	5,82	0,49	7,00	0,45	0,58	144,91	12,28	174,59	11,22	14,58	
68 V ₂₀ P ₅₀ K ₁₀₀	2,53	5,88	0,50	7,45	0,48	0,70	148,76	12,61	188,83	12,10	17,87	
69 V ₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	1,90	7,27	0,53	6,45	0,51	0,27	138,13	10,10	122,42	9,68	5,16	
70 V ₅ P ₁₀₀ K ₁₀₀	2,36	5,65	0,51	7,30	0,49	0,42	133,34	12,07	172,22	11,55	9,90	
71 V ₁₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	3,06	6,80	0,50	6,70	0,46	0,53	208,08	15,41	204,55	14,27	16,33	
72 V ₂₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	3,22	6,60	0,50	6,87	0,50	0,63	212,52	16,18	221,40	16,26	20,37	
C.V.		24,48	1,88	2,69	1,29	1,69						
D.M.S.		88,04	0,50	6,67	0,31	0,41	(mg/vaso Tukey a 1%)					



Equações: 1- P₀K₀; 2- P₀K₅₀; 3- P₀K₁₀₀; 4- P₅₀K₀; 5- P₅₀K₅₀
 6- P₅₀K₁₀₀; 7- P₁₀₀K₀; 8- P₁₀₀K₅₀; 9- P₁₀₀K₁₀₀.

FIGURA 16 - Produção de matéria seca (g/vaso), pelo painço, no Latossolo, com doses crescentes de vermiculita expandida (três níveis de fósforo e três de potássio)



Equações: 1- P₀K₀; 2- P₀K₅₀; 3- P₀K₁₀₀; 4- P₅₀K₀; 5- P₅₀K₅₀
 6- P₅₀K₁₀₀; 7- P₁₀₀K₀; 8- P₁₀₀K₅₀; 9- P₁₀₀K₁₀₀.

FIGURA 17 - Produção de matéria seca (g/vaso), pelo painço, no solo Podzolizado com doses crescentes de vermiculita expandida (três níveis de fósforo e três de potássio)

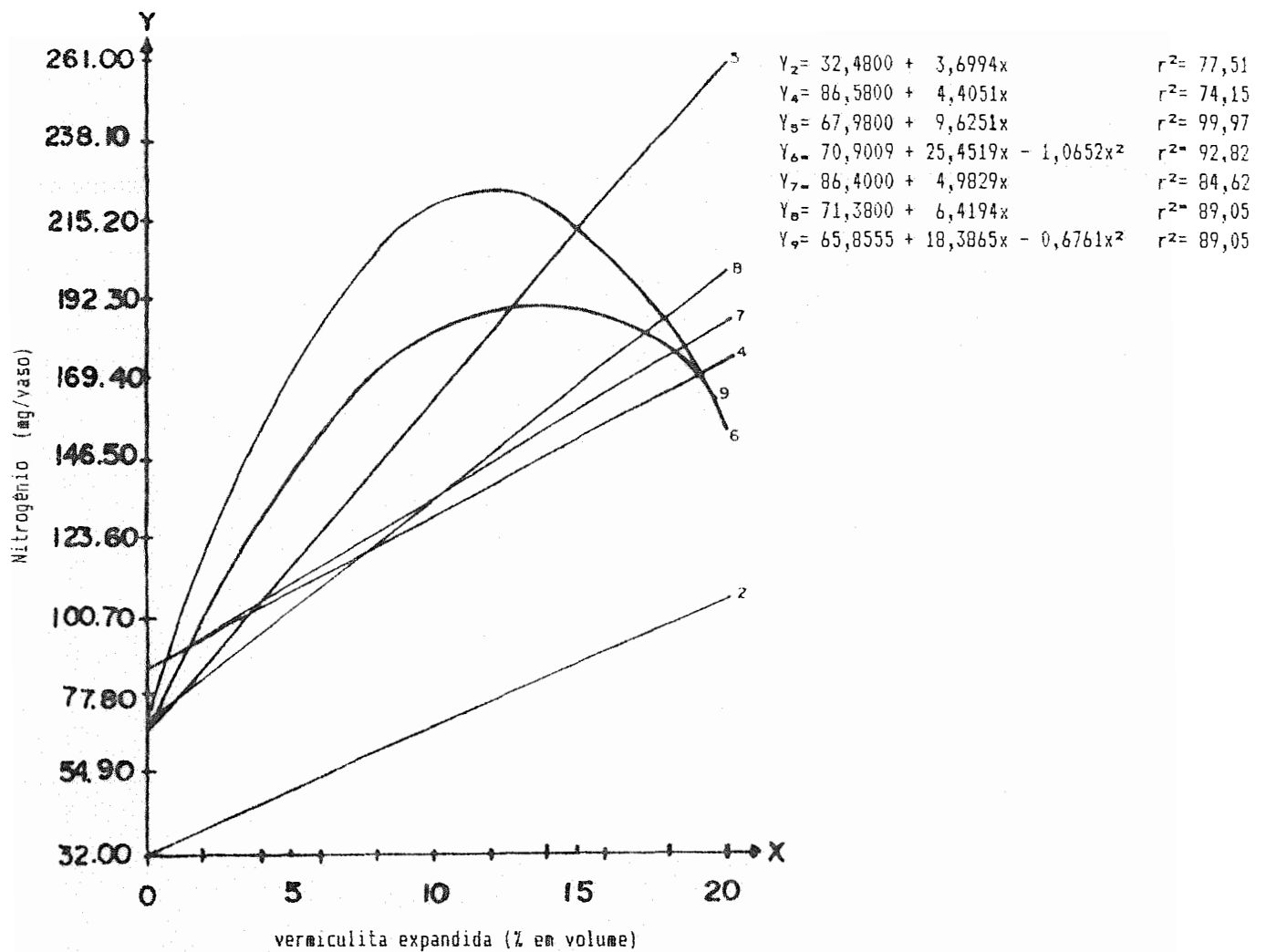
Verifica-se que o máximo acúmulo de nitrogênio ocorre com o nível de P_{50} na presença de K_{100} . No Podzolizado as doses de P_{50} e P_{100} na presença de K influenciaram no acúmulo de nitrogênio.

4.3.2.2. Fósforo

As Tabelas 13 e 14 mostram a concentração e o acúmulo de fósforo. Observa-se que à medida que aumenta a quantidade de matéria seca diminui a concentração de fósforo, devido o efeito de diluição do nutriente na planta.

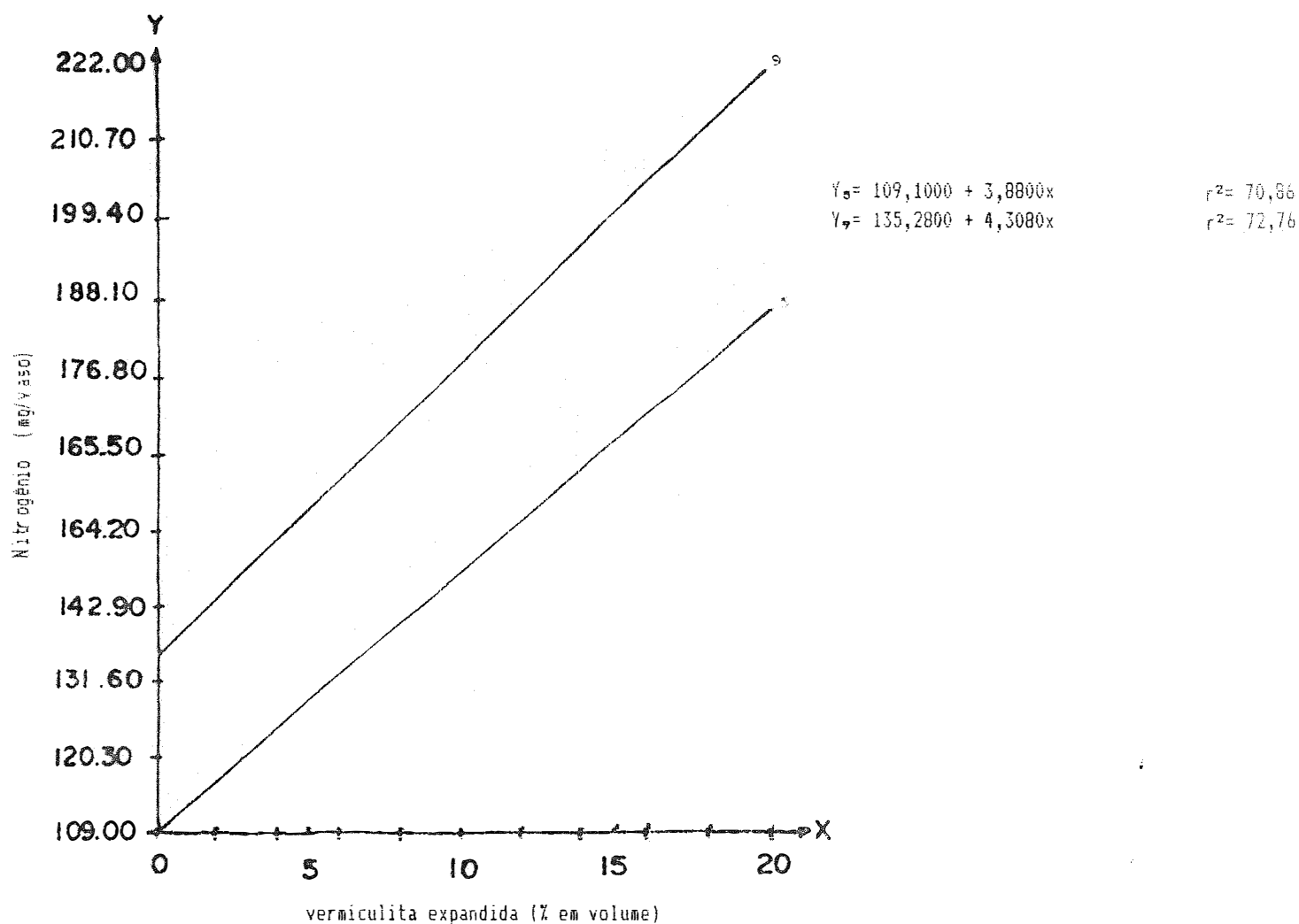
Houve um efeito positivo e significativo dos teores de vermiculita no acúmulo de fósforo. O fósforo teve um efeito altamente significativo no crescimento do painço, pois nos tratamentos sem fósforo em alguns casos houve a morte da planta e com grande influência na produção de matéria seca. Nos dois solos, o maior acúmulo de fósforo ocorreu com 20% de vermiculita, na presença de P_{100} e K_{100} .

Resultados semelhantes foram obtidos por ALMEIDA NETO & BRASIL SOBRINHO (1977), que realizaram ensaio em solos sob vegetação de cerrado, usando o painço como planta teste. As ilustrações gráficas encontram-se nas figuras 20 e 21 onde observa-se nítida diferença do tratamento isento de fósforo no acúmulo deste elemento. No Latossolo, observa-se que o ponto de máxima dá-se com 15% de vermiculita expandida, para as interações $P_{50}K_{100}$, $P_{100}K_{100}$ e nas demais observa-se que com 20% de vermiculita houve um maior acúmulo de fósforo. As equações de regressão apresentam altos valores para r .



Equações: 1- P₀K₀; 2- P₀K₅₀; 3- P₀K₁₀₀; 4- P₅₀K₀; 5- P₅₀K₅₀
 6- P₅₀K₁₀₀; 7- P₁₀₀K₀; 8- P₁₀₀K₅₀; 9- P₁₀₀K₁₀₀.

FIGURA 18 - Acúmulo de nitrogênio (mg/vaso), pelo painço, no Latossolo, com doses crescentes de vermiculita expandida (três níveis de fósforo e três de potássio)



Equações: 1- P₀K₀; 2- P₀K₅₀; 3- P₀K₁₀₀; 4- P₅₀K₀; 5- P₅₀K₅₀
 6- P₅₀K₁₀₀; 7- P₁₀₀K₀; 8- P₁₀₀K₅₀; 9- P₁₀₀K₁₀₀.

FIGURA 19 - Acúmulo de nitrogênio (mg/vaso), pelo painço, no solo Podzolizado, com doses crescentes de vermiculita expandida (três níveis de fósforo e três de potássio)

4.3.2.3. Potássio

A concentração e acúmulo de potássio na planta foi maior com o aumento nos teores de vermiculita e potássio. Os dados são mostrados nas tabelas 13 e 14.

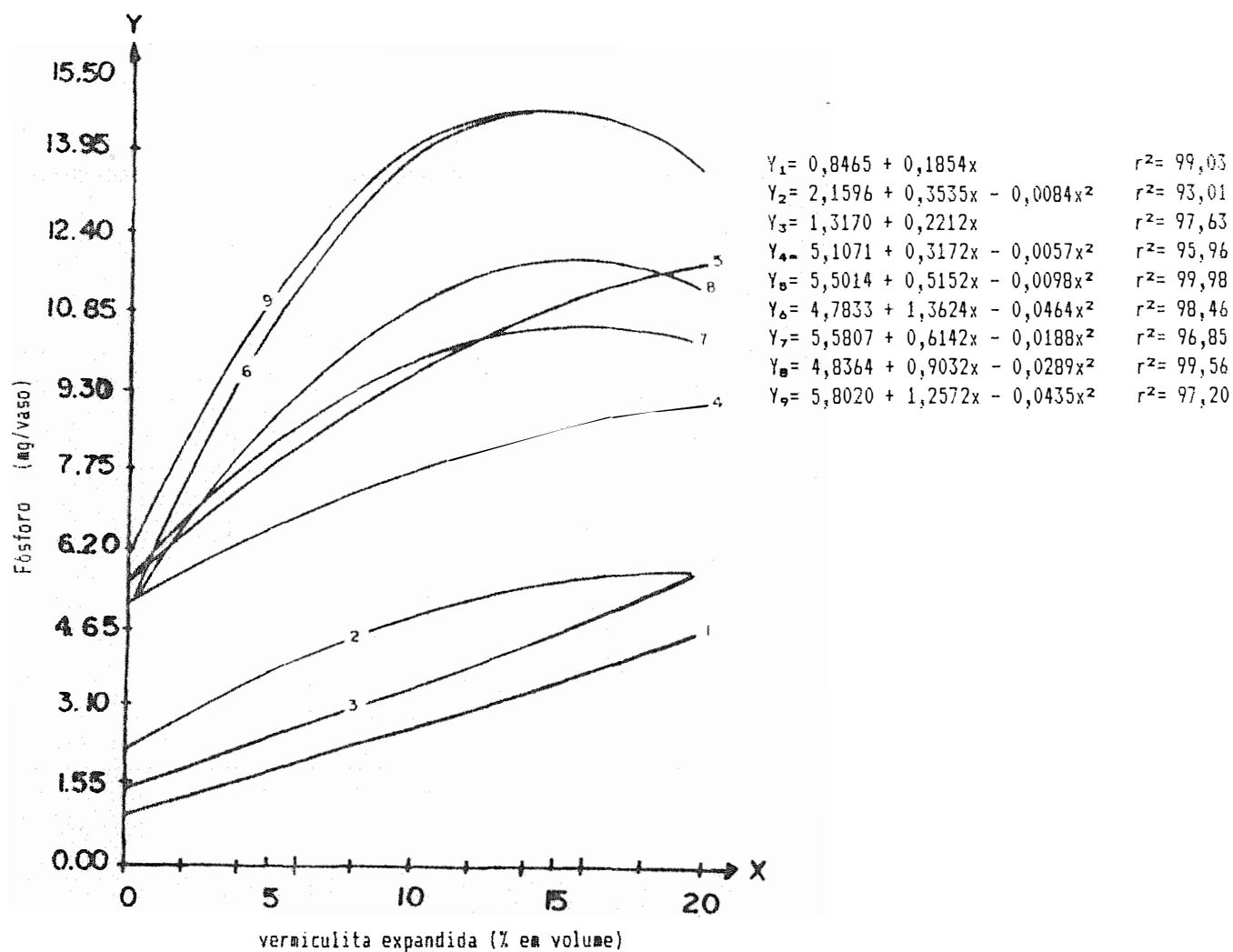
Observa-se um efeito altamente positivo da vermiculita no acúmulo de potássio. Nos tratamentos sem vermiculita houve um menor acúmulo. Isto explica-se pelo fato de que na presença de vermiculita expandida houve uma menor fixação de potássio, ficando portanto numa forma disponível para a planta e também devido ao alto teor de potássio presente na vermiculita expandida.

O maior acúmulo de potássio, para o Latossolo, como ilustra a figura 22, ocorre com nível P_{100} na presença de K. Observa-se que na ausência de K houve um decréscimo no acúmulo de potássio. Para os níveis de P_{50} e P_{100} na presença de K_{100} , nota-se que o máximo acúmulo ocorre em torno de 14% de vermiculita.

Para o Podzolizado, conforme ilustra a figura 23, o maior acúmulo de potássio dá-se com o nível P_{100} na presença de K_{100} ; e na ausência de P e K o acúmulo de potássio foi reduzido.

4.3.2.4. Cálcio

Os dados da concentração e acúmulo de cálcio encontram-se nas tabelas 13 e 14. Observa-se que houve uma influência significativa da dose de vermiculita expandida, dos



Equações: 1- P₀K₀; 2- P₀K₅₀; 3- P₀K₁₀₀; 4- P₅₀K₀; 5- P₅₀K₅₀
 6- P₅₀K₁₀₀; 7- P₁₀₀K₀; 8- P₁₀₀K₅₀; 9- P₁₀₀K₁₀₀.

FIGURA 20 - Acúmulo de fósforo (mg/vaso), pelo painço, no Latossolo, com doses crescentes de vermiculita expandida (três níveis de fósforo e três de potássio)

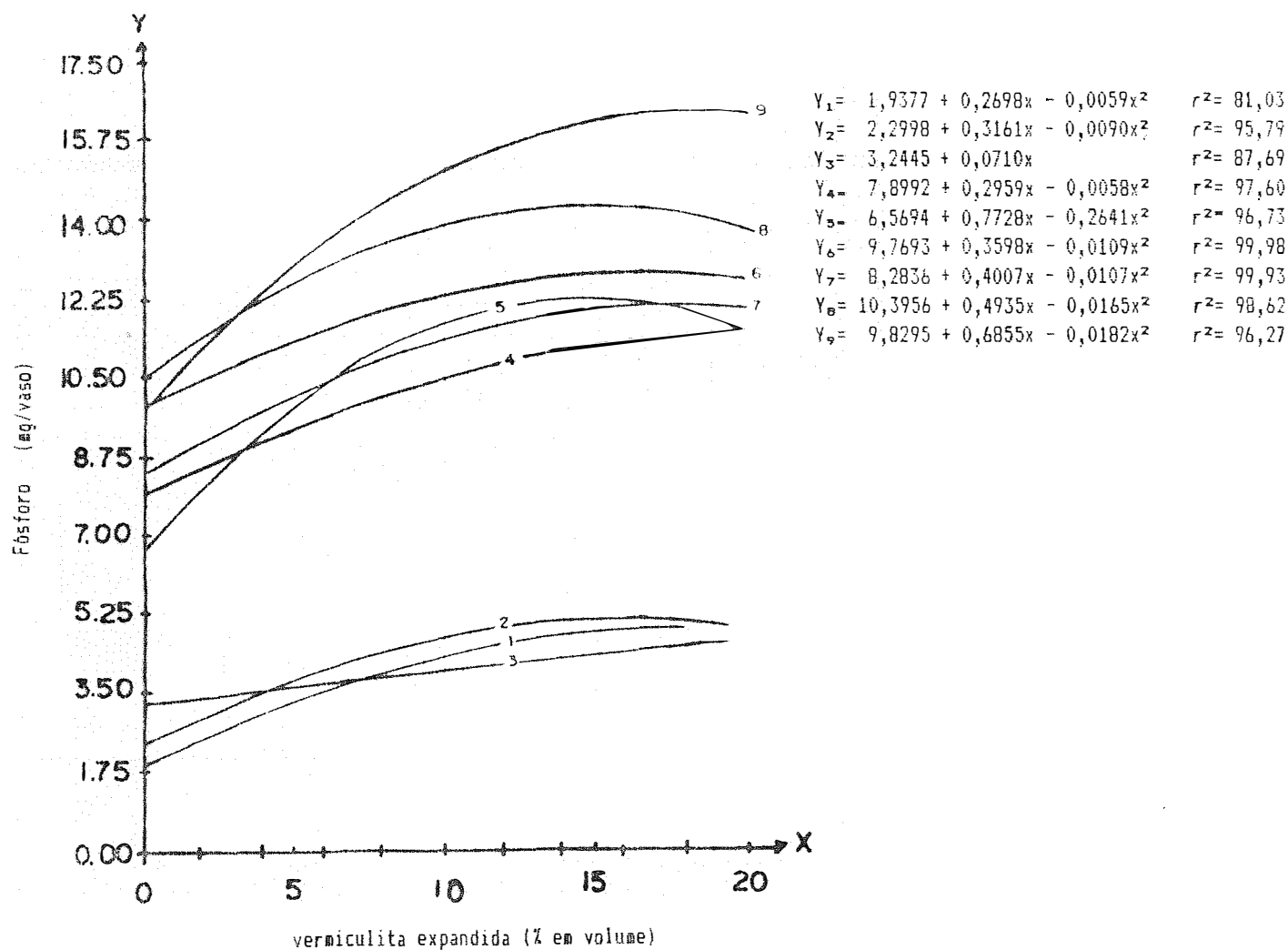
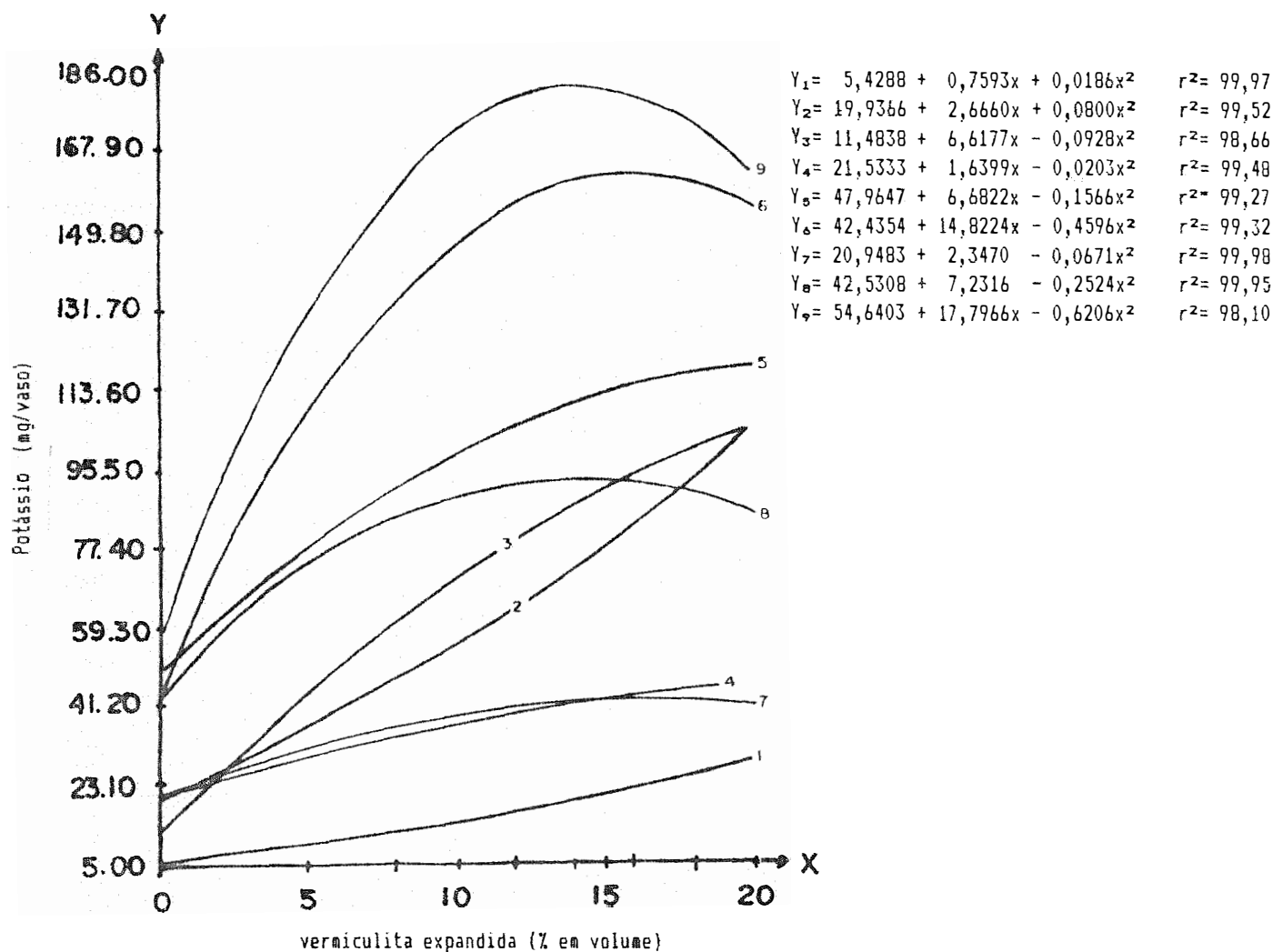
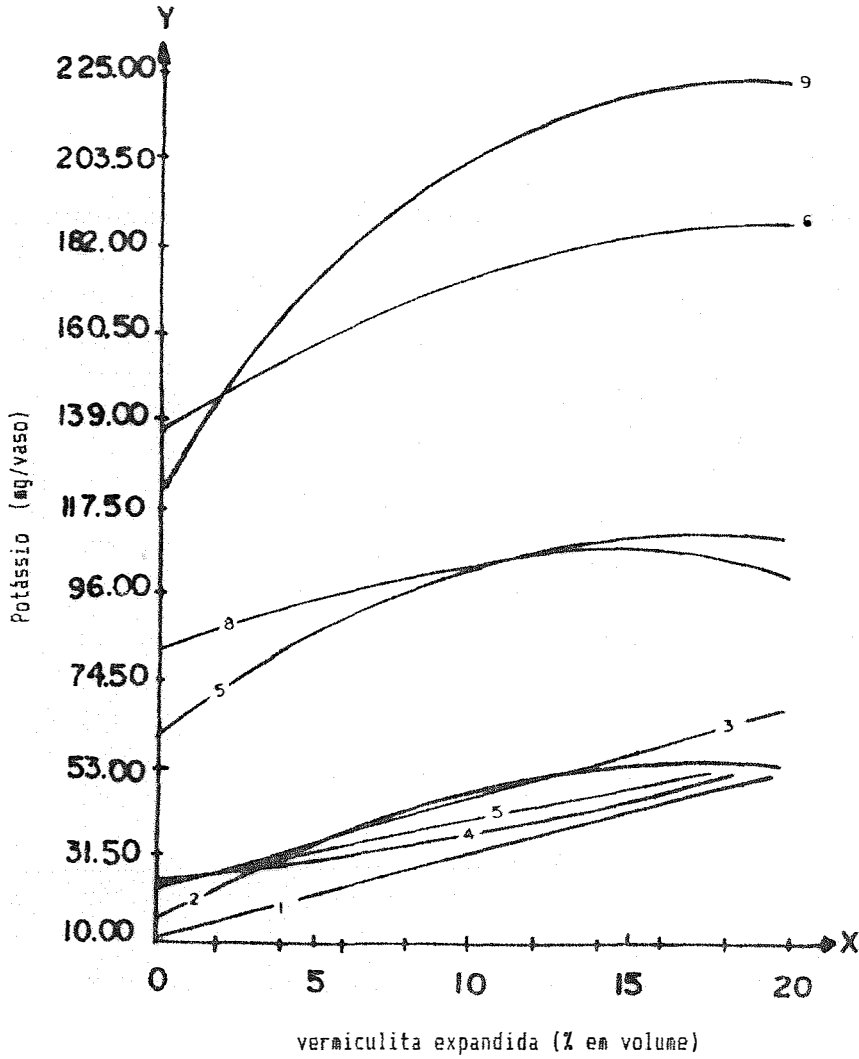


FIGURA 21 - Acúmulo de fósforo (mg/vaso), pelo painço no solo Podzolizado, com doses crescentes de vermiculita expandida (três níveis de fósforo e tres de potássio)



Equações: 1- P₀K₀; 2- P₀K₅₀; 3- P₀K₁₀₀; 4- P₅₀K₀; 5- P₅₀K₅₀
 6- P₅₀K₁₀₀; 7- P₁₀₀K₀; 8- P₁₀₀K₅₀; 9- P₁₀₀K₁₀₀.

FIGURA 22 - Acúmulo de potássio (mg/vaso), pelo painço, no Latossolo, com doses crescentes de vermiculita expandida (três níveis de fósforo e três de potássio)



$Y_1 = 10,7800 + 2,1066$	$r^2 = 93,96$
$Y_2 = 14,5503 + 4,5584x - 0,1304x^2$	$r^2 = 91,49$
$Y_3 = 24,3000 + 1,5741x$	$r^2 = 99,78$
$Y_4 = 23,0971 + 1,0987x + 0,0275x^2$	$r^2 = 99,95$
$Y_5 = 57,4041 + 6,9286x - 0,2363x^2$	$r^2 = 99,07$
$Y_6 = 135,6570 + 4,9389x - 0,1136x^2$	$r^2 = 99,84$
$Y_7 = 21,8995 + 2,3103x$	$r^2 = 96,81$
$Y_8 = 81,1832 + 2,9034x - 0,0702x^2$	$r^2 = 99,07$
$Y_9 = 122,3880 + 11,4660x - 0,3257x^2$	$r^2 = 99,78$

Equações: 1- P₀K₀; 2- P₀K₅₀; 3- P₀K₁₀₀; 4- P₅₀K₀; 5- P₅₀K₅₀
 6- P₅₀K₁₀₀; 7- P₁₀₀K₀; 8- P₁₀₀K₅₀; 9- P₁₀₀K₁₀₀.

FIGURA 23 - Acúmulo de potássio (mg/vaso), pelo painço, no solo Podzolizado, com doses crescentes de vermiculita expandida (três níveis de fósforo e três de potássio)

níveis de fósforo e potássio no acúmulo de cálcio. A ausência de fósforo e potássio provoca um decréscimo no acúmulo.

A análise de variância, no apêndice 9, mostra o efeito altamente significativo da vermiculita, fósforo e potássio no acúmulo de cálcio, sendo que todas as interações também foram altamente significativas.

As figuras 24 e 25 ilustram os dados de acúmulo de cálcio na presença de doses crescentes de vermiculita e de níveis de fósforo e potássio. No Latossolo verifica-se que o maior acúmulo ocorre com o nível de P_{100} na presença de K_{100} , com ponto de máximo ao redor de 14%. Para o Podzolizado nota-se que o maior acúmulo ocorre com nível de P_{100} na presença de K_{100} .

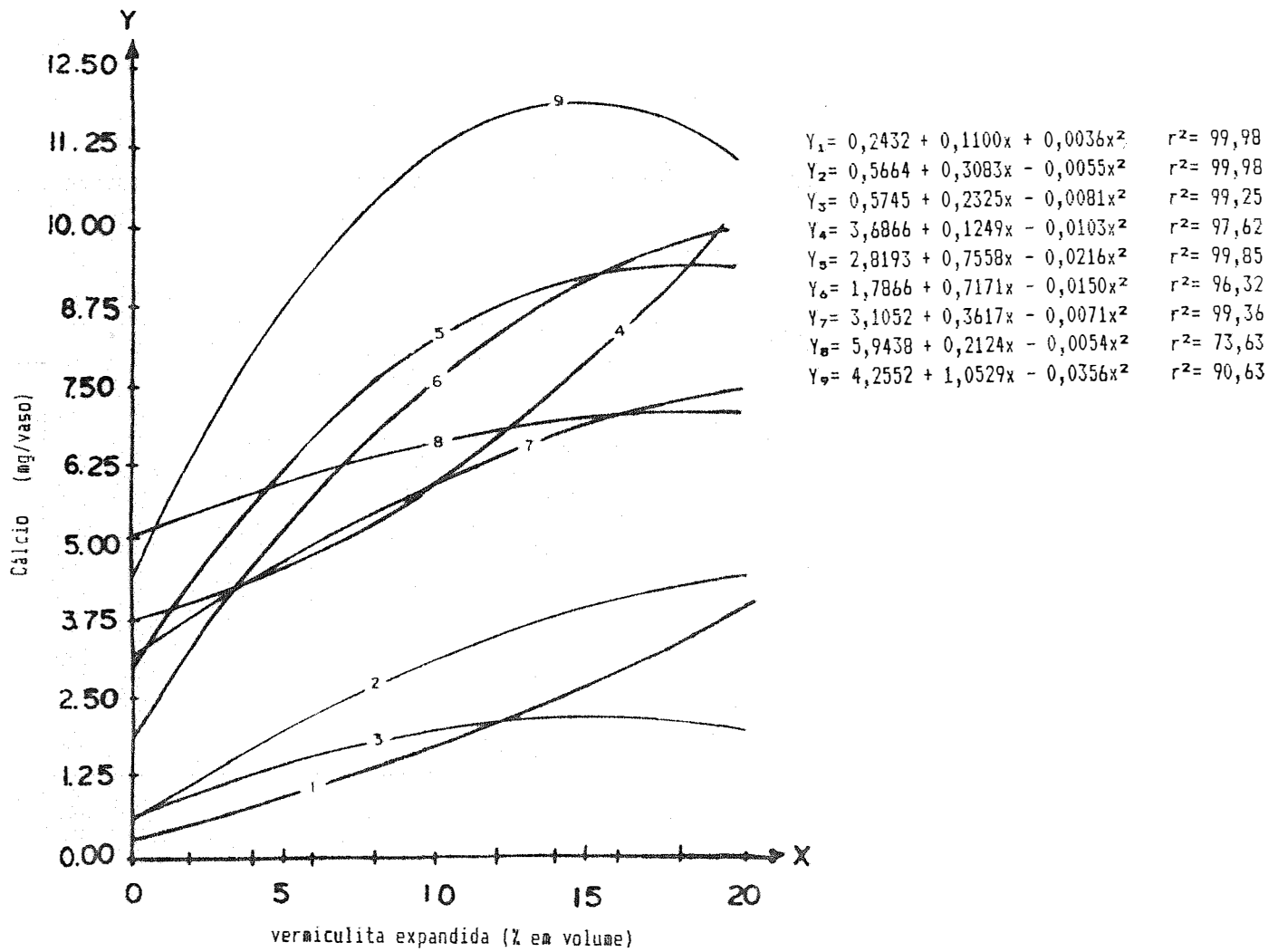
A vermiculita teve um efeito significativo na concentração de cálcio na planta, pois é um material rico em cálcio, conforme observa-se na tabela 4.

4.3.2.5. Magnésio

Nota-se para os dois solos um acréscimo no acúmulo de magnésio com o aumento na dose de vermiculita expandida. As tabelas 13 e 14 mostram estes dados.

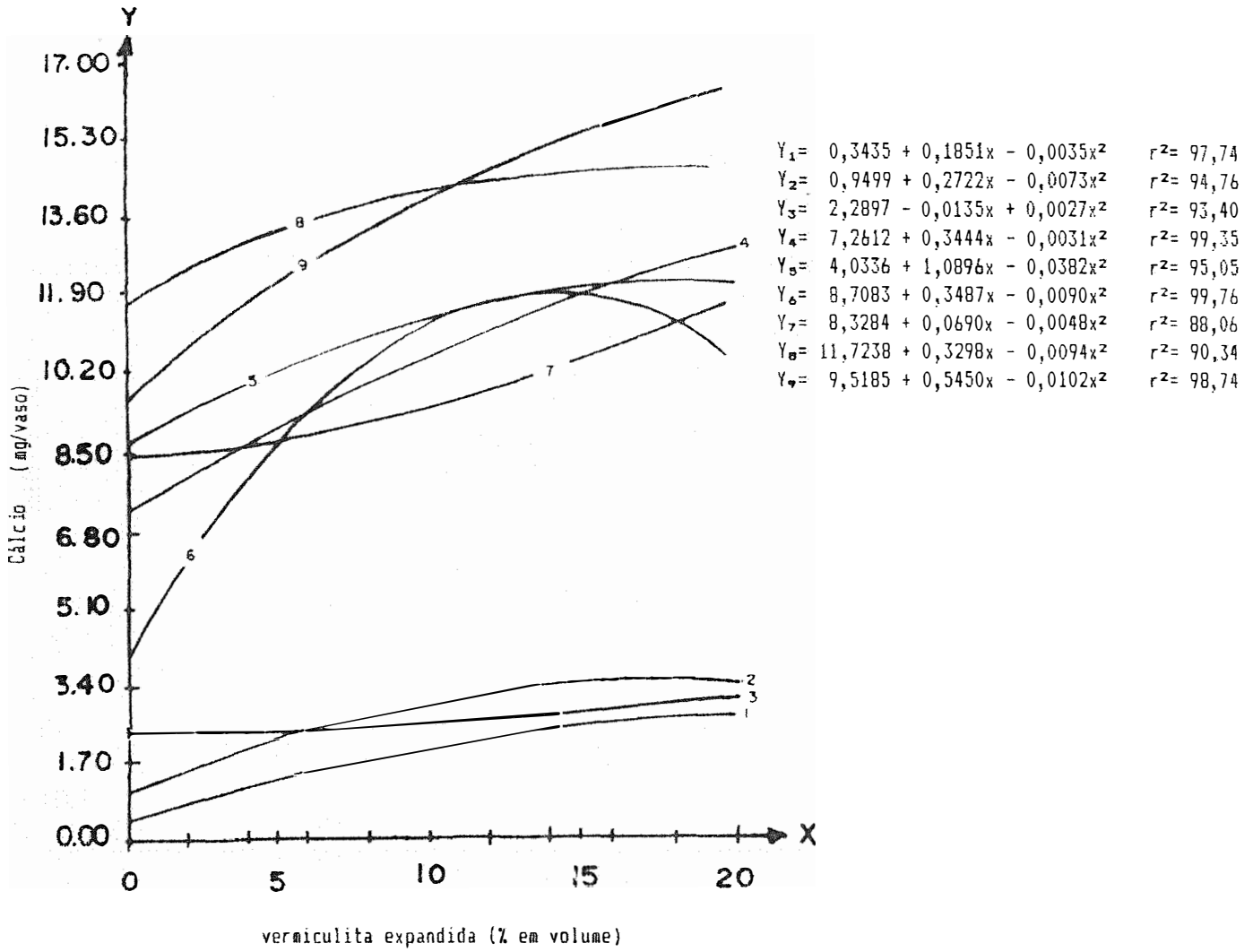
A análise de variância, apresentada no apêndice 10 mostra a influência altamente significativa da vermiculita, fósforo e potássio e das interações em ambos os solos.

Observa-se pela figura 26 que o maior acúmulo de magnésio no Latossolo ocorre com o nível P_{100} na ausência de K



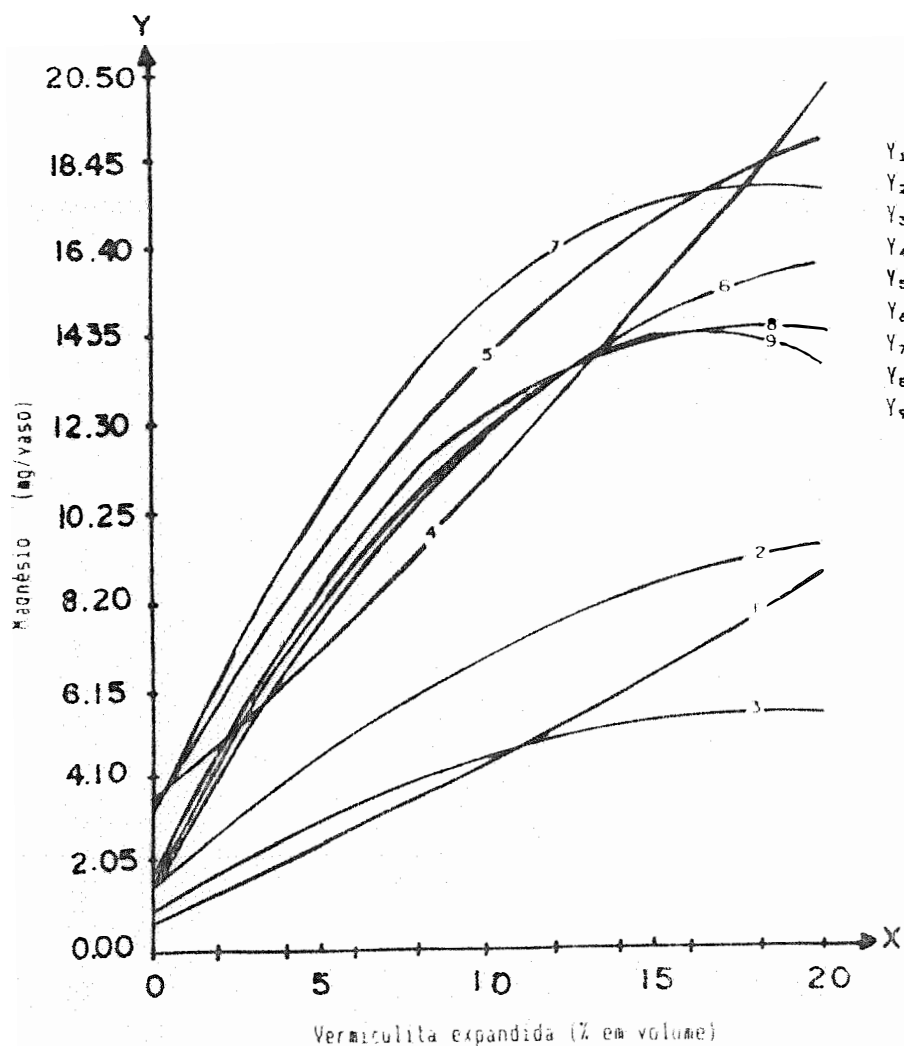
Equações: 1- P₀K₀; 2- P₀K₅₀; 3- P₀K₁₀₀; 4- P₅₀K₀; 5- P₅₀K₅₀
 6- P₅₀K₁₀₀; 7- P₁₀₀K₀; 8- P₁₀₀K₅₀; 9- P₁₀₀K₁₀₀.

FIGURA 24 - Acúmulo de cálcio (mg/vaso), pelo painço, no Latossolo, com doses crescentes de vermiculita expandida (três níveis de fósforo e três de potássio)



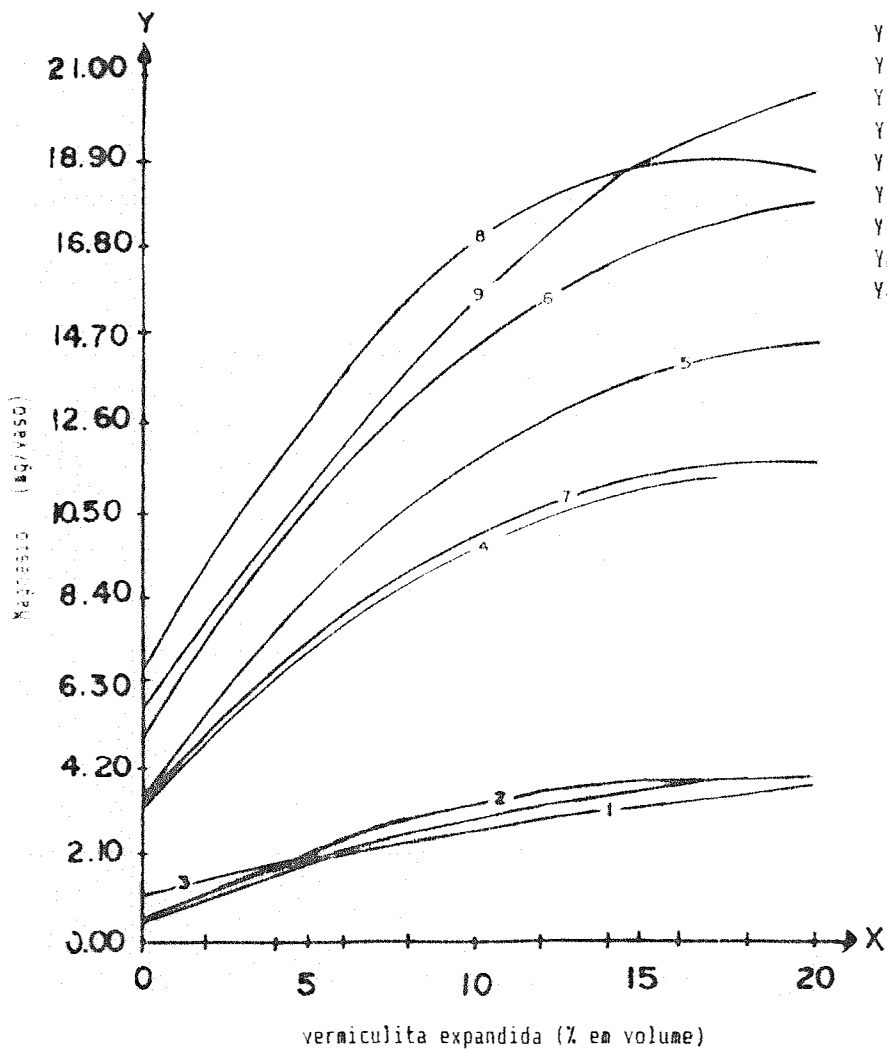
Equações: 1- P₀K₀; 2- P₀K₅₀; 3- P₀K₁₀₀; 4- P₅₀K₀; 5- P₅₀K₅₀
 6- P₅₀K₁₀₀; 7- P₁₀₀K₀; 8- P₁₀₀K₅₀; 9- P₁₀₀K₁₀₀.

FIGURA 25 - Acúmulo de cálcio (mg/vaso), pelo painço, no solo Podzolizado, com doses crescentes de vermiculita expandida (três níveis de fósforo e três de potássio)



Equações: 1- P₀K₀; 2- P₀K₅₀; 3- P₀K₁₀₀; 4- P₅₀K₀; 5- P₅₀K₅₀
 6- P₅₀K₁₀₀; 7- P₁₀₀K₀; 8- P₁₀₀K₅₀; 9- P₁₀₀K₁₀₀.

FIGURA 26 - Acúmulo de magnésio (mg/vaso), pelo painço, no Latossolo, com doses crescentes de vermiculita expandida (três níveis de fósforo e três de potássio)



$$Y_1 = 0,4013 + 0,3254x + 0,0073x^2 \quad r^2 = 89,56$$

$$Y_2 = 0,5186 + 0,3816x - 0,0107x^2 \quad r^2 = 93,14$$

$$Y_3 = 1,1560 + 0,1666x - 0,0019x^2 \quad r^2 = 93,63$$

$$Y_4 = 3,6410 + 0,7629x + 0,0178x^2 \quad r^2 = 99,00$$

$$Y_5 = 3,4172 + 1,0953x - 0,0272x^2 \quad r^2 = 99,73$$

$$Y_6 = 5,5713 + 1,1357x - 0,0259x^2 \quad r^2 = 99,77$$

$$Y_7 = 3,2373 + 0,9129x - 0,0434x^2 \quad r^2 = 97,75$$

$$Y_8 = 6,4212 + 1,4792x - 0,0434x^2 \quad r^2 = 97,75$$

$$Y_9 = 4,7874 + 1,3710x - 0,0293x^2 \quad r^2 = 98,71$$

Equações: 1- P₀K₀; 2- P₀K₅₀; 3- P₀K₁₀₀; 4- P₅₀K₀; 5- P₅₀K₅₀
6- P₅₀K₁₀₀; 7- P₁₀₀K₀; 8- P₁₀₀K₅₀; 9- P₁₀₀K₁₀₀.

FIGURA 27 - Acúmulo de magnésio (mg/vaso), pelo painço, no solo Podzolizado, com doses crescentes de vermiculita expandida (três níveis de fósforo e três de potássio)

e para o Podzolizado (figura 27), o nível de F_{100} na presença K_{50} proporciona o maior acúmulo.

A vermiculita constitui-se numa importante fonte de magnésio para as plantas e, desta maneira aumentou o acúmulo deste elemento na planta teste.

4.3.3. Micronutrientes

As Tabelas 15 e 16 mostram a concentração e o acúmulo de micronutrientes para o Latossolo e Podzolizado na presença de doses crescentes de vermiculita expandida. Neste trabalho deu-se destaque para o zinco, devido as interações que ocorrem no solo entre o zinco e fósforo.

A análise de variância apresentada no apêndice 11, mostra o efeito altamente significativo da vermiculita, fósforo e potássio e das interações no acúmulo de zinco para os dois solos.

Observa-se o efeito significativo da vermiculita e dos níveis de fósforo e potássio no acúmulo de zinco.

As figuras 28 e 29 ilustram o acúmulo de zinco. Nota-se que para o Latossolo o máximo acúmulo ocorre com o nível F_{50} na presença de K_{100} . Para a interação $F_{50}K_{50}$ o ponto de máxima dá-se com 12% de vermiculita e para as demais interações houve um aumento no acúmulo com o acréscimo de vermiculita expandida. Para o Podzolizado o maior acúmulo ocorre com o nível F_{100} na presença de K_{100} . Observa-se que o acúmulo foi menor na ausência de potássio nos dois solos estudados.

E nítida a influência do fósforo no acúmulo de zinco, pois na ausência de fósforo observa-se pelas curvas um decréscimo na concentração e acúmulo de zinco.

Na literatura encontram-se poucos trabalhos em relação à influência da vermiculita expandida na concentração e acúmulo de nutrientes, mas observa-se o efeito significativo da vermiculita expandida no crescimento e absorção de nutrientes pelo painço. Esse efeito pode ser devido a melhora nas condições físicas do solo proporcionando maior retenção de água e nas propriedades químicas, verifica-se um aumento na CTC do solo, favorecendo a adsorção de nutrientes, tornando-os disponíveis para a planta.

Tabela 15 - Concentração e acúmulo de micronutrientes pelo painço, em ppm e ug/vaso, no solo Latossolo, tratado com vermiculita expandida e três níveis de fósforo e potássio (média de quatro repetições).

Tratamento	Zn	Cu	Mn	Fe	Zn	Cu	Mn	Fe
	ppm				ug/vaso			
01 V ₀ P ₀ K ₀	29,25	26,75	74,50	435,00	7,86	7,19	20,08	116,90
02 V ₅ P ₀ K ₀	32,00	30,50	140,25	922,50	15,65	14,65	67,51	444,77
03 V ₁₀ P ₀ K ₀	37,75	40,25	143,50	835,00	26,19	27,87	99,42	531,00
04 V ₂₀ P ₀ K ₀	49,25	34,50	161,50	672,50	60,05	42,04	196,96	320,10
05 V ₀ P ₅₀ K ₀	46,50	39,50	129,00	747,50	44,77	38,07	124,23	319,62
06 V ₅ P ₅₀ K ₀	49,25	18,25	117,50	873,75	70,69	28,27	169,15	1.257,80
07 V ₁₀ P ₅₀ K ₀	51,75	19,25	123,50	805,50	76,54	28,50	182,66	1.210,15
08 V ₂₀ P ₅₀ K ₀	66,00	22,62	171,00	903,00	131,43	45,10	340,63	1.800,83
09 V ₀ P ₁₀₀ K ₀	52,87	31,87	142,75	1.229,50	56,02	33,78	151,25	1.303,10
10 V ₅ P ₁₀₀ K ₀	52,75	31,75	119,50	635,75	77,12	46,43	174,72	929,67
11 V ₁₀ P ₁₀₀ K ₀	39,00	21,25	122,00	632,00	76,30	41,58	238,70	1.337,26
12 V ₂₀ P ₁₀₀ K ₀	37,37	31,50	131,75	638,00	76,69	64,63	270,37	1.509,46
13 V ₀ F ₀ K ₅₀	51,87	21,25	118,75	874,50	21,25	8,70	47,39	358,46
14 V ₅ F ₀ K ₅₀	53,50	47,12	126,00	1.280,00	47,59	41,93	112,10	1.127,52
15 V ₁₀ F ₀ K ₅₀	82,12	50,37	118,00	844,25	99,38	51,00	142,52	1.032,10
16 V ₂₀ F ₀ K ₅₀	89,87	53,75	127,00	843,25	132,79	39,43	137,64	1.251,32
17 V ₀ F ₀ K ₁₀₀	30,37	22,75	125,00	610,00	8,43	6,21	34,12	169,50
18 V ₅ F ₀ K ₁₀₀	61,50	28,75	64,25	813,75	47,31	22,12	49,44	620,20
19 V ₁₀ F ₀ K ₁₀₀	63,50	38,75	75,25	942,00	59,93	37,28	71,04	889,46
20 V ₂₀ F ₀ K ₁₀₀	65,37	44,75	79,25	905,75	90,93	62,27	110,28	1.260,25
21 V ₀ F ₅₀ K ₅₀	60,50	22,25	79,75	794,00	68,90	25,33	90,90	904,47
22 V ₅ F ₅₀ K ₅₀	60,00	27,50	84,75	851,50	121,30	55,60	171,33	1.708,77
23 V ₁₀ F ₅₀ K ₅₀	78,50	49,00	83,00	745,75	181,59	113,39	192,02	1.752,10
24 V ₂₀ F ₅₀ K ₅₀	49,00	22,50	88,00	847,25	127,25	58,41	228,52	2.200,61
25 V ₀ F ₁₀₀ K ₅₀	46,87	38,00	80,00	868,00	47,20	38,27	80,58	874,00
26 V ₅ F ₁₀₀ K ₅₀	46,75	40,50	113,00	869,50	73,41	63,63	177,43	1.366,00
27 V ₁₀ F ₁₀₀ K ₅₀	54,25	46,37	110,50	752,75	111,78	95,86	227,70	1.551,22
28 V ₂₀ F ₁₀₀ K ₅₀	70,75	47,62	123,25	801,25	139,19	93,70	242,48	1.576,43
29 V ₀ F ₅₀ K ₁₀₀	63,75	26,50	103,50	543,25	59,47	24,74	96,58	599,52
30 V ₅ F ₅₀ K ₁₀₀	66,50	26,75	109,25	823,50	171,06	68,81	280,75	2.118,42
31 V ₁₀ F ₅₀ K ₁₀₀	52,75	27,00	109,50	844,00	153,62	78,63	318,90	2.458,10
32 V ₂₀ F ₅₀ K ₁₀₀	68,37	31,50	150,00	939,50	210,80	97,12	462,43	2.898,30
33 V ₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	46,25	31,25	83,50	754,75	47,64	32,24	86,02	778,02
34 V ₅ P ₁₀₀ K ₁₀₀	49,25	24,50	118,75	768,25	116,03	57,73	279,79	1.794,42
35 V ₁₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	53,75	36,00	121,50	886,75	140,41	94,03	317,40	2.316,48
36 V ₂₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	66,50	38,50	148,25	832,50	176,12	102,00	392,68	2.205,37

C.V. 0,72

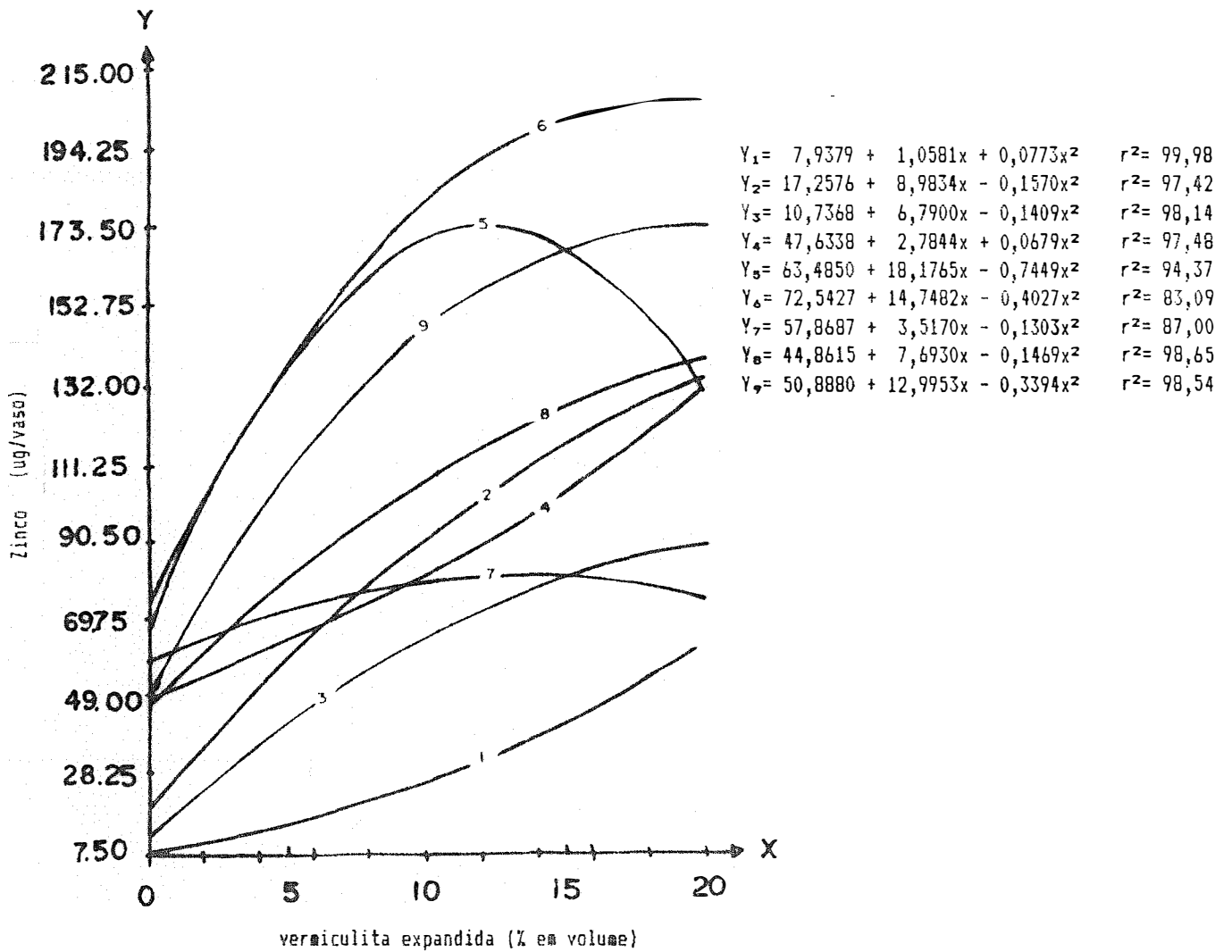
D.M.S. 1,98 ug/vaso (Tukey a 1%)

Tabela 16 - Concentração e acumulo de micronutrientes pelo painço, em ppm e ug/vaso, no solo Podzolizado, tratado com vermiculita expandida e três níveis de fósforo e potássio (média de quatro repetições).

Tratamento	ppm				ug/vaso			
	Zn	Cu	Mn	Fe	Zn	Cu	Mn	Fe
37 V ₀ P ₀ K ₀	30,25	24,75	22,50	421,25	10,13	8,29	7,53	141,10
38 V ₅ P ₀ K ₀	33,75	24,25	56,50	661,25	12,10	8,70	20,25	237,23
39 V ₁₀ P ₀ K ₀	44,00	33,37	67,50	717,50	32,55	24,69	49,94	530,87
40 V ₂₀ P ₀ K ₀	55,50	37,62	129,50	920,00	41,51	28,33	97,44	692,30
41 V ₀ P ₅₀ K ₀	54,37	24,75	139,00	612,50	92,41	41,76	235,18	1.035,86
42 V ₅ P ₅₀ K ₀	52,12	28,00	180,75	833,00	98,58	52,99	341,85	1.575,68
43 V ₁₀ P ₅₀ K ₀	56,62	26,87	192,50	770,00	113,72	53,96	386,58	1.546,40
44 V ₂₀ P ₅₀ K ₀	65,00	27,75	117,00	741,25	140,91	60,21	253,57	1.606,72
45 V ₀ P ₁₀₀ K ₀	64,00	24,00	148,00	724,25	96,12	36,04	222,30	1.087,79
46 V ₅ P ₁₀₀ K ₀	69,25	29,25	175,50	618,75	122,37	51,69	310,12	1.093,46
47 V ₁₀ P ₁₀₀ K ₀	71,75	30,00	171,25	712,50	139,44	58,36	332,97	1.384,90
48 V ₂₀ P ₁₀₀ K ₀	61,00	31,12	164,25	733,75	121,94	62,24	328,32	1.446,92
49 V ₀ P ₀ K ₅₀	74,25	37,12	170,50	673,75	26,21	13,15	60,16	237,92
50 V ₅ P ₀ K ₅₀	80,00	51,75	175,50	841,25	38,92	25,21	85,37	410,06
51 V ₁₀ P ₀ K ₅₀	82,75	41,75	165,00	811,25	59,49	30,03	118,64	583,15
52 V ₂₀ P ₀ K ₅₀	88,25	47,50	169,75	982,50	64,59	34,79	124,27	719,22
53 V ₀ P ₀ K ₁₀₀	80,50	47,37	126,25	680,00	37,60	22,13	58,95	317,52
54 V ₅ P ₀ K ₁₀₀	81,50	47,12	165,25	745,00	46,39	26,85	94,06	424,00
55 V ₁₀ P ₀ K ₁₀₀	84,25	50,87	206,25	802,50	44,81	27,07	109,78	426,75
56 V ₂₀ P ₀ K ₁₀₀	82,00	52,50	202,50	821,25	55,30	35,42	136,50	553,81
57 V ₀ P ₅₀ K ₅₀	80,75	31,12	144,75	673,75	105,90	40,84	189,85	883,62
58 V ₅ P ₅₀ K ₅₀	71,75	35,25	166,50	785,50	144,16	70,87	334,67	1.578,72
59 V ₁₀ P ₅₀ K ₅₀	75,50	37,75	162,00	814,50	168,93	84,90	363,82	1.828,50
60 V ₂₀ P ₅₀ K ₅₀	75,50	41,75	166,25	882,50	170,75	94,42	376,06	1.996,00
61 V ₀ P ₁₀₀ K ₅₀	83,00	33,25	192,75	937,00	160,70	64,40	373,16	1.813,87
62 V ₅ P ₁₀₀ K ₅₀	75,25	35,25	194,75	906,25	165,37	77,47	427,97	1.991,87
63 V ₁₀ P ₁₀₀ K ₅₀	71,12	30,50	199,00	722,50	173,73	74,51	486,09	1.764,95
64 V ₂₀ P ₁₀₀ K ₅₀	74,25	29,62	198,25	788,75	188,37	75,15	502,97	2.013,75
65 V ₀ P ₅₀ K ₁₀₀	71,25	27,25	203,00	827,50	136,55	52,22	389,19	1.586,22
66 V ₅ P ₅₀ K ₁₀₀	68,87	25,25	198,00	830,00	155,46	56,99	446,94	1.873,47
67 V ₁₀ P ₅₀ K ₁₀₀	64,25	28,75	165,25	780,50	160,25	71,71	412,22	1.946,75
68 V ₂₀ P ₅₀ K ₁₀₀	68,00	28,00	167,00	811,00	172,36	70,98	423,30	2.055,57
69 V ₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	70,50	32,25	181,50	797,00	133,82	61,22	344,50	1.512,57
70 V ₅ P ₁₀₀ K ₁₀₀	67,37	32,00	181,75	820,50	159,99	75,42	428,43	1.933,81
71 V ₁₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	55,25	31,87	185,00	830,50	168,71	97,33	567,23	2.572,52
72 V ₂₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	59,50	34,37	198,00	862,50	191,67	110,75	637,87	2.734,32

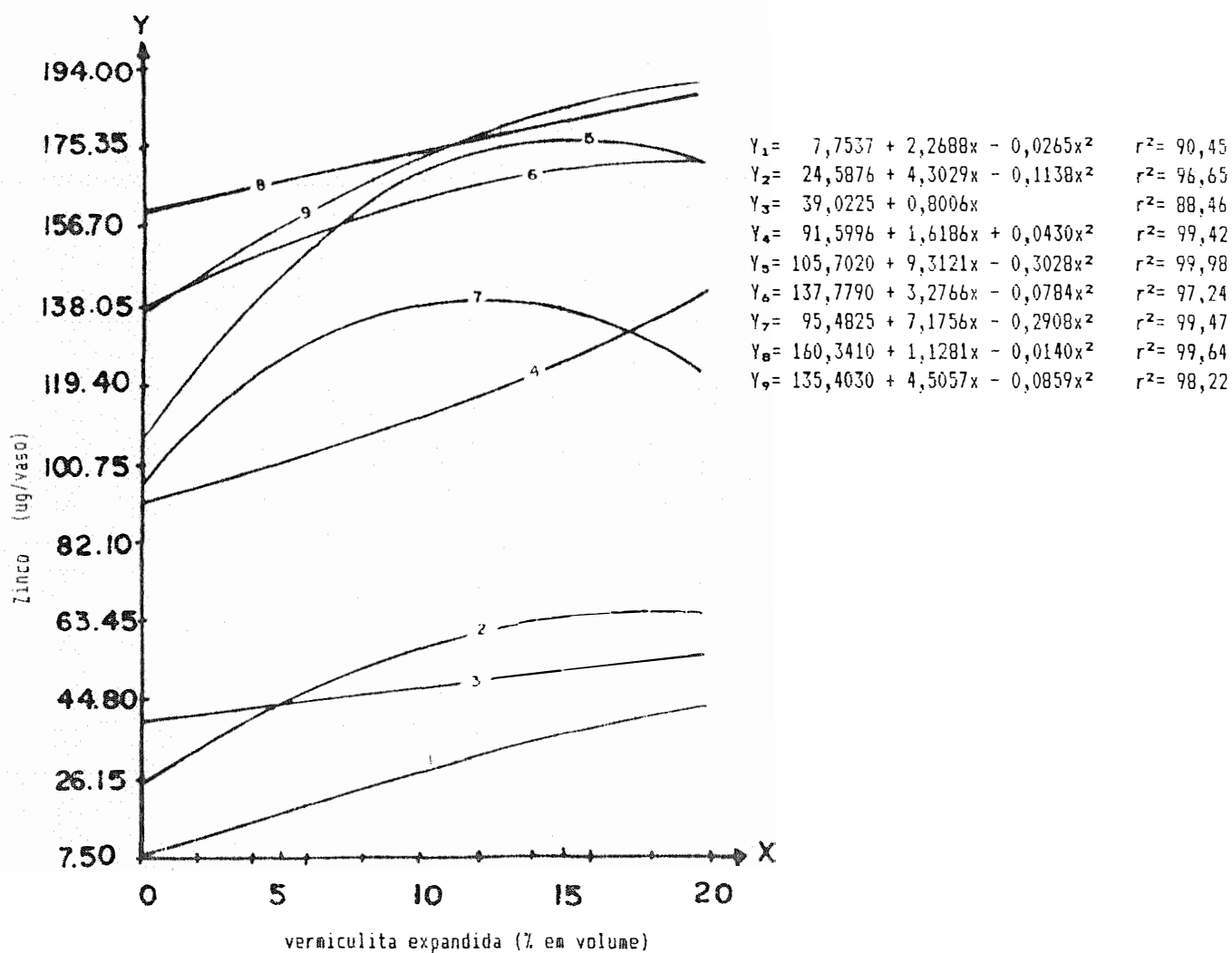
C.V. 0,63%

D.M.S. 2,17 ug/vaso (Tukey a 1%)



Equações: 1- P₀K₀; 2- P₀K₅₀; 3- P₀K₁₀₀; 4- P₅₀K₀; 5- P₅₀K₅₀
 6- P₅₀K₁₀₀; 7- P₁₀₀K₀; 8- P₁₀₀K₅₀; 9- P₁₀₀K₁₀₀.

FIGURA 28 - Acúmulo de zinco (ug/vaso), pelo painço, no Latossolo, com doses crescentes de vermiculita expandida (três níveis de fósforo e três de potássio)



Equações: 1- P₀K₀; 2- P₀K₅₀; 3- P₀K₁₀₀; 4- P₅₀K₀; 5- P₅₀K₅₀
6- P₅₀K₁₀₀; 7- P₁₀₀K₀; 8- P₁₀₀K₅₀; 9- P₁₀₀K₁₀₀.

FIGURA 29 - Acúmulo de zinco (ug/vaso), pelo painço, no solo Podzolizado, com doses crescentes de vermiculita expandida (três níveis de fósforo e três de potássio)

5. CONCLUSÕES

Felos resultados obtidos neste trabalho, pode-se concluir que:

1. A retenção de fósforo e potássio diminui com o aumento nos teores de vermiculita expandida em ambos os solos.

2. A retenção aumentou em valores absolutos mas diminuiu em valores relativos com o aumento nos níveis de fósforo e potássio. A máxima retenção de fósforo ocorreu com o nível P_{100} na presença de potássio. Para o potássio obteve-se a máxima retenção com o nível K_{100} na presença de P.

3. Na presença de $CaCO_3$ p.a e doses crescentes de vermiculita expandida houve um decréscimo na retenção de fósforo e liberação de potássio.

4. A vermiculita expandida aumentou a produção de matéria seca da planta teste (painço), sendo maior com o teor de 20% de vermiculita expandida e para os níveis de P_{50} na

presença de K_{100} para o Latossolo e P_{100} na presença de K_{100} para o solo Podzolizado.

5. A vermiculita expandida e os níveis de fósforo e potássio influenciaram positivamente o acúmulo de nutrientes, sendo que o maior acúmulo ocorreu com o teor de 20% de vermiculita na presença de fósforo e potássio.

6. LITERATURA CITADA

ACQUAYE, D.E.; McLEAN, A.J. & RICI, H.M. Potential and capacity of potassium in some representative soils of Guana. *Soil Science*. Baltimore, **103**: 80-88, 1967.

AHMAD, N. & DAVIS, C.E. Forms of potassium fertilizers and soil moisture content on potassium status of a Trinidad soil. *Soil Science*. Baltimore, **109(2)**: 121-126, 1970.

ALEXIADES, C.A. & JACKSON, M.L. Quantitative determination of vermiculite in soils. *Proceedings of Soil Science Society of America*. Madison, **29**: 522-527, 1965.

ALMEIDA NETO, J.X. & BRASIL SOBRINHO, M.O.C. Fixação de fósforo em três solos sob cerrado de Goiás. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Campinas, **1:(1)**: 12-15, 1977.

AMARASIRI, S.I. & OLSEN, S.R. Liming as related to solubility of phosphorus and plant growth in an acid tropical soil. *Proceedings of Soil Science Society of America*. Madison, **37**: 716-721, 1973.

- AMBERGER, A.; GUTSER, R.; TEICHER, K. Kaliumernahrung der pflanzen und kaliumdynamik auf kalium fixierendem boden. *Plant and Soil*. The Hague, **40**:269-284, 1974.
- ARIFIN, H.F.P. & TAN, K.H. Potassium fixation and reconstitution of micaceous structures in soils. *Soil Science*. Baltimore, **116**(1): 31-35, 1973.
- ATTOE, O.J. Fixation and recovery by oats of potash applied to soils. *Proceedings of Soil Science Society of America*. Madison, **13**: 112-115, 1948.
- AYRES, A.S. Sorption of potassium and ammonium by soils as influenced by concentration and the degree of base saturation. *Soil Science*. Baltimore, **51**: 265-272, 1941.
- BAJWA, I. Soil clay mineralogies in relation to fertility management: Effect of soil clay mineral compositions on potassium fixation under conditions of wetland rice culture. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. New York, **11**(10): 1019-1027, 1980.
- BARBER, R.G. Potassium fixation in some Kenyan soils. *Journal of Soil Science*. Oxford, **30**: 785-792, 1979.
- BARROW, N.J. Differences among a wide-ranging collection of soils in the rate of reaction with phosphate. *Australian Journal of Soil Research*. **18**: 251-224, 1977.

- BARROW, N. J.; BOWDEN, J. W.; FOSNER, A. M. & QUIRK, J. P.
Describing the effects of electrolyte on adsorption of phosphate by a variable charge surface. *Australian Journal of Soil Research*, Melbourne, **18**: 395-404, 1980.
- BARSHAD, I. Cation exchange in micaceous minerals: I. Replaceability of vermiculite with ammonium and potassium ions. *Soil Science*, Baltimore, **77**: 463-472, 1954.
- BIGHAM, J.M.; GOLDEN, D.C.; BUOL, S.W.; WEED, S.B.; BOWEN, L.H.
Iron oxide mineralogy of well-drained Ultisols and Oxisols. II. Influence on color, surface area and phosphate retention. *Journal of Soil Science Society of America*, **42**: 825-830, 1978.
- BITTENCOURT, V.C. & SAKAI, M. Lixiviação do potássio nativo de solos tropicais. *Boletim Científico do CENA*, Piracicaba, **27**: 1-21, 1975.
- BLACK, C.A. Phosphate fixation by kaolinite and other clays as affected by pH, phosphorus concentration, and time of contact. *Proceedings of Soil Science Society of America*, Madison, **7**: 123-133, 1943.
- BLANCHET, R. A phosphate sorption for soils. *Annales Agronomiques*, Paris, **10A**: 121-154, 1959.
- BLANCHET, R.; GUYOT, J.; CHAUSSIDON, J.; CROUZET, J.; CHUMONT, C.
Influence prédominante des argiles illitiques sur l'alimentation potassique des plantes dans divers type de sols. *Annales Agronomiques*, Paris, **16**: 177-202, 1965.
- BOLAN, N.S.; SYERS, J.K.; TILLMAN, R.E. Effect of pH on the adsorption of phosphate and potassium in batch and in column

- experiments. *Australian Journal of Soil Research*, Melbourne, 26: 165-170, 1988.
- BORGGAARD, D. Effect of surface area and mineralogy of iron oxides on their surface charge and anion adsorption properties. *Clays and clay minerals*, 31:230-232, 1983.
- BORRERO, C.; PENA, F.; TORRENT, J. Phosphate sorption by calcium carbonate in some soils of the Mediterranean part of Spain. *Geoderma*, Amsterdam, 42: 261- 269, 1988.
- BRADY, N. C. Colóides do solo: Sua natureza e significação prática. In: _____. *Natureza e Propriedades do Solo*. 6a ed. Rio de Janeiro, Livraria Freitas Bastos S/A. 1983.p. 73-113.
- BRAGA, J. M. & YAMADA, T. Uso eficiente de fertilizantes potássicos. In: ESPINOZA, W. e OLIVEIRA, A. J. (eds). *Anais do Simpósio sobre Fertilizantes na Agricultura Brasileira*. Brasilia, 1984. p. 291-321.
- BRAY, R.H. & DE TURK, E. E. The release of potassium from non-replaceable forms in Illinois soils. *Proceedings of Soil Science Society of America*, Madison, 3: 101-106, 1938.
- BREEUWSMA, A.; WOSTEN, J.H.M.; VLEESHOUWER, J.J.; van SLOBBE, A.M. & BOUMA, J. Derivation of land quality to assess environmental problems from soil surveys. *Journal of Soil Science Society of America*, Madison, 50: 186-190, 1986.
- BROMFIELD, S.M. Relative contribution of iron and aluminum in phosphate sorption by acid soils. *Nature*, London, 201: 321-322, 1964.

- CABALA, R.P. & FASSBENDER, H.W. Efecto del encalado en las formas y disponibilidad de fosfatos en suelos de la región cacaotera de Bahia, Brasil. *Turrialba*. Costa Rica, **21**: 38-46, 1971.
- CALVERT, D.V.; MASSEY, H.F.; SEAY, W.A. The effect of exchangeable calcium on the retention of phosphorus by clay fractions of soils of the Memphis catena. *Proceedings of Soil Science Society of America*. Madison, **24**: 333-335, 1960.
- CANESSA, J.; SANCHO, F.; ALVARADO, A. Retencion de fosfatos en Andepts de Costa Rica. I. Relaciones entre la retencion de fosfatos, el pH em NaF y el aluminio activo. *Turrialba*. Costa Rica, **36**(4): 431-438, 1986.
- CANESSA, J.; SANCHO, F.; ALVARADO, A. Retención de fosfatos en Andepts de Costa Rica. II. Respuesta a la fertilización fosfórica. *Turrialba*. Costa Rica, **37**(2): 211-218, 1987.
- CATANI, R.A. & PELLEGRINO, D. Avaliação da capacidade de fixação de fósforo pelo solo. *Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz*. Piracicaba, **17** (271): 19 - 28, 1960.
- CATANI, R.A. & GLORIA, N.A. Evaluation of the capacity of phosphorus fixation by the soils through the isotopic exchange using $^{32}\text{P}_{15}$. *Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz*. Piracicaba, **21**: 230-237, 1964.
- CHANG, S.C. & CHU, W.K. The fato of soluble phosphates applied to soil. *Journal of soil Science*. Oxford, **12**: 286-293, 1961.

- COLE, C.V. & JACKSON, M.L. Solubility equilibrium constant of dihydroxi-phosphate relating to a mechanism of phosphate fixation in soils. *Proceedings of Soil Science Society of America*. Madison, 15: 84-88, 1950.
- COLE, C.V.; OLSEN, S.R.; SCOTT, C.O. The nature of phosphate sorption by calcium carbonate. *Proceedings of Soil Science Society of America*. Madison, 17: 352-356, 1953.
- COLEMAN, R. The adsorption of phosphate by kaolinitic and montmorillonitic clays. *Proceedings of Soil Science Society of America*. Madison, 7: 134-138, 1943.
- COLEMAN, R. Phosphorus fixation by the coarse and fine clay fractions of kaolinitic and montmorillonitic clays. *Soil Science*. Baltimore, 58(1): 71-77, 1944.
- COOK, M.G. & HUTCHESON, T.B. Soil potassium reactions as related to clay mineralogy of selected Kentucky soils. *Proceedings of Soil Science Society of America*. Madison, 24: 252-256, 1960.
- DAVIS, L.F. Sorption of phosphate by non calcareous Hawaiian soils. *Soil Science*. Baltimore, 40: 129-158, 1935.
- DE, S.K. Adsorption of phosphate ion by hydrogen derivate of Indian montmorillonite (kashmir bentonite). *Soil Science*. Baltimore, 92: 117-119, 1961.
- DE, S.K.; FOY, R.L. & SHERMAN, G.D. Availability of fertilizer phosphorus in three latosols of Hawai. *Agronomy Journal*. Madison, 55 (4): 311-313, 1963.

- DEAN, L.A. Fixation of soil phosphorus. *Advances in Agronomy*, Palo Alto, 1: 391-409, 1949.
- DE FELIPO, B.V. & BRAGA, J.M. Influência da calagem e fontes de potássio na adsorção de potássio em Latossolos em Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Campinas, 7(2): 119-122, 1983.
- DEMUMBRUM, L.E. Potassium fixation as affected by mineralogy in some soils derived from argillaceous chalk. *Soil Science*, Baltimore, 86: 276-281, 1958.
- DEMUMBRUM, L.E. & HOOVER, C.D. Potassium release and fixation to illite and vermiculite as single minerals and in mixtures. *Proceedings of Soil Science Society of America*. Madison, 22: 222-225, 1958.
- DENNIS, E.J. & ELLIS JUNIOR, R. Potassium ion fixation, equilibria, and lattice changes in vermiculite. *Proceedings of Soil Science Society of America*. Madison, 26: 230-233, 1962.
- DE TURK, E.E.; WOOD, L.K.; BRAY, R.H. Potash fixation in corn belt soils. *Soil Science*, Baltimore, 55: 1-12, 1943.
- DOWDY, E. & HUTCHESON, T.D. Effect of exchangeable potassium level and drying on release and fixation of potassium by soils as related to clay mineralogy. *Proceedings of Soil Science Society of America*. Madison, 27: 31-34, 1963.
- FASSBENDER, H. W. Estudio del fósforo en suelos de América Central. IV. capacidad de fijacion de fósforo y su relación con características edáficas. *Turrialba*, Costa Rica, 19(1): 497-505, 1969.

- FOX, R.L. Fertilization of volcanic ash soils en Hawaii. In Panel on soils derived from volcanic ash of Latin American. *Turrialba*. Costa Rica, 6: 1-13, 1969.
- FOX, R.L. & KAMPRATH, E.J. Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirement of soils. *Proceedings of Soil Science Society of America*. Madison, 34: 902-907, 1970.
- FRANKLIN, W.T. & REISENAVER, H.M. Chemical characteristics of soils related to phosphorus fixation and availability. *Soil Science*. Baltimore, 90: 192-200, 1960.
- GAMA, M.V. Sobre o método de Volk para a avaliação da capacidade de fixação de potássio dos solos. *Agronomia Lusitana*. Lisboa, 23: 116-128, 1961.
- GOEDERT, W. & SOUZA, D.M.G. Uso eficiente de fertilizantes fosfatados. In: *Anais do Simpósio sobre Fertilizantes na Agricultura Brasileira*. Brasilia, ESPINOZA, W. & OLIVEIRA, A.J., 1984, P.255-289.
- GRIM, R.E. Clay mineralogy. New York. McGraw-Hill, 1968. 596p.
- HALL, J.K. & BAKER, D.E. Phosphorus fixation by montmorillonite and vermiculite clays as influenced by pH and soluble aluminum. *Proceedings of Soil Science Society of America*. Madison, 35: 876-881, 1971.
- HARRIS, H.C. Effect of lime on the availability and the fixation of potash in soil. *Soil Science*. Baltimore, 44: 265-275, 1937.

- HASEMAN, J.F.; BROWN, E.H.; WHITT, C.D. Some reactions of phosphate with clays and hydrous oxides of iron and aluminum. *Soil Science*, Baltimore, 70: 257-271, 1950.
- HAYNES, R.J. Lime and phosphate in the soil - plant system. *Advance in Agronomy*, Palo Alto, 37: 249-315, 1984.
- HELYAR, K.R.; MUNNS, D.N.; URAU, R.G. Adsorption of phosphate by gibbsite. 1. Effects of neutral chloride salts of calcium magnesium, sodium and potassium. *Journal of Soil Science*, Oxford, 27: 307-314, 1967.
- HEMWALL, J.B. The fixation of phosphorus by soils. *Advances in Agronomy*, Palo Alto, 9: 95-111, 1957.
- HIBBARD, P.L. Factors influencing phosphate fixations in soils. *Proceedings of Soil Science Society of America*, Madison, 28: 337-358, 1939.
- HOLFORD, I.C.R. & MATTINGLY, G.E. Phosphate adsorption and plant availability of phosphate. *Plant and Soil*, The Hague, 44: 377-389, 1976.
- HSU, P.H. Adsorption of phosphate fixation in soils. *Proceedings of Soil Science Society of America*, Madison, 28: 474-478, 1964.
- HSU, P.H. Fixation of phosphate by aluminum and iron in acidic Soils. *Soil Science*, Baltimore, 99(6): 398-402, 1965.
- HSU, P.H. & RENNIE, D.A. Adsorption of phosphate by X-ray amorphous "aluminum hydroxide". *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, 42: 197-209, 1962.

- JACKSON, M.L. Soils chemical analysis advanced course. Madison, Wisconsin, Univ. of Wisconsin. 1956. 991p.
- JACKSON, M.L.; HSEUNG, Y.; COREY, R.B.; EVANS, E.J., VANDEN, R.C. Weathering sequence of clay-size minerals in soils and sediments. II. Chemical weathering of layer silicates. *Proceedings of Soil Science Society of America*. Madison, **16**: 3-6, 1952.
- JOFFE, J.S. & LEVINE, A.K. Fixation of potassium in relation to exchange capacity of soils. I. Release of fixed potassium. *Soil Science*. Baltimore, **62**: 411-420, 1946.
- JOFFE, J.S. & LEVINE, A.K. Fixation of potassium in relation to exchange capacity of soils: III. Factors contributing to the fixation process. *Soil Science*. Baltimore, **63**: 241-247, 1947.
- JONES, R.C. X-ray diffraction line profile analyses versus phosphorus sorption by 11 Puerto Rico soils. *Journal of Soil Science Society of America*. Madison, **124**: 370-376, 1981.
- JUD, A.S.R. & FOX, R.L. Phosphate sorption capacity of some bench-mark soils in West Africa. *Soil Science*. Baltimore, **124**: 370-376, 1977.
- KANWAR, J.S. Phosphate retention in some Australian soils. *Soil Science*. Baltimore, **82**(1): 43-50, 1956.
- KILMER, V.J. & ALEXANDER, V.T. Methods of making mechanical analysis of soil. *Soil Science*. Baltimore, **68**: 15-26, 1949.

- KITTRICK, J.A. & JACKSON, M.L. Electron microscope observation of the reactions of phosphates with minerals leading to a unified theory of phosphate fixation in soils. *Journal of Soil Science*. Oxford, 7: 81-89, 1957.
- LARSEN, S. Soil phosphorus. *Advances in Agronomy*. Palo Alto, 19: 151-209, 1967.
- LARSEN, S.; PERTON, D.J.; SVENSSON, I. Reaction between monocalcium phosphate and calcium carbonate. *Nature*. London, 197: 317-329, 1963.
- LEAL, J.R. & VELLOSO, A.C.X. Adsorção de fosfato em Latossolos sob vegetação de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, 8 (7): 81-88, 1973.
- LINDSAY, W.L. & MORENO, E.C. Phosphate phase equilibria in soils. *Proceedings of Soil Science Society of America*. Madison, 24(5): 117-182, 1960.
- MALAVOLTA, E; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Metodologia para análise de elementos em material vegetal. In: *Avaliação do Estado Nutricional das Plantas - Princípios e Aplicações*. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e Fosfato (Ed), 1989. p.135-184.
- MARCHETTI, M.E. Estudo do comportamento do potássio em solos que receberam quantidades variáveis de minérios vermiculíticos. Piracicaba, 1988. 74p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz"/ USP).

- MARTINI, J.A. & SUAREZ, A. Potassium supplying and fixing capacity of some Costa Rican latosols and andosols determined by successive cropping, extractions, and incubations. *Soil Science*, Baltimore, **123**(1): 37-47, 1947.
- MATTEUS, B.C. & BECKETT, P.H.T. A new procedure for studying the release and fixation of potassium ions in soil. *Journal of Agricultural Science*, Great Britain, **58**: 59-64, 1962.
- McLEAN, E.O. Influence of clay content and clay composition. *Potash Review*, **6**. 1980.
- MELLO, F.A.F. Um método para avaliar a capacidade de fixação de fósforo pelo solo empregando o $^{32}\text{P}_{16}$. *Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz*. Piracicaba, **27**: 347-352, 1970.
- MELLO, F.A.F.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R.I.; COBRA NETTO, A.C.; KIEHL, J.C. O fósforo no solo. In: _____ *Fertilidade do Solo*. São Paulo, Livraria Nobel S/A, 1983. Cap.9, p.179-219.
- MENDOZA, R.E. & BARROW, N.J. Characterizing the rate of reaction of some Argentinian soils with phosphate. *Soil Science*, Baltimore, **143**(2): 105-112, 1987.
- MIELNICZUK, J. O potássio no solo. *Boletim Técnico nº 2*. 2ª ed. Piracicaba, SP. Instituto da Potassa e do Fósforo. Instituto Internacional da Potassa. 1982, 78p.

- MORTLAND, M.M. & GIESEKING, J.E. Influence of the silicate ion on potassium fixation. *Soil Science*, Baltimore, **71**: 381-385, 1951.
- MORTLAND, M.M.; LAWTON, K.; UEHARA, G. Alteration of biotite to vermiculite by plant growth. *Soil Science*, Baltimore, **82**: 477-481, 1956.
- MORTLAND, M.M.; LAWTON, K.; UEHARA, G. Fixation and release of potassium by some clay minerals. *Proceedings of Soil Science Society of America*, Madison, **21**: 381-384, 1957.
- MOSS, P. Some aspects of the cation status of soil moisture. *Plant and Soil*, The Hague, **18**: 99-132, 1963.
- MULJADI, D.; POSNER, A.M.; QUIRK, J.P. The mechanism of phosphate adsorption by kaolinite, gibbsite and pseudo-bohemite. *Journal of Soil Science*, Oxford, **17**(2): 212-247, 1966.
- MURRMANN, R.P. & PEECH, M. Effect of pH on labile and soluble phosphate in soils. *Proceedings of Soil Science Society of America*, Madison, **107**: 249-255, 1969.
- NELLER, J.R. & COMAR, C.L. Factors affecting fixation of phosphorus in soils as determined with radioactive phosphorus. *Soil Science*, Baltimore, **64**: 379-387, 1947.
- NEMETH, K. & GRIMME, H. Effect of soil pH on the relationship between potassium concentration in the saturation extract and potassium saturation of soils. *Soil Science*, Baltimore, **114**: 349-354, 1972.

- NEVES, I.E. Estudo prático de argila por difratometria de raio X. *Boletim Técnico da Petrobrás*. Rio de Janeiro, **11(1)**: 123-135, 1968.
- OLIVEIRA, V.; LUDWICK, A.E.; BEATY, M.T. Potassium removed from some southern brazilian soils by exhaustivic cropping and chemical extraction methods. *Proceedings of Soil Science Society of America*. Madison, **35**: 763-767, 1971.
- OLSEN, S.R. & WATANABE, F.S. A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soils as measured by Langmuir isotherm. *Proceedings of Soil Science of Society of America*. Madison, **21(2)**: 144-149, 1957.
- PAGE, J.B. & BAVER, L.D. Ionic size in relation to fixation of cations by colloidal clay. *Proceedings of Soil Science Society of America*. Madison, **4**: 150-155, 1940.
- PAGE, A.L.; BINGHAM, F.T.; GANJE, T.J.; GARBER, M.J. Availability and fixation of added potassium in two California soils when cropped to cotton. *Proceedings of Soil Science Society of America*. Madison, **27**: 323-326, 1963.
- PAGE, A.L.; BUERGE, W.D.; GANJE, T.J.; GARBER, M.J. Potassium and ammonium fixation by vermiculitic soils. *Proceedings of Soil Science Society of America*. Madison, **31**: 337-341, 1967.
- PARFITT, R.L. Anion adsorption by soils and soil materials. *Advances in Agronomy*. Palo Alto, **30**: 1-50, 1978.
- PENA, F. & TORRENT, J. Relationships between phosphate sorption and iron oxides in alfisols from a river terrace sequence of Mediterranean Spain. *Geoderma*, Amsterdam, **33**: 283-296, 1984.

- PERKINS, A.T. & KING, H.H. Phosphate fixation by soil minerals mica and related groups. *Proceedings of Soil Science Society of America*. Madison, 8: 154-158, 1943.
- RAFAHI, H. Proprietes physico-chimiques et mineralogiques des sols bruns calcaires de L'Iran, retrogradation du potassium. *Canadian Journal of Soil Science*. Ottawa, 60: 119-126, 1980.
- RAIJ, B. van. Avaliação da fertilidade do solo. Piracicaba. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 1981, 142 p.
- RAIJ, B. van. Fósforo. In: _____ *Fertilidade do solo e Adubação*. Piracicaba, Editora Agronômica Ceres. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e Fosfato. 1991, Cap.10, p.181-203.
- RAIJ, B. van & QUAGGIO, J.A. *Métodos de análise de solo para fins de fertilidade*. Campinas, Instituto Agronômico, 1983 (Boletim Técnico, 81).
- RAIJ, B. van, QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S.; BATAGLIA, D.C. *Análise química do solo para fins de fertilidade*. Campinas, Fundação Cargill, 1987. 170 p.
- RALTJE, W. On the natural conversion of calcium-bound phosphorus acid and aluminum and ferric-iron bound phosphoric acid in soil. *Plant and Soil*. The Hague, 13: 159-165, 1960.
- RAMULU, U.S.; PRATT, P.F.; PAGE, A.L. Phosphorus fixation by soils in relation to extractable iron oxides and mineralogical composition. *Proceedings of Soil Science Society of America*. Madison, 31(2): 193-196, 1967.

- RANEY, W.A. & HOOVER, C.D. The release of artificially fixed potassium from a kaolinitic and montmorillonitic soil. *Proceedings of Soil Science Society of America*, Madison, **11**: 231-237, 1946.
- RAVIKOVITCH, S. Influence of exchangeable cation on the availability of phosphate in soils. *Soil Science*, Baltimore, **47**: 357-366, 1939.
- REITEMEIER, R.F. Soil Potassium. *Advances in Agronomy*. Palo Alto. **3**: 113-159, 1951.
- RICH, C.I. Aluminum in interlayers of vermiculite. *Proceedings of Soil Science Society of America*. Madison, **24**:26-32, 1960.
- RICH, C.I. & BLACK, W.R. Potassium exchange as affected by cation size, pH, and mineral structure. *Soil Science*. Baltimore, **97**: 384-390, 1964.
- RICHARDS, G.E. & McLEAN, E.D. Potassium fixation and release by clay minerals and soil clays on wetting and drying. *Soil Science*. Baltimore, **95**(5): 308-314, 1963.
- RITCHEY, K.D. Potassium fertility of Oxisols and Ultisols of the humid tropics. *Cornell International Agriculture Bulletin*. **37**: 45 - 49, 1979.
- RYAN, J.; CURTN, D.;CHEEMA, M.A. Significance of iron oxides and calcium carbonate particle size in phosphate sorption by calcareous soils. *Journal of Soil Science Society of America*. Madison, **49**: 74-76, 1985.

- RYDEN, J.C.; SYERS, J.K.; McLAUGHLIN, J.R. Effects of ionic strength on chemisorption and potential determining sorption of phosphate by soils. *Journal of Soil Science*, Oxford, 28: 62-71, 1977.
- SA JUNIOR, J.P.M.; GOMES, I.F.; VASCONCELOS, A.L. Retenção de fósforo em solos da Zona da Mata de Pernambuco. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 3: 183-188, 1968.
- SAINI, G.R. & McLEAN, A.A. Phosphorus retention capacities of some New Brunswurck soils and their relationship with soil properties. *Canadian Journal of Soil Science*. Ottawa, 45: 15-18, 1965.
- SANTANA, D.P. & MOURA FILHO, W. Estudos de solos do Triângulo Mineiro e de Viçosa: II- Adsorção de fosfatos. *Revista Ceres Viçosa*, 25(140): 301-310, 1978.
- SAWHNEY, B.L. Regularity of interstratification as affected by charge density in layer silicates. *Proceedings of Soil Science Society of America*. Madison, 33: 42-46, 1969.
- SCOTT, A.D.; HANWAY, J.J.; STICKNEY, E.M. Soil potassium-moisture relations: I. Potassium release observed on drying Iowa soils with added salts or HCl. *Proceedings of Soil Science Society of America*. Madison, 21: 498-501, 1957.
- SHARPLEY, A.N. & AHUJA, L.R. Effects of temperature and soil-water content during incubation on the desorption of phosphorus from soil. *Soil Science*. Baltimore, 133(6): 350 - 355, 1982.

- SINGH, R.; MOLLER, M.R.F.; FERREIRA, W.A. Cinética da sorção de fósforo em solos dos trópicos úmidos da Amazônia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Campinas, 7(3): 227-231, 1983.
- SOLIS, F.A.M. Fixação de fósforo em solos que receberam quantidades variáveis das argilas vermiculita e caulinita. Piracicaba, 1981. 88p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz"/USP).
- SOLIS, P. & TORRENT, J. Phosphate sorption by calcareous Vertisols and Inceptisols of Spain. *Journal of Soil Science Society of America*. Madison, 53: 456-459, 1989.
- STANFORD, G. Fixation of potassium in soils under moist conditions and on drying in relation to type of clay mineral. *Proceedings of Soil Science Society of America*. Madison, 12: 167-171, 1947.
- STANFORD, G. & PIERRE, W.H. The relation of potassium fixation and ammonium fixation. *Proceedings of Soil Science Society of America*. Madison, 11: 155-160, 1946.
- STEENKAMP, C.J.; THERON, A.A.; BRUYN, J.A. Kaliumvaslegging in 'n Arcadia-grond: I. Valesgging onder natuurlike toestande. *S. Afr. Journal Plant Soil*. 4(4): 180-182, 1987.
- TAYLOR, A.W. & GURNEY, E.L. The effect of lime on the phosphate potential and resin extractable phosphate in five acid soils. *Proceedings of Soil Science Society of America*. Madison, 29: 482-483, 1965.
- TISDALE, S.L. & NELSON, W.L. Soil fertility and fertilizers. Macmillan Publishing Co., Inc. New York, 1965. 430 p.

- TISDALE, S.L. & NELSON, W.L. Soil fertility and fertilizers. Macmillan Publishing Co., Inc. New York, 1975, p.694.
- VAN DER MAREL. Potassium fixation in Dutch soils: Mineralogical analyses. *Soil Science*. Baltimore, **69**: 261-271, 1954.
- VAN REEUWIJK, L.P. & VILLIERS, J.M. Potassium fixation by amorphous aluminosilica gels. *Proceedings of Soil Science Society of America*. Madison, **32(2)**: 238-240, 1968.
- VELAYUTHAM, M. The problem of phosphate fixation by minerals and soil colloids. *Phosphorus in Agriculture*. Paris, **77**: 1-8, 1980.
- VOLK, N.J. The fixation of potash in difficultly available form in soils. *Soil Science*. Baltimore, **37**: 267-287, 1934.
- VOLK, V.V. & McLEAN, E.O. The fate of applied phosphorus in four Ohio soils. *Proceedings of Soil Science Society of America*. Madison, **27**: 53-58, 1963.
- WALKER, G.F. Vermiculite minerals. In: *The X-ray identification and crystal structures of clay minerals*. Mineralogical Society of Great Britain Nomograph, 1961, p.297-324.
- WEAR, J.I. & WHITE, J.L. Potassium fixation in clay minerals as related to crystal structure. *Soil Science*, Baltimore, **71(1)**: 1-14, 1951.
- WILD, A. The retention of phosphate by soil. A review. *Journal of Soil Science*. Oxford, **1**: 221-238, 1953.
- WILD, A. The effect of exchangeable cations on the retention of phosphate by clay. *Journal of Soil Science*. Oxford, **4**: 72 - 85, 1953.

APENDICE

Apêndice 1 - Análise de variância para a fixação de fósforo pelas amostras com doses crescentes de vermiculita expandida e três níveis de fósforo, 20 dias de incubação

Causas Variação	GL	Latossolo		Podzolizado	
		QM	F	QM	F
Vermiculita (Verm)	3	187,84	125,52 **	81,53	74,30 **
Níveis de P (P)	1	8.607,09	5.751,37 **	4.160,66	3.792,00 **
Níveis de K (K)	2	806,00	538,58 **	440,19	401,19 **
Verm X P	3	2,76	1,84 ns	1,91	1,74 ns
Verm X K	6	36,66	24,50 **	8,68	7,91 **
P X K	2	58,62	39,17 **	158,95	144,86 **
Verm X P X K	6	7,29	4,87 **	2,24	2,04 ns
Resíduo	72	1,49		1,09	
TOTAL	95				

Apêndice 2 - Análise de variância para a fixação de potássio pelas amostras com doses crescentes de vermiculita expandida e três níveis de potássio, 20 dias de incubação

Causas Variação	GL	Latossolo		Podzolizado	
		QM	F	QM	F
Vermiculita (Verm)	3	344,56	91,42 **	561,37	116,62 **
Níveis de P (P)	2	2.244,96	595,64 **	7.916,61	1.644,70 **
Níveis de K (K)	1	28.200,44	7.482,23 **	8.294,30	1.723,16 **
Verm X P	6	271,95	72,15 **	64,65	13,43 **
Verm X K	3	1.666,88	555,62 **	149,11	30,98 **
P X K	2	8.284,56	4.142,28 **	3.911,86	812,70 **
Verm X P X K	6	1.531,67	255,28 **	22,85	4,75 **
Resíduo	72	3,77		4,81	
TOTAL	95				

** significativo a 1%

Apendice 3 - Análise de variância para a retenção de fósforo pelas amostras incubadas com CaCO_3 e quantidades variáveis de vermiculita expandida e três níveis de fósforo, 20 dias de incubação.

Causas Variação	GL	Latossolo		Podzolizado	
		QM	F	QM	F
Sat. em bases (V%)	1	66,50	9,76 **	254,38	91,29 **
Vermiculita (Verm)	3	678,99	99,69 **	407,79	146,35 **
Níveis de P (P)	1	5.218,75	766,25 **	22.946,88	8.235,14 **
Níveis de K (K)	2	318,22	46,72 **	69,81	25,05 **
V% X Verm	3	96,75	14,20 **	49,89	17,90 **
V% X P	1	1.165,25	171,09 **	194,00	69,62 **
V% X K	2	237,60	34,88 **	596,02	213,90 **
Verm X P	3	173,09	25,41 **	14,06	5,04 **
Verm X K	6	12,79	1,87 ns	8,02	2,88 **
P X K	2	1.315,94	193,21 **	221,52	79,50 **
V% X Verm X P	3	147,31	21,63 **	17,04	6,12 **
V% X Verm X K	6	17,64	2,59 *	32,32	11,60 **
V% X P X K	2	947,44	139,11 **	3,52	1,26 ns
Verm X P X K	6	41,23	6,05 **	28,24	10,13 **
V% X Verm X P X K	6	18,87	2,77 **	16,65	5,97 **
Resíduo	144	6,81		2,78	
TOTAL	191				

* significativo a 5%

** significativo a 1%

ns não significativo

Apêndice 4 - Análise de variância para a retenção de potássio pelas amostras incubadas com CaCO_3 e quantidades variáveis de vermiculita expandida e três níveis de fósforo, 20 dias de incubação.

Causas Variação	GL	Latossolo		Podzolizado	
		QM	F	QM	F
Sat. em bases (V%)	1	4.263,87	542,38 **	32,33	4,25 *
Vermiculita (Verm)	3	3.200,90	407,17 **	3.098,12	407,75 **
Níveis de P (P)	2	782,85	99,58 **	540,35	71,11 **
Níveis de K (K)	1	1.117,46	142,15 **	14,45	1,90 ns
V% X Verm	3	40,57	5,16 **	41,67	5,48 **
V% X P	2	534,67	68,01 **	345,50	45,47 **
V% X K	1	628,65	79,96 **	973,57	128,13 **
Verm X P	6	56,83	7,23 **	41,60	5,47 **
Verm X K	3	64,99	8,26 **	71,90	9,46 **
P X K	2	531,32	67,58 **	1.008,42	132,72 **
V% X Verm X P	6	44,54	5,66 **	61,15	8,05 **
V% X Verm X K	3	47,41	6,03 **	33,53	4,41 *
V% X P X K	2	622,83	79,23 **	106,88	14,06 **
Verm X P X K	6	22,50	2,86 **	14,45	1,90 ns
V% X Verm X P X K	6	10,32	1,31 ns	66,92	8,80 **
Resíduo	144	7,86		7,60	
TOTAL	191				

* significativo a 5%

** significativo a 1%

ns não significativo

Apendice 5- Análise de variância para a produção de matéria seca pelo painco, cultivado em quantidades variáveis de vermiculita expandida e três níveis de fósforo e potássio.

Causas Variação	GL	Latossolo		Podzolizado	
		QM	F	QM	F
Vermiculita (Verm)	3	10,72	2.625,91 **	2,73	543,29 **
Níveis de P (P)	2	17,85	4.374,69 **	41,10	8.165,36 **
Níveis de K (K)	2	3,49	855,67 **	1,92	381,78 **
Verm X P	6	0,33	82,04 **	0,17	33,14 **
Verm X K	6	0,45	110,48 **	0,05	10,16 **
P X K	4	0,86	211,70 **	0,76	150,41 **
Verm X P X K	12	0,09	22,95 **	0,12	25,12 **
Resíduo	108	0,01		0,01	
TOTAL	143				

** significativo a 1%

Apendice 6- Análise de variância para o acúmulo de nitrogênio pelo painco, cultivado em quantidades variáveis de vermiculita expandida e três níveis de fósforo e potássio.

Causas de variação	GL	QM	F
Vermiculita (Verm)	3	1.596,59	22,60 **
Níveis de P (P)	2	71.643,70	101,23 **
Níveis de K (K)	2	1.126,59	1,59 ns
Verm X P	6	1.133,43	1,60 ns
Verm X K	6	811,54	1,41 ns
P X K	4	797,17	1,12 ns
Solos	1	118,58	0,16 ns
Residuo	47	707,75	
TOTAL	71		

** significativo a 1%

ns não significativo

Apendice 7 - Análise de variância para o acúmulo de fósforo pelo painco, cultivado em quantidades variáveis de vermiculita expandida e três níveis de fósforo e potássio.

Causas Variação	GL	Latossolo		Podzolizado	
		QM	F	QM	F
Vermiculita (Verm)	3	215,37	2.440,69 **	88,04	3.228,58 **
Níveis de P (P)	2	558,58	6.329,96 **	932,82	34.207,97 **
Níveis de K (K)	2	63,26	716,88 **	35,49	1.301,68 **
Verm X P	6	9,67	109,62 **	3,70	135,84 **
Verm X K	6	8,54	96,86 **	1,05	38,49 **
P X K	4	13,85	156,99 **	10,09	370,23 **
Verm X P X K	12	2,38	27,03 **	2,61	95,66 **
Residuo	108	0,09		0,01	
TOTAL	143				

** significativo a 1%

Apendice B - Análise de variância para o acúmulo de potássio pelo painço, cultivado em quantidades variáveis de vermiculita expandida e três níveis de fósforo e potássio.

Causas Variação	GL	Latossolo		Podzolizado	
		QM	F	QM	F
Vermiculita (Verm)	3	28.545,82	13.769,38 **	14.298,93	3.166,52 **
Níveis de P (P)	2	20.409,21	9.844,60 **	71.589,96	15.853,69 **
Níveis de K (K)	2	64.039,77	30.890,27 **	101.333,99	22.440,54 **
Verm X P	6	966,47	466,17 **	332,98	73,73 **
Verm X K	6	4.542,42	2.191,08 **	605,86	134,17 **
P X K	4	4.008,53	1.933,56 **	21.075,65	4.667,23 **
Verm X P X K	12	288,15	138,99 **	454,90	100,74 **
Resíduo	108	2,07		4,52	
TOTAL	143				

** significativo a 1%

Apêndice 9 - Análise de variância para o acúmulo de cálcio pelo painco, cultivado em quantidades variáveis de vermiculita expandida e três níveis de fósforo e potássio.

Causas Variação	GL	Latossolo		Podzolizado	
		QM	F	QM	F
Vermiculita (Verm)	3	155,91	5.689,22 **	95,28	9.112,21 **
Níveis de P (P)	2	341,69	12.468,11 **	1.268,77	121.331,59 **
Níveis de K (K)	2	14,83	541,32 **	36,00	3.443,08 **
Verm X P	6	11,08	404,52 **	8,04	769,30 **
Verm X K	6	6,72	245,43 **	3,69	353,11 **
P X K	4	21,47	783,42 **	27,76	2.655,09 **
Verm X P X K	12	4,37	159,52 **	4,22	404,01 **
Resíduo	108	0,03		0,01	
TOTAL	143				

** significativo a 1%

Apêndice 10 - Análise de variância para o acúmulo de magnésio pelo painço, cultivado em quantidades variáveis de vermiculita expandida e três níveis de fósforo e potássio.

Causas Variação	GL	Latossolo		Podzolizado	
		QM	F	QM	F
Vermiculita (Verm)	3	941,64	30.321,47 **	491,85	27.717,52 **
Níveis de P (P)	2	524,26	16.881,51 **	1.138,96	64.184,71 **
Níveis de K (K)	2	31,20	1.004,61 **	126,17	7.110,11 **
Verm X P	6	52,75	1.698,71 **	51,52	2.903,64 **
Verm X K	6	8,01	257,94 **	8,19	461,60 **
P X K	4	18,83	606,35 **	49,43	2.785,53 **
Verm X P X K	12	3,06	98,72 **	5,24	295,15 **
Resíduo	108	0,03		0,02	
TOTAL	143				

** significativo a 1%

Apêndice II - Análise de variância para o acúmulo de zinco pelo painço, cultivado em quantidades variáveis de vermiculita expandida e três níveis de fósforo e potássio.

Causas Variação	GL	Latossolo		Podzolizado	
		QM	F	QM	F
Vermiculita (Verm)	3	49.985,12	121.722,80 **	10.166,75	21.153,47 **
Níveis de P (P)	2	55.034,72	136.755,42 **	181.854,35	378.375,76 **
Níveis de K (K)	2	29.636,71	73.644,07 **	21.754,25	45.263,04 **
Verm X P	6	939,99	2.335,78 **	259,61	540,16 **
Verm X K	6	4.231,99	10.516,05 **	183,12	381,02 **
P X K	4	3.969,74	9.864,39 **	1.192,76	2.481,73 **
Verm X P X K	12	1.655,86	4.114,62 **	492,58	1.024,89 **
Resíduo	108	0,40		0,48	
TOTAL	143				

** significativo a 1%