

JOÃO CARLOS DE MORAES SÁ

**MÉTODOS DE PREPARO E CALAGEM PRÉ-IMPLANTAÇÃO AO
PLANTIO DIRETO EM UM SOLO DOS CAMPOS GERAIS,
CENTRO-SUL DO PARANÁ: VARIAÇÃO DAS FRAÇÕES
DE FÓSFORO E RESPOSTA DO MILHO.**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração "Ciência do Solo", Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Agronomia.

Prof.^a Orientadora: Beatriz Monte Serrat Prevedello

CURITIBA
1994

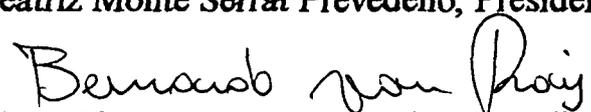
**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO CIÊNCIA DO SOLO
"MESTRADO"**

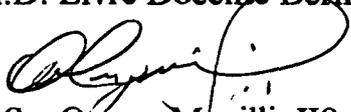
P A R E C E R

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pelo candidato **JOÃO CARLOS DE MORAES SÁ**, com o título: "**Métodos de preparo e calagem pré-implantação ao plantio direto em um solo dos Campos Gerais, Paraná: variação das frações de fósforo e resposta do milho**" para obtenção do grau de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo" do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haver analisado o referido trabalho e argüido o candidato, são de Parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Dissertação com o conceito "**A**" completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo".

Secretaria do Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", em Curitiba 22 de dezembro de 1994.


Profa.Dra. Beatriz Monte Serrat Prevedello, Presidente


Engo.Agro.Ph.D. Livre Docente Bernardo van Raij, I^o Examinador


Engo.Agro.M.Sc. Osmar Muzilli, II^o Examinador.



**“Pouco conhecimento, faz que as criaturas se sintam orgulhosas.
Muito conhecimento, que se sintam humildes.
É assim que as espigas sem grãos erguem desdenhosamente a
cabeça para o céu, enquanto que as cheias à baixam para a terra,
sua mãe”**

(Leonardo da Vinci)

Dedico a

**Márcia (amiga e esposa),
Cássia e Daniel (meus filhos)**

AGRADECIMENTOS

A realização desse trabalho foi fruto da participação de algumas pessoas e entidades, as quais gostaria de externar meus sinceros agradecimentos:

- Aos agricultores pioneiros do plantio direto nos Campos Gerais do Paraná, Franke Dijkstra e Manoel Henrique Pereira, pelo incentivo na realização deste trabalho;
- A Fundação ABC pela oportunidade de realizar tão importante etapa em minha vida profissional;
- Ao Eng^o Agr^o Maury Sade gerente geral da Fundação ABC, pela confiança depositada;
- Ao Eng^o Agr^o Carlito Jacob Los gerente técnico da Fundação ABC, pelo estímulo e compreensão nos momentos difíceis e amizade durante este período;
- Aos colegas do departamento técnico das cooperativas mantenedoras da Fundação ABC pelo estímulo;
- À prof. Dr^a Beatriz Monte Serrat Prevedello pela orientação segura, pelos ensinamentos, pelo estímulo no decorrer do trabalho, pela amizade e confiança;
- Ao prof. M.Sc. Antonio Carlos V. Motta do Departamento de Solos, pelos ensinamentos, pelo apoio, estímulo e amizade;
- Ao prof. M.Sc. Paulo Justiniano do Departamento de Estatística, pelos ensinamentos, pela orientação, realização e apoio nas discussões das análises estatísticas;
- Aos colegas do curso de Pós-Graduação, em especial a Erica Mielke; Benedito Carlos Tanck; Guilherme Holtz e João Antonio Motta, pela amizade durante o curso;

- Aos funcionários do laboratório de Fertilidade do solo e Nutrição de plantas da Universidade Federal do Paraná pelo apoio e consideração prestada;
- Ao técnico agropecuário da Área de Fertilidade de Solos da Fundação ABC, Luiz Carlos Costa, pelo apoio na condução do experimento;
- Ao acadêmico de agronomia da UFPR, Fernando Engler, pelo apoio durante as análises realizadas no laboratório;
- Ao Dr. Heitor Cantarela, chefe da seção de Fertilidade do solo e Nutrição de Plantas e ao Dr. Bernardo Van Raij, do Instituto Agronômico de Campinas, pelo apoio e orientação na análise de fósforo;
- À coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos;
- Em especial, a Márcia, minha esposa, pela amizade, apoio, estímulo e compreensão nos momentos difíceis da condução deste trabalho.

BIOGRAFIA

João Carlos de Moraes Sá, nascido em 09 de fevereiro de 1954, na cidade do Rio de Janeiro-RJ, graduou-se em Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro em 1980.

Durante o curso de graduação foi monitor da disciplina de fertilidade do solo pelo Departamento de Solos e bolsista de Iniciação Científica do Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq), desenvolvendo trabalhos em fertilidade do solo no programa de fixação biológica de N₂, junto ao atual Centro Nacional de Agrobiologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Ainda, durante a graduação, no ano de 1978/79 realizou estágio no setor de Conservação de Solos da Cooperativa Central de Laticínios do Paraná, acompanhando os trabalhos de pesquisa sobre plantio direto, desenvolvidos em convênio com o IAPAR. Após conclusão do curso foi bolsista de aperfeiçoamento profissional pela EMBRAPA, em 1980.

Ingressou no quadro de funcionários da Cooperativa Central de Laticínios do Paraná, em março de 1981 e em abril de 1988 no quadro de pesquisadores da Fundação ABC, do qual faz parte atualmente.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xii
RESUMO	xv
ABSTRACT	xvi
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 O SISTEMA PLANTIO DIRETO: INTRODUÇÃO E IMPLICAÇÕES NA FERTILIDADE DO SOLO	4
2.2 O COMPORTAMENTO DO FÓSFORO NO SOLO: FORMAS DE OCORRÊNCIA E DINÂMICA DAS REAÇÕES DO FOSFATO EM SOLOS ÁCIDOS	12
2.3 EFEITO DA CALAGEM NO P INORGÂNICO DISPONÍVEL E NA FRAÇÃO ORGÂNICA TOTAL	19
2.4 A FRAÇÃO ORGÂNICA DE P: OCORRÊNCIA, DISTRIBUIÇÃO NO PERFIL E MÉTODOS DE AVALIAÇÃO	22
2.5 FRAÇÃO ORGÂNICA DE P: FORMAS, TRANSFORMAÇÕES NO SOLO, RELAÇÕES COM O CARBONO E EVIDÊNCIAS PARA A NUTRIÇÃO DE PLANTAS	33
3 MATERIAL E MÉTODOS	51
3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL E CARACTERIZAÇÃO DO SOLO	51

3.2	CARACTERÍSTICAS DO CLIMA, RELEVO E COMPOSIÇÃO FLORÍSTICA DA REGIÃO	51
3.3	HISTÓRICO DA ÁREA EXPERIMENTAL	52
3.4	PARÂMETROS ESTUDADOS E DESENHO EXPERIMENTAL	53
3.5	MANEJO DAS CULTURAS	56
3.6	PERÍODO DE 1989 A 1992.....	57
3.7	CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO	58
3.8	COLETA DE AMOSTRA DE SOLO	59
3.9	COLETA DE AMOSTRAS DE MATERIAL VEGETAL	60
3.10	MÉTODOS ANALÍTICOS	61
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	65
4.1	EFEITO DE MÉTODOS DE PREPARO E DA CALAGEM PRÉ-IMPLANTAÇÃO AO PLANTIO DIRETO, NO RENDIMENTO DE GRÃOS DE MILHO, NO CONTEÚDO DE P EXTRAÍDO PELO MILHO, NAS FRAÇÕES DE FÓSFORO E NO CARBONO DO SOLO.....	65
4.2	AMPLITUDE DE VARIAÇÃO E RELAÇÕES DAS FRAÇÕES DE P E O C DO SOLO	80
4.3	EFEITO DA EXTRAÇÃO DE P PELA PLANTA DE MILHO, NA VARIAÇÃO DAS FRAÇÕES TOTAIS, LÁBEIS E DO CARBONO DO SOLO	95
5	CONCLUSÕES	105
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107

LISTA DE FIGURAS

1	CICLO ESQUEMÁTICO DAS TRANSFORMAÇÕES DE P NO SOLO	15
2	ESQUEMA DO SUPRIMENTO CONTÍNUO DE P PARA A PLANTÁ.....	15
3	DIAGRAMA DOS COMPONENTES DO CICLO DE P PROPOSTO POR CHAUHAN et al., 1981.....	42
4	CROQUIS DA ÁREA EXPERIMENTAL COM A DISPOSIÇÃO DOS TRATAMENTOS.....	54
5	DIMENSÕES DA UNIDADE EXPERIMENTAL E DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS DE COLETA DE AMOSTRAS DE TERRA.....	60
6	DISTRIBUIÇÃO DOS TEORES DE P_t E P_i EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE DE AMOSTRAGEM, SOB EFEITO DE MÉTODOS DE PREPARO E DA CALAGEM PRÉ-IMPLANTAÇÃO AO PLANTIO DIRETO NA ÉPOCA 1(a) E 2(b).....	69
7	TEOR DE P_o NA ÉPOCA 1(a) E 2(b) EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE DE AMOSTRAGEM, SOB EFEITO DE MÉTODOS DE PREPARO PRÉ-IMPLANTAÇÃO EM UM LE d SOB PLANTIO DIRETO.....	70
8	TEORES MÉDIOS DE P_o NO PERFIL DE UM LE d , SUBMETIDO A CALAGEM E A MÉTODOS DE PREPARO PRÉ-IMPLANTAÇÃO AO PLANTIO DIRETO.....	72

9	VALORES MÉDIOS DA PORCENTAGEM DE P_0 EM RELAÇÃO A P_t NO PERFIL DE UM LED, SUBMETIDO A MÉTODOS DE PREPARO PRÉ-IMPLANTAÇÃO AO PLANTIO DIRETO, NA ÉPOCA 1 (a) E 2 (b).....	73
10	TEORES MÉDIOS DE P (EXTRAÍDO POR MEHLICH) NO PERFIL DE UM LED SUBMETIDO A MÉTODOS DE PREPARO PRÉ-IMPLANTAÇÃO AO PLANTIO DIRETO, NA ÉPOCA 1 (a) e 2 (b).....	75
11	TEORES MÉDIOS DE P EXTRAÍDO PELA RESINA DE TROCA ANIÔNICA NO PERFIL DE UM LED SUBMETIDO A MÉTODOS DE PREPARO PRÉ-IMPLANTAÇÃO AO PLANTIO DIRETO, NA ÉPOCA 1(a) e 2 (b).....	76
12	TEORES MÉDIOS DE CARBONO NO PERFIL DE UM LED SUBMETIDO A MÉTODOS DE PREPARO PRÉ-IMPLANTAÇÃO AO PLANTIO DIRETO, NA ÉPOCA 1(a) E 2 (b).....	78
13	DISTRIBUIÇÃO DOS TEORES DAS FRAÇÕES INORGÂNICAS LÁBEIS (P_m e P_r) EM FUNÇÃO DA FRAÇÃO TOTAL DE P, NA ÉPOCA 1 E 2.....	87
14	DISTRIBUIÇÃO DAS FRAÇÕES INORGÂNICAS LÁBEIS (P_m e P_r) EM FUNÇÃO DA FRAÇÃO INORGÂNICA TOTAL DE P NA ÉPOCA 1 E 2.....	88
15	EFEITO DA VARIAÇÃO DA FRAÇÃO INORGÂNICA TOTAL (P_i) NO GANHO DAS FRAÇÕES LÁBEIS, EM RELAÇÃO AOS MÉTODOS DE EXTRAÇÃO POR P-MEHLICH (P_m) e P-RESINA(P_r).....	91

16	SUPERFÍCIE DE RESPOSTA PARA P_r E P_m EM FUNÇÃO DE P_o E PORCENTAGEM DE P_o ($P_o\%$) EM RELAÇÃO AO P TOTAL EM UM LED SOB PLANTIO DIRETO.....	93
17	SUPERFÍCIE DE RESPOSTA PARA P_r E P_m EM FUNÇÃO DO CARBONO E PORCENTAGEM DE P_o ($P_o\%$) EM UM LED SOB PLANTIO DIRETO.....	94
18	VARIAÇÃO NO CONTEÚDO DE P_t E P_i NO PERFIL, ESTIMADA PELA DIFERENÇA ENTRE OS VALORES DA ÉPOCA 2 E 1.....	99
19	VARIAÇÃO NO CONTEÚDO DE P_o E CARBONO ORGÂNICO NO PERFIL ESTIMADA PELA DIFERENÇA ENTRE OS VALORES DA ÉPOCA 2 E 1.....	100
20	VARIAÇÃO DO GANHO (+) E PERDA (-) DA PORCENTAGEM DE P_o EM RELAÇÃO AO P TOTAL ESTIMADA PELA DIFERENÇA ENTRE A ÉPOCA 2 E 1.....	102

LISTA DE TABELAS

- 1 AMPLITUDE DE VARIAÇÃO DA PORCENTAGEM DE P ORGÂNICO EM
RELAÇÃO AO P-TOTAL, EM HORIZONTES SUPERFICIAIS DE SOLOS DE
DIVERSAS REGIÕES, ENCONTRADA POR VÁRIOS AUTORES.....23
- 2 RESULTADOS DA ANÁLISE QUÍMICA E GRANULOMÉTRICA DO SOLO
(MÉDIA DE 11 AMOSTRAS COMPOSTAS) ANTES DA INSTALAÇÃO DO
EXPERIMENTO, EM MARÇO/1989.....52
- 3 TRATAMENTOS DE PREPARO DO SOLO E CALAGEM APLICADOS NO INÍCIO
DO EXPERIMENTO.....53
- 4 ROTAÇÃO DE CULTURAS ADOTADA NA GLEBA56
- 5 TEOR DE P (EXTRAÍDO POR MEHLICH 1) NO SOLO PARA OS MÉTODOS DE
PREPARO EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE DE AMOSTRAGEM (A); NO
TECIDO FOLIAR (B) E RENDIMENTO DAS CULTURAS (C)..... 57
- 6 RENDIMENTO DE GRÃOS DE MILHO, P EXTRAÍDO PELA PLANTA (PARTE
AÉREA + GRÃOS) EM FUNÇÃO DOS FATORES APLICADOS66
- 7 COMPORTAMENTO DAS VARIÁVEIS P_t , P_i , P_o , $P_o\%$, P_m , P_r , C , $C:P_o$, NA
ÉPOCA 1 E 2, EM FUNÇÃO DOS MÉTODOS DE PREPARO E DA CALAGEM,
EM UM LATOSSOLO VERMELHO ESCURO DISTRÓFICO (Le_d), APÓS 4
ANOS DE PLANTIO DIRETO.....67

8	VALORES MÉDIOS, MÍNIMOS, MÁXIMOS E DESVIO PADRÃO DAS FRAÇÕES P_t , P_i E P_o EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE E DA ÉPOCA DE AMOSTRAGEM.....	80
9	VALORES MÉDIOS, MÍNIMOS, MÁXIMOS E DESVIO PADRÃO DA PORCENTAGEM DE P_o EM RELAÇÃO A P_t , CARBONO E RELAÇÃO C: P_o EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE DE AMOSTRAGEM NA ÉPOCA 1 E 2.....	83
10	VALORES MÉDIOS, MÍNIMOS, MÁXIMOS E DESVIO PADRÃO (dp) DAS FRAÇÕES INORGÂNICAS LÁBEIS EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE E DA ÉPOCA DE AMOSTRAGEM.....	85
11	COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO LINEAR DAS FRAÇÕES DE P E DO CARBONO DO SOLO ENTRE A ÉPOCA 1 e 2.....	86
12	COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO LINEAR (r) ENTRE AS FRAÇÕES INORGÂNICAS LÁBEIS (P_m e P_r) E A PROFUNDIDADE DE AMOSTRAGEM, AS FRAÇÕES TOTAIS, A PORCENTAGEM DE P_o EM RELAÇÃO A P_t E O CARBONO ORGÂNICO.....	87
13	ESTIMATIVA DE EXPORTAÇÃO DE P PELAS CULTURAS E PRODUÇÃO ACUMULADA NO 1º CICLO DA ROTAÇÃO DE CULTURAS NO PERÍODO DO INVERNO/1989 AO INVERNO/1992	96
14	BALANÇO APARENTE DE P NO SOLO: DIFERENÇA ENTRE A EXTRAÇÃO PELA PLANTA (PARTE AÉREA + GRÃOS) E A REDUÇÃO DE P NO SOLO, DETECTADO PELAS FRAÇÕES INORGÂNICAS “LÁBEIS” P_m e P_r	96

15	VARIAÇÃO DO GANHO E PERDA DE P_0 NAS PROFUNDIDADES AMOSTRADAS, SUBMETIDAS A INFLUÊNCIA DE MÉTODOS DE PREPARO E CALAGEM PRÉ-IMPLANTAÇÃO AO PLANTIO DIRETO.....	103
16	COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO LINEAR ENTRE AS FRAÇÕES DE P DO SOLO E O RENDIMENTO DE GRÃOS DE MILHO.....	104

RESUMO

Após quatro anos de estabelecimento do plantio direto em um LE, situado no Campo Demonstrativo e Experimental da Cooperativa Agropecuária Batavo, localizado em Ponta Grossa-PR, determinou-se as frações de fósforo e o carbono orgânico solo em duas épocas e em seis profundidades de amostragem, sob influência de métodos de preparo pré-implantação (arado de disco-0 a 20cm; aivecas-0 a 35 cm; rotativo 0 a 60 cm, na presença e ausência de calcário). O rendimento de grãos de milho e o P extraído pela planta não foi afetado tanto pelo fator preparo quanto pela calagem. O conteúdo das frações totais (Pt e Pi), das inorgânicas lábeis, do carbono orgânico e da porcentagem de Po em relação à Pt, foi significativamente afetado pelos métodos de preparo pré-implantação, de forma diferente em cada profundidade amostrada, na época 1 e 2. Para o Po, o efeito isolado do preparo e profundidade de amostragem, na época 1 foi significativo, enquanto na época 2 a profundidade de amostragem e a interação preparo*calcário foi significativa. Enquanto o coeficiente de correlação linear entre as frações inorgânicas lábeis com as frações totais (Pt e Pi) e o carbono orgânico do solo foi elevado e significativo, para Po foi baixo, porém, significativo. A porcentagem de Po em relação à Pt situou-se entre os valores encontrados por outros autores para regiões tropicais. O Po ao contrário do carbono orgânico apresentou elevado coeficiente de correlação com a relação C:Po. As regressões múltiplas entre as frações inorgânicas lábeis com o Po, o Po% e o carbono orgânico foram significativas, mostrando a interrelação entre estas. Mesmo tendo sido constatado a extração de P superior à detectada pela medida das frações inorgânicas lábeis e a variação expressiva das frações totais entre a época 1 e 2, não foi constatado correlações significativas entre estas e o P absorvido pelo milho. Todavia, o não revolvimento do solo reduzindo a superfície de contato P-colóide do solo, a manutenção de resíduos culturais reabastecendo a fração orgânica de P, parece ser o mecanismo de redistribuição de P nesse sistema de manejo do solo.

ABSTRACT

Four years after the establishment of "no-tillage" in a red dark latosol, located at Batavo Experimental Station in Ponta Grossa-Pr, the phosphorus fractions and the organic carbon was determined at two times and six different depth under different tillage methods (disk plow at 20 cm; moldboard plow at 35 cm and rotary plow at 60 cm), liming levels (without and with lime to 70% base saturation) used before the implementation of this system. The corn yield and the P extracted from the plants were not affected by different methods used. The total fractions of phosphorus, the inorganic available, the organic carbon and the percentage of the organic phosphorus in relation to the total phosphorus, was highly significant affected by the different methods used, at the different soil depth and at the both time the samples were taken. Highly significance difference was observed for the organic phosphorus in the first evaluation for the different method of tillage and soil depth, while in the second evaluation, the soil depth and in the interaction among methods of tillage by limestone showed significant difference. High and significant values for the linear correlation coefficient were observed for available inorganic fractions, for the total phosphorus, total inorganic phosphorus, and the organic carbon, while the organic phosphorus showed a low value but significant. The percentage of the organic phosphorus in relation to the total phosphorus is a value that is being observed in the literature for the tropical regions. The organic phosphorus showed highly correlation coefficient in relation to C:Po, while the organic carbon was low. The multiple regression analysis among the inorganic available fractions with the organic phosphorus, the percentage of the organic phosphorus, and the organic carbon were significant, and showed a relationship among them. Although the extraction of the phosphorus was higher than the measurement taken from the available inorganic fractions and the total fractions in the first and second evaluation, significant difference was not observed among them and the total phosphorus taken by the corn crop. In the presence of "no-tillage" that reduces the contact with P-soil colloidal and the crop residues that increase the organic phosphorus, is showing to be the mechanism that regulates the phosphorus in this soil management system.

1 INTRODUÇÃO

A maioria dos solos brasileiros caracterizam-se pela sua baixa fertilidade natural. A elevada acidez, a presença de alumínio tóxico, a carência de bases trocáveis e a deficiência em fósforo, têm limitado a produção das culturas. A utilização de corretivos para a correção da acidez e a elevação das bases trocáveis, como também a adubação fosfatada, tem sido uma prática comum para aumentar o potencial produtivo dos solos, com notável retorno econômico. Por outro lado, o intenso revolvimento do solo para a implantação das culturas, coincidindo em geral, com a ocorrência de elevadas precipitações durante os estádios de desenvolvimento, têm provocado ao longo dos anos, expressivas perdas por erosão (WUNCHE e DENARDIN, 1978; MONDARDO, 1978). Recentemente, COGO (1991) estimou as perdas de solo por erosão na ordem de $30 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$, com consequências danosas ao meio ambiente, refletindo não somente no potencial da unidade produtiva, através de sua degradação, como também nos mananciais hídricos que abastecem os centros urbanos.

A atenção a sistemas de manejo do solo que controlam a erosão, foi relatado por PHILLIPS, (1984, pg. 2), comentaram que os primeiros trabalhos com técnicas de cultivo com preparo reduzido do solo, é datada de 1940, coincidindo com a introdução de reguladores de crescimento, durante a II Guerra Mundial. Posteriormente, Klingman no Estado da Carolina do Norte-EUA (PHILLIPS, 1984, pg. 2) reportou as primeiras experiências com cultivos sem revolvimento do solo, com vantagens não somente na conservação do solo, como na produtividade das culturas. Os resultados de inúmeros

trabalhos iniciados na década de 60 e 70, nos EUA, (SHEAR e MOSCHLER, 1969; TRIPLETT e VAN DOREN, 1968; MOODY et al., 1961; BLEVINS et al., 1971; LAL, 1976) foram satisfatórios, mostrando os benefícios do sistema denominado plantio direto, sobre o preparo convencional, no armazenamento de água, na influência direta da cobertura do solo no ganho em grãos de milho e na fertilidade residual, devido ao acúmulo de resíduos vegetais na superfície do solo. Da mesma forma, ressaltaram os efeitos expressivos no conteúdo de nutrientes disponíveis para as plantas, com destaque para o fósforo, constatando-se teores de três a cinco vezes superiores ao preparo convencional na camada de 0-5 cm.

Em condições brasileiras, os estudos pioneiros de RAMOS (1976); WUNSCH e DENARDIN (1978); MONDARDO (1978) mostraram a eficiência do plantio direto no controle das perdas de solo por erosão. Posteriormente, MUZILLI (1981a, 1983 e 1985) avaliando a fertilidade do solo nesse sistema, constatou diferenças significativas quanto ao acúmulo de nutrientes no plantio direto, em relação ao preparo convencional. Entre os nutrientes citados, o fósforo apresentou os maiores índices, sendo 4 a 7 vezes superior aos encontrados no preparo convencional, na camada de 0-5 cm, comentando a possibilidade de reduzir em até 50% a adubação fosfatada no plantio direto. Da mesma forma, SIDIRAS & PAVAN (1985) ao relatarem a influência de sistemas de manejo (plantio direto e convencional) na fertilidade do solo, concluíram que o aumento do teor de P, esteve associado ao retômo dos resíduos culturais à superfície do solo.

Em geral, a baixa disponibilidade de fósforo decorre principalmente da acentuada tendência do fosfato em reagir com componentes do solo, notadamente quando se

trata de solos mais intemperizados e ácidos. Assim, o estudo do fósforo neste sistema de manejo, desde a sua implantação até o seu monitoramento após diversas culturas, torna-se relevante para a racionalização do uso de recursos limitados.

Os objetivos deste trabalho são:

a) Avaliar o comportamento das frações de fósforo no solo, quatro anos após o estabelecimento do plantio direto, em seis profundidades amostradas na camada de 0,0 a 30,0 cm, em duas épocas, sob influência de diferentes métodos de preparo do solo, associados ou não ao uso de calcário;

b) identificar a amplitude de variação e as relações entre as frações de fósforo e destas com o carbono orgânico do solo;

c) avaliar o efeito do cultivo de milho na variação das frações de fósforo e do teor de carbono orgânico do solo e sua capacidade de absorção e de aproveitamento do P nas condições estudadas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Os artigos selecionados para a composição deste capítulo, foram ordenados de forma a mostrar os aspectos gerais que envolvem a adoção do plantio direto e suas implicações com a fertilidade do solo, dando-se maior ênfase as particularidades do comportamento das frações de fósforo no solo e das suas relações com o carbono orgânico do solo e com o P absorvido pela planta.

A função básica do P na vida das plantas, é o armazenamento e transferência da energia estrutural, influenciando em maior ou menor taxa fotossintética. Na absorção iônica ativa, facilita o acúmulo de carboidratos nos tecidos e conseqüentemente, o aumento da produção de massa seca. É caracterizado como um elemento constituinte de substâncias estruturais, tais como os nucleotídeos, resultantes da união de bases nitrogenadas (purinas e pirimidinas) com pentoses e radical de ácido fosfórico - os fosfolípídeos - que são derivados de compostos de fosfaditil, tais com a lecitina, além dos ésteres de carboidratos e dos fosfatos de adenosina (MALAVOLTA, et al.,1976; MENGEL e KIRKBY, 1987).

2.1 O SISTEMA PLANTIO DIRETO: INTRODUÇÃO E IMPLICAÇÕES NA FERTILIDADE DO SOLO

A mudança da vegetação natural para sistemas de exploração agropecuária provoca alterações profundas nas propriedades físicas, químicas e biológicas nos solos (LYNCH, 1984; OADES, 1984). A adoção de métodos de preparo é datada de épocas

remotas (LYNCH, 1984), tendo sido intensificada no período de grande desenvolvimento dos países industrializados, principalmente nas regiões de clima temperado cujos solos possuem boa fertilidade natural. Os principais objetivos desses métodos foram: interromper o ciclo entre o inverno e a primavera, expondo o solo à ação dos raios solares para elevar a temperatura; eliminar plantas invasoras e criar condições de germinação e desenvolvimento para os cultivos de verão.

Em regiões tropicais, onde a fertilidade natural dos solos é limitada, devido ao intenso processo pedogenético, a adoção de métodos de preparo, tem como um dos objetivos principais a melhoria das propriedades químicas, visando aumentar o seu potencial produtivo. A elevada acidez, associada à pobreza de bases trocáveis, com teores de alumínio expressivos e a carência de fósforo, têm sido as principais causas da limitação da produção agropecuária nos solos intemperizados dessa área do globo terrestre (KAMPRAATT, 1977). A calagem é a prática mais comum para a eliminação da acidez dos solos (HAYNES, 1984) e, aliada à adubação fosfatada, têm proporcionado notável retorno econômico.

Por outro lado, o uso intensivo dos solos tem desencadeado, em muitas situações, elevadas perdas por erosão, tanto em regiões tropicais quanto temperadas. Inúmeros resultados sobre perdas de solo por erosão hídrica e eólica, demonstram situações alarmantes, como por exemplo a perda de $54 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ em cultivo contínuo de milho, sob preparo convencional (HARROLD e EDWARDS, 1972). A preocupação em desenvolver estudos sobre sistemas conservacionistas de manejo do solo gerou o entrosamento entre diversos segmentos da indústria de máquinas agrícolas, de produtos

agroquímicos e de pesquisadores de diversas áreas de atuação, conforme reportou PHILLIPS (1984, pg. 2). Os primeiros resultados do cultivo de milho em solo sem revolvimento que obtiveram sucesso, foram obtidos por DAVIDSON e BARRONS em 1951 (PHILLIPS, 1984, pg.2 e DICK et al.,1991). Após 1959, com o desenvolvimento pós-guerra, as indústrias de produtos químicos, introduziram a atrazina [6-cloro-N-etil-N-(1-metiletil)-1,2,3-triazina-2,4-diamina], herbicida utilizado para controle de plantas invasoras na cultura do milho. Posteriormente, em 1961, o paraquat, herbicida de ação dessecante e a primeira semeadora comercial, Allis-Chalmers, possibilitaram maior avanço desses estudos na América do Norte, nos estados da Virginia, Maryland, Delaware, Pennsylvania, Ohio e Kentucky (DICK et al.,1991).

O conceito inicialmente adotado, foi derivado da expressão “no-tillage”, que significa sem preparo, definido por JONES et al. (1968), como sendo um procedimento de plantio de uma cultura diretamente sobre uma cobertura vegetal morta quimicamente, ou sobre os resíduos da cultura anterior, sem o preparo mecânico do leito de semeadura. Posteriormente, MUZILLI (1981b; 1991), ampliou o conceito, definindo-o como um processo de semeadura em solo não revolvido, no qual a semente é colocada em sulcos ou covas, com largura e profundidade suficientes para a adequada cobertura e contato das sementes com a terra.

Atualmente, este conceito assume a visão integrada de um sistema, envolvendo a combinação de práticas culturais ou biológicas, tais como: o uso de produtos químicos ou práticas mecânicas no manejo de culturas destinadas à adubação verde, para a formação de coberturas do solo; a manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo; a adoção de

métodos integrados de controle de plantas invasoras, através de cobertura do solo e herbicidas; e o não revolvimento do solo, exceto nos sulcos de semeadura.

Na fase inicial, a preocupação foi avaliar o efeito de vários processos (desde preparo convencional até a utilização de polietileno preto como cobertura do solo) no crescimento e na produção de grãos de milho (MOODY et al., 1961). Os resultados do período de 1960 a 1965 tiveram grande impacto no meio científico (JONES et al., 1968), apresentando, nos três primeiros anos, rendimentos de grãos semelhantes entre o preparo convencional e o plantio direto. Nos anos seguintes o plantio direto foi superior, mostrando ser um sistema de manejo do solo dinâmico.

Dentre os diversos pontos discutidos, três devem ser ressaltados:

- a) as propriedades relativas à água do solo (maior taxa de infiltração, menor escoamento superficial e manutenção de períodos prolongados com maior umidade);
- b) o aumento da fertilidade do solo;
- c) a economia de tempo com maior custo/benefício (JONES et al., 1968; TRIPLETT e VAN DOREN, 1970; BLEVINS et al., 1977; MOSCHLER et al., 1972).

Do ponto de vista da fertilidade do solo, o efeito dos resíduos na liberação de nutrientes e seus reflexos no comportamento das culturas em solos de clima temperado foram relatados por VAN DOREN (1965), que mostrou a influência direta da cobertura do solo no rendimento de grãos de milho, nos tratamentos sem revolvimento. Posteriormente, observou-se em experimentos de longa duração o efeito dos resíduos no acúmulo de nutrientes na camada superficial (TRIPLETT e VAN DOREN, 1968; SHEAR e MOSCHLER, 1969; MOSCHLER et al., 1972) e sua estreita relação com o aumento nos

teores de matéria orgânica. Em consequência, a formação de camadas com teores diferenciados foi observada em diversas situações. Dos macronutrientes, o fósforo é o elemento que possui a menor mobilidade e têm apresentado os maiores acréscimos, com relatos da ordem de 4 a 7 vezes o seu conteúdo no plantio direto em relação ao preparo convencional, na camada de 0 a 5 cm (SHEAR e MOSCHLER, 1969). Em regiões tropicais, LAL (1976) também observou a mesma tendência evidenciando o efeito da interação entre os componentes do clima (temperatura e precipitação) na mineralização dos resíduos e o acúmulo de nutrientes nas camadas superficiais. A interação desses fatores é o efeito mais provável, pois, se por um lado a cobertura morta reduz a amplitude térmica e a perda de água por evaporação (BLEVINS et al., 1977), por outro resulta na melhoria do ambiente para a biomassa microbiana, aumentando sua atividade. A dinâmica da matéria orgânica é alterada, não somente interferindo no ciclo de transformações dos nutrientes nesse sistema, mas também, agindo sobre a estrutura do solo na camada superficial (OADES, 1984). A manutenção da arquitetura de poros pela permanência das raízes das culturas, a ação da meso e macro fauna na fragmentação dos resíduos e formação de galerias influenciam na aeração e no movimento descendente da água, resultando em trocas mais intensas no sistema. A interligação nesses processos de troca entre a camada superficial e a subsuperficial passa a ser mais intensa, refletindo nos mecanismos de adsorção-dessorção e retenção-lixiviação (THOMAS et al., 1973; McMAHON e THOMAS, 1976; DICK e VAN DOREN, 1985; DICK et al., 1991; WALTERS et al., 1992).

Em condições brasileiras, provavelmente as primeiras citações sobre sobre preparo reduzido foram feitas no estado de Minas Gerais, em 1961, por Vieira e Frazier

(MUZILLI, 1981b). Posteriormente, os trabalhos pioneiros de RAMOS (1976) na região Centro-Sul do Paraná, WUNSCHE e DENARDIN (1978) no planalto do Rio Grande do Sul e MONDARDO (1978) no Norte do Paraná enfatizaram a eficiência do plantio direto no controle das perdas de solo por erosão.

Do ponto de vista da fertilidade do solo, foi constatado o efeito dos resíduos culturais no acúmulo de nutrientes e sua influência nas culturas em sucessão (MUZILLI, 1981a, 1983 e 1985; SIDIRAS e PAVAN, 1985; SÁ, 1993a). Nestes trabalhos atribuiu-se os efeitos à mineralização dos resíduos culturais, tal como os resultados da década de 70 nos EUA. Naturalmente, a diferença entre resultados é devida a amplitude das condições edafoclimáticas das regiões brasileiras. Mesmo assim, a presença de resíduos na superfície tem sido o principal fator de contribuição na fertilidade do solo.

Nas décadas de 70 e 80, o questionamento ao manejo da fertilidade do solo no plantio direto foi intenso em diversos segmentos da pesquisa e assistência técnica, principalmente sobre a correção da acidez e o modo de aplicação de fertilizantes. Entre os macronutrientes, o fósforo, devido a sua baixa mobilidade no solo e suscetibilidade às reações de fixação, ocupou a atenção em inúmeros trabalhos relacionados ao modo de aplicação.

SINGH et al. (1966); MOSCHLER et al. (1972); BELCHER e RAGLAND (1972); GRIFFITH (1974) trabalhando em solos com elevada fertilidade e nível de P, ou ambas situações, compararam o uso do fertilizante fosfatado aplicado à lanço na superfície com o localizado ao lado e abaixo da semente, com resultados satisfatórios no rendimento de milho em favor da aplicação à lanço. Por outro lado, KANG e YUNUSA (1977),

trabalhando em solos tropicais no Sul da Nigéria (Oxic Paleustalf), concluíram que o teor de P do solo e a densidade de raízes no cultivo mínimo (sem adição de fertilizante fosfatado) foram superiores ao convencional (com a adição de 40 kg.ha⁻¹ de P). Atribuíram este aumento ao efeito do “mulching” e à mineralização dos resíduos das culturas, estimulando a atividade das raízes.

ECKERT et al. (1985) em solos Typic Fragindalf (Ohio/EUA), obtiveram maiores rendimentos de milho com aplicação de fertilizante fosfatado em forma localizada, com elevado coeficiente de recuperação do P aplicado.

DICK et al.(1991) avaliando a adoção contínua do plantio direto por mais de 25 anos, através de diversos atributos do solo, comentaram que o acúmulo de P disponível, na camada superficial, deveu-se principalmente ao não revolvimento do solo, reduzindo a superfície de contato do elemento com os colóides do solo e a ciclagem das raízes no perfil. Comentaram ainda que a aplicação de fertilizante fosfatado, estaria condicionada à interação de alguns fatores, tais como: as condições climáticas (especialmente a distribuição de chuvas) e o conteúdo de P disponível no solo. Citaram também a diminuição do rendimento de grãos quando ocorreram períodos secos, mesmo com elevados teores de P no solo, indicando nestes casos, a aplicação localizada como a melhor opção.

SÁ (1994, dados não publicados) observou em um latossolo vermelho-escuro distrófico, no Centro-Sul do Paraná, a influência de períodos secos na resposta das culturas de milho e trigo a modos de aplicação de fertilizantes. No rendimento de grãos de milho não ocorrem diferenças estatisticamente significativas entre a aplicação à lanço e a localizada,

devido a distribuição de chuvas adequada durante o desenvolvimento da cultura. Entretanto, foi notável essa diferença na cultura do trigo, quando ocorreu longo período seco.

A adequação do solo tanto química quanto fisicamente, tem sido um pré-requisito para a adoção do plantio direto nas diversas regiões brasileiras. Do ponto de vista da correção da acidez vários métodos de preparo tem sido utilizados para a incorporação de corretivos ao solo. COUSENS e MOSS (1980) utilizaram sementes de ervas daninhas como indicadoras de avaliação da distribuição de partículas e observaram que os implementos de disco tendem a realizar uma distribuição mais uniforme no solo. GONZALES-ENRICO et al. (1979) mostraram que a incorporação de calcário em maior profundidade (até 30 cm) com um arado de aivecas proporcionou os maiores rendimentos de milho. Por outro lado, maior atenção é necessária para avaliar os efeitos sobre outros elementos químicos do solo, uma vez que diferentes procedimentos podem causar efeitos diferenciados na distribuição de corretivos e adubos aplicados ao solo (COUSENS e MOSS, 1980).

Muitas lacunas ainda permanecem obscuras sem maior conhecimento, não somente em relação ao desdobramento das diversas frações, mas também, às formas de ocorrência de P no plantio direto. A atenção de inúmeros pesquisadores têm sido destinada à compreensão do comportamento desse elemento, principalmente em situações de contínua adoção do sistema, assunto que tem gerado inúmeras discussões nas diversas áreas da ciência do solo.

2.2 O COMPORTAMENTO DO FÓSFORO NO SOLO: FORMAS DE OCORRÊNCIA E DINÂMICA DAS REAÇÕES DO FOSFATO EM SOLOS ÁCIDOS

A discussão sobre os mecanismos que governam as transformações de P nos solos é muitas vezes exaustiva, tamanha a sua complexidade devido à interferência de diversos fatores que condicionam suas reações no solo (LARSEN, 1967; BARROW e SHAW, 1974; MANSELL et al., 1976; McLAUGHLIN et al., 1977; RYDEN et al., 1977). Representar a absorção de P pelas plantas através de modelos têm sido o desafio para inúmeros pesquisadores, em diversas regiões do globo terrestre. Lacunas sobre os passos de uma série de desdobramentos ainda estão em aberto. Ao relacionar-se as plantas, através de sua capacidade de extração do reservatório de onde retira o P para seu desenvolvimento, uma vasta argumentação sobre conceitos, modelos e mecanismos tem sido desenvolvida para explicar esta relação, não somente abrangendo as reações de equilíbrio, mas também, as transformações biológicas de frações estáveis no solo.

A distribuição do P no solo engloba desde a sua participação na rede cristalina de alguns minerais até formas orgânicas estáveis, compondo a fração total (Pt) e esta constitui-se de uma fração inorgânica (Pi) e orgânica (Po). Geralmente, o Pt é um índice de pouco valor para refletir a resposta das culturas, devido à baixa solubilidade dos compostos de fósforo. JORGE e VALADARES (1969); CATANI e BATAGLIA (1968) mostraram em condições brasileiras que mesmo em valores elevados de P total (1493 mg.kg^{-1}), ocorreram deficiências do nutriente para várias culturas.

A fração inorgânica de P no solo, encontra-se dividida em duas fases (GUNARY e SUTTON, 1967; MANSELL et al., 1976; RAIJ, 1991):

a) Fase líquida ou solução do solo: o P ocorre geralmente, em teores muito baixos. Em um exemplo apresentado por RAIJ (1991, pg. 188) com valores elevados (da ordem de $0,1 \text{ mg.kg}^{-1}$), o P solúvel existente na camada de 0 a 20 cm do solo, seria de 50 g.ha^{-1} , insuficiente para suprir as necessidades das culturas. Em condições de maior acidez, a forma de H_2PO_4^- é predominante, enquanto, em valores de pH acima de 7,0, prevalece o HPO_4^{2-} .

b) Fase sólida: o P encontra-se em sua maior parte combinado com compostos de ferro, alumínio, cálcio e na matéria orgânica. O P que se encontra na fase sólida, é conceitualmente dividido em P lábil e P não lábil, sendo a fração lábil mais disponível para as plantas, enquanto a fração não lábil, está fortemente adsorvida ou precipitada em compostos insolúveis.

Do ponto de vista das reações de equilíbrio da fração inorgânica, LARSEN (1967); GUNARY e SUTTON (1967); MANSELL et al. (1976), classificaram as formas inorgânicas em quatro principais fases:

- a) Compostos de P solúveis em água, na solução do solo;
- b) P fisicamente adsorvido, localizado na superfície das paredes de poros e nos colóides;
- c) P imobilizado (ocluso e quimioadsorvido) ou P fixado, que se transforma após a adsorção inicial através de ligações físicas fracas, para ligações químicas fortes;
- d) P precipitado na solução do solo, em formas insolúveis.

Dessa forma, o P solúvel adicionado aos solos tende a passar rapidamente para formas menos solúveis. O processo, com conseqüente redução na disponibilidade para as plantas, é genericamente conhecido como retenção ou “fixação” de P. As reações no sentido inverso (dessorção, mobilização e dissolução) ocorrem de forma diferenciada. A reação de adsorção-dessorção parece ocorrer rapidamente nos solos e o equilíbrio pode ser obtido em poucos minutos ou horas (BARROW e SHAW, 1975; BLACK, 1968). Já as reações de imobilização-mobilização ocorrem lentamente, atingindo o equilíbrio em dias ou meses. A precipitação-dissolução provavelmente ocorre à taxas intermediárias as reações de adsorção-dessorção e imobilização-mobilização (LARSEN et al., 1967; RYDEN et al., 1977; MUNNS e FOX, 1976).

A fração de P-lábil nos solos tem sido mensurada através de processos isotópicos, por inúmeros pesquisadores desde 1948, em laboratório ou em casa de vegetação (MATTINGLY, 1974). Vários desses trabalhos foram revisados (LARSEN, 1967), mais com o objetivo principal de medir o P lábil em relação à sua disponibilidade do que a caracterização de formas de P no solo. Por outro lado, os fosfatos inorgânicos estão classificados de acordo com os ligantes e a natureza das reações, influenciadas principalmente pelo pH e a característica das superfícies (CHANG e JACKSON, 1957).

O esquema adotado por MANSELL et al. (1976), para simular as transformações do P aplicado ao solo (figura 1), ilustra o caminhamento do elemento.

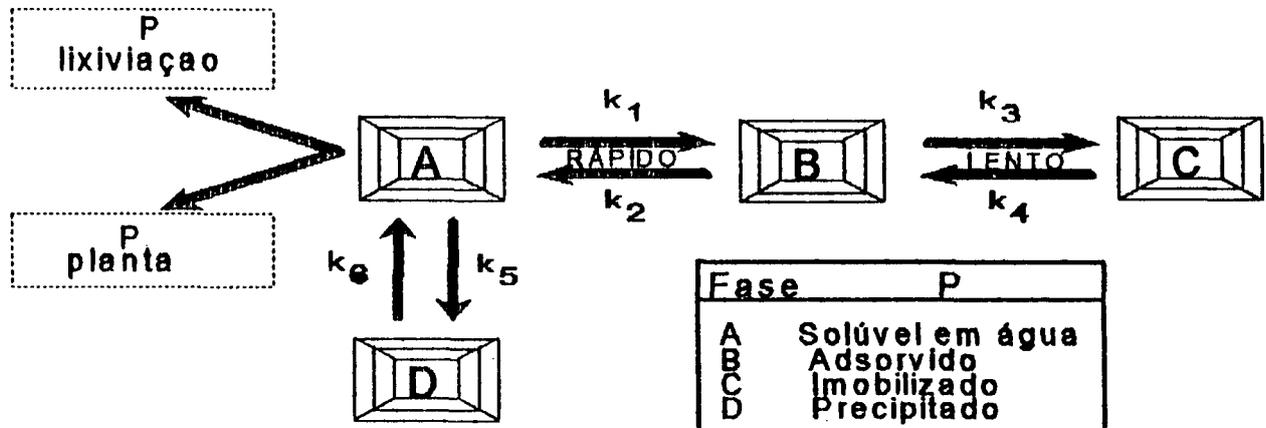


FIGURA 1. CICLO EQUEMÁTICO DAS TRANSFORMAÇÕES DE P NO SOLO

Este modelo foi estabelecido para descrever as transformações e o transporte do P aplicado durante o fluxo de água no solo. As transformações de P foram governadas por reações cinéticas, onde a teoria do transporte de massa (convecção-dispersão) foi utilizada e, em todos os casos estudados, os coeficientes tentaram refletir as faixas existentes no solo.

Avaliando o suprimento contínuo de P para as plantas, GUNARY e SUTTON (1967), sugeriram a seguinte representação (figura 2):

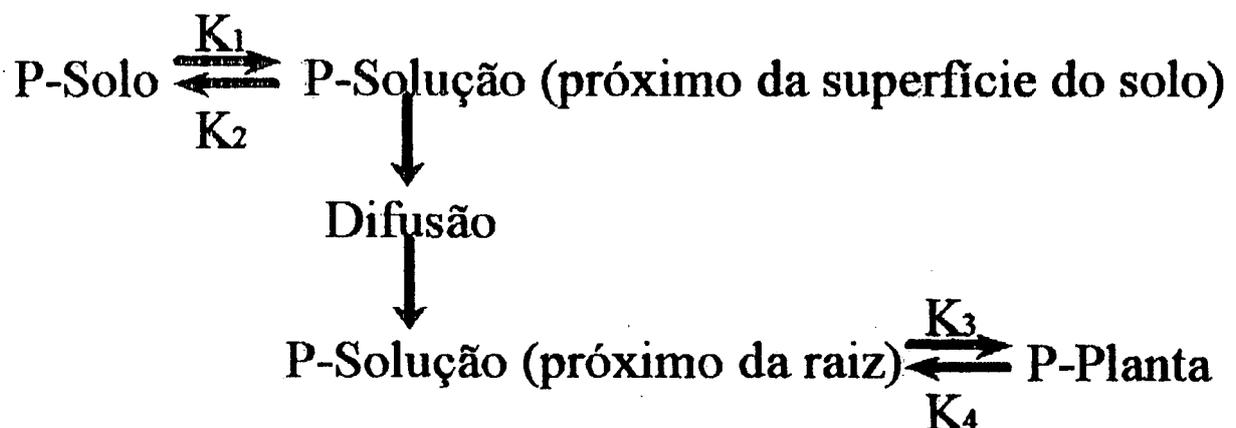


FIGURA 2. ESQUEMA DO SUPRIMENTO CONTÍNUO DE PARA PLANTA.

A quantidade de P absorvido pela planta, dependeria do P-solução, representado pela concentração do elemento na solução do solo (fator “intensidade”), do P-lábil (P-solo), que representa a reserva de P no solo (fator “quantidade”), da relação entre as constantes k_1/k_2 (poder tampão do solo, representando o fator “capacidade”) como uma medida da capacidade do solo em manter um determinado nível de P em solução e das constantes k_3 (influxo) e k_4 (efluxo). Dependendo do estágio de desenvolvimento da planta o efluxo (k_4) pode ser desprezível. Porém, se a taxa de absorção for superior, o influxo (k_3) será limitante. Em condições normais de crescimento e oferta de P à solução, k_3 e k_4 não seriam importantes e o sistema seria reduzido a quatro fatores primários: quantidade (P-solo), capacidade (k_1/k_2), intensidade (P-solução) e difusão.

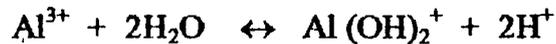
Assim, para que a absorção seja contínua, o P deve liberar-se da fase sólida e movimentar-se por difusão até a superfície das raízes. Este deslocamento depende não somente dos teores de P em solução, como também, do poder tampão, do P-lábil, da umidade e de outros fatores do solo (BARBER, 1984).

Face ao exposto, dois mecanismos de “fixação” de P destacam-se em função do tempo para atingir o equilíbrio: a *precipitação*, que consiste na formação de compostos insolúveis ou de baixa solubilidade e a *adsorção*, que consiste na retenção do P solúvel na superfície de certos constituintes ou em formas livres de ferro e alumínio (FASSBENDER, 1984; KARIM e ADAMS, 1984).

A reação de precipitação é decorrente da combinação dos íons Fe^{3+} , Al^{3+} e Mn^{2+} , liberados para a solução do solo durante o processo de intemperização de solos naturalmente ácidos, com o íon fosfato resultando em produtos de baixa solubilidade.

Como exemplo, a reação de precipitação do P pelo alumínio é esquematizado a seguir (KAMPRATH, 1977):

a) Hidrólise



b) Precipitação



O processo de adsorção de P à superfície de argilas sequioxídicas tem sido proposto como sendo uma reação de troca de ligantes em que oxidrilas e/ou moléculas de água coordenadas com ferro e alumínio, são deslocadas pelos íons fosfato (PARFITT et al., 1975). Do ponto de vista de mecanismos de reação, FASSBBENDER (1984) diferenciou a adsorção em dois grupos, considerando o grau e tipo de ligação entre o P e a superfície adsorvente da partícula do solo, denominados de adsorção específica e não específica. O primeiro caso trata-se de uma ligação química de natureza covalente, ocorrendo na superfície dos colóides de carga pH dependente, com elevada força de atração, independente da carga existente em sua superfície, resulta em P não lábil com o passar do tempo. No segundo caso ocorre uma atração eletrostática entre os ligantes, influenciados pelo pH e, é essencial que o pH esteja abaixo do ponto de carga zero, possibilitando a formação de carga positiva nos colóides de carga variável.

RYDEN et al. (1977) diferenciaram didaticamente os mecanismos de adsorção específica em três regiões distintas dos óxidos hidratados de ferro:

colóides adsorventes, tais como, a gibbsita, goethita, hematita, alofanos, minerais de argila de tipo 2.1 e em CaCO_3 . Destacou que a variação da adsorção em relação à natureza mineralógica da fração argila no solo é muito variável, porém, há um aumento da adsorção quando da passagem de tipo 2.1 para tipo 1.1 e, para óxidos de Fe e Al. O mesmo autor apresentou resultados de solos do estado de São Paulo, onde praticamente não se verifica a influência das argilas silicatadas na adsorção de P, devido ao seu recobrimento pelos óxidos de Fe e Al.

Tratando-se de solos muito intemperizados, em inúmeras situações é comum a interação de efeitos, indicando que esses mecanismos são sensivelmente influenciados por vários fatores, que aumentam ou reduzem a concentração de P na solução do solo (RAIJ e DIEST, 1980; RAJAN, 1974). Da mesma forma, algumas práticas agronômicas provocam alterações profundas no seu comportamento.

2.3 EFEITO DA CALAGEM NO P INORGÂNICO DISPONÍVEL E NA FRAÇÃO ORGÂNICA TOTAL

Apesar da prática de calagem em solos tropicais ácidos, ser muito difundida, o seu efeito na disponibilidade de P ainda não está bem delineado. Do ponto de vista da adsorção de P, vários estudos têm mostrado que esta decresce com o aumento do pH do solo (FRIESEN et al., 1980; LOPEZ e BURHNAM, 1974; OBIHARA e RUSSEL, 1972; SMYTH e SANCHEZ, 1980; UDO e UZU, 1972). Ao longo do tempo, esse efeito resulta no aumento de cargas negativas, reduzindo a adsorção e aumentando a dessorção de P

(HAYNES, 1984). Na realidade, ocorre o aumento da competição entre o P e oxidrila pelos sítios de adsorção devido ao aumento de cargas na superfície dos colóides fixadores de P. Apesar da evidência do efeito da calagem no aumento da disponibilidade de P em solos com elevado teor de alumínio trocável (KAMPRATH, 1977; OBIHARA e RUSSEL, 1972) o fracionamento das formas inorgânicas, tem revelado a importância do P ligado ao Fe em solos muito intemperizados, conforme mostraram CABALA e FASSBENDER (1970) em solos da região cacauzeira da Bahia, concluindo que a deficiência generalizada de P estava mais associada à P-Fe (24,8%), do que à P-Al (2,0%). BRAGA e DEFELIPO (1972) trabalhando com a camada superficial de solos do Triângulo Mineiro, também observaram maior correlação do P-Fe em relação ao P-Al.

Do ponto de vista da resposta das plantas, a maior absorção de P, não é exclusivamente devido ao aumento da disponibilidade pela calagem, mas pela maior capacidade das raízes em absorver o nutriente (REEVE e SUMNER, 1970; FRIESEN et al., 1980; HAYNES, 1984; SOUZA, 1980). Tal capacidade pode ser atribuída a maior proliferação do sistema radicular como reflexo da melhoria do ambiente radicular ou mesmo ao aumento da capacidade absorptiva das raízes. Neste caso, diversos fatores podem estar envolvidos, tais como: presença e infecção de micorrizas (HAYMAN, 1978), a afinidade e a capacidade expressa pelo K_m e V_{max} , a atividade de microorganismos na rizosfera, a excreção de materiais carbonatos pelas raízes, que podem complexar o P em formas mais disponíveis (BARBER, 1977) e a exsudação de H^+ e OH^- , como resultado do balanço cátion-ânion, durante a absorção de nutrientes (RILEY e BARBER, 1971).

Por sua vez, o efeito da calagem na fração de P orgânico do solo é relevante, principalmente no reservatório natural de fósforo no solo. A natureza química e os fatores que influenciam o balanço da mineralização e a imobilização no solo têm sido muito revisados (DALAL, 1976; ANDERSON e DOMSCH, 1980). O efeito estimulador da calagem na mineralização do P orgânico foi reportado por inúmeros pesquisadores (THOMPSON et al., 1954; AWAN, 1964; LUCAS e BLUE, 1972). Segundo ANDERSON e DOMSCH (1980) esse efeito é devido ao surgimento de um ambiente favorável para o crescimento e atividade da biomassa microbiana e provavelmente ao aumento da solubilidade e disponibilidade de ésteres de fosfato. No trabalho de LUCAS e BLUE (1972) em duas situações (solo virgem e pastagem), a aplicação de calcário reduziu o P orgânico de 1002 para 630 e de 1198 para 821 mg.kg⁻¹, respectivamente, mostrando o efeito da mineralização. AWAN (1964), observou que a calagem reduziu o P orgânico total aumentando o P inorgânico total e o P disponível e quando adicionou fertilizante fosfatado o resultado foi mais pronunciado. Concluiu que a calagem nesses solos ácidos liberou o P da fração orgânica e aumentou a eficiência do P aplicado para as culturas.

A evolução dos estudos do ciclo de P no solo desencadeou em diversos segmentos uma visão interativa do sistema que tem sido conceitualmente definido a partir de transformações mensuráveis de seus componentes inorgânicos e orgânicos (STEWART e McKERCHENER, 1982; STEWART e SHARPLEY, 1987; STEWART e TIESSEN, 1987; COLE et al., 1978). Parte do P inorgânico da solução seria adsorvido e/ou precipitado na formação de minerais secundários e, em solos geneticamente mais evoluídos, convertido em formas oclusas; outra parte do P inorgânico seria absorvido pelos vegetais e

retornaria através dos resíduos e parte seria assimilado pela biomassa microbiana, sendo reintroduzido na solução como P inorgânico e/ou P-orgânico. A decomposição dos resíduos e mineralização do P-orgânico, forneceria P inorgânico para a reassimilação microbiana, absorção pelas plantas e reação com os componentes minerais no solo. Relacionando esses efeitos em solos sem revolvimento, com a manutenção do sistema radicular inalterado e dos resíduos da parte aérea na superfície, as interrelações tornam-se dinâmicas no tempo.

2.4 A FRAÇÃO ORGÂNICA DE P: OCORRÊNCIA, DISTRIBUIÇÃO NO PERFIL E MÉTODOS DE AVALIAÇÃO

O interesse no estudo da fração orgânica de P em ecossistemas naturais e agroecossistemas, tem resultado não somente em avanços no conhecimento de sua amplitude de variação, formas e mecanismos de estabilização nos horizontes superficiais do solo, mas também, na sua contribuição ao suprimento de P para a nutrição das plantas.

A distribuição porcentual de P orgânico em relação ao P-total, é muito variável e depende de vários fatores, tais como: do material de origem; do grau de evolução pedogenética dos solos; do conteúdo de carbono e da ação dos componentes climáticos influenciando em maior ou menor grau, o desdobramento dos compostos orgânicos do solo (SMECK, 1973; WALKER e SYERS, 1976; SHARPLEY et al., 1987; TIESSEN et al., 1984; ROBERTS et al., 1989).

Os valores obtidos por inúmeros pesquisadores, em diversas regiões (tabela 1), revela a amplitude de variação e a importância desta fração no potencial de P no solo.

TABELA 1- AMPLITUDE DE VARIAÇÃO DA PORCENTAGEM DE P ORGÂNICO (Po%) EM RELAÇÃO AO P-TOTAL, EM HORIZONTES SUPERFICIAIS DE SOLOS DE DIVERSAS REGIÕES, ENCONTRADA POR VÁRIOS AUTORES.

Local	Po (%) ⁽¹⁾	Autor(es)	Ano
EUA	27 - 73	PEARSON	1940
N.ZELÂNDIA	8,8 - 68,5	SAUNDERS e WILLIAMS	1955
ESCÓCIA	26 - 71	WILLIAMS et al.,	1960
ESCÓCIA	31 - 52	HANCE e ANDERSON	1962
GHANA	46 - 70	ACQUAYE	1963
IRLANDA	13 - 49	HARRAP	1963
FINLÂNDIA	17 - 68	KAILA	1963
EUA	29 - 69	PRATT	1963
NIGÉRIA	17 - 72	ENWEZOR e MOORE	1966
HONDURAS	33 - 77	BORNEMIZA e IGUE	1967
HONDURAS	14 - 70,8	BORNEMIZA e IGUE ⁽²⁾	1967
NIGÉRIA	36 - 70	ADEPETU	1970
N. ZELÂNDIA	18 - 64	WILLIAMS et al.,	1970
NIGÉRIA	20 - 78	OMOTOSO	1971
CANADÁ	4,2 - 49	STEWART e OADES	1972
NIGÉRIA	18 - 44	IPINMIDUN	1973
EUA	41 - 87,9	BOWMAN e COLE	1978
EUA	32 - 73	SHARPLEY	1985
VENEZUELA	36 - 46	HERNANDEZ e NIÑO	1993
BRASIL	13 - 47	GUERRA	1993
MÉDIA GERAL	41,8		

(1) Valores mínimos e máximos em diversos solos citados em cada trabalho, independente do método de determinação do Po;

(2) Valores referentes ao horizonte B.

As médias dos valores das regiões tropicais e subtropicais e/ou temperada, considerando os dados da tabela 1, foram de 39% e 45,1%, respectivamente. Em regiões tropicais, onde os fatores pedogenéticos são intensos, os teores disponíveis de P para as plantas, no reservatório de P orgânico, é de suma importância (BORNEMIZA e IGUE, 1967; ADEPETU, 1970; IPINMIDUM, 1973). Além da amplitude de variação dos teores nos diversos solos e na porcentagem de P orgânico em relação ao P-total, alguns autores

relataram a sua distribuição em função dos horizontes do perfil do solo. Segundo SAUNDERS e WILLIAMS (1955); BORNEMIZA e IGUE (1967), os teores de P orgânico decrescem nos horizontes subsuperficiais, da mesma forma que verifica-se a redução no teor de carbono, embora a porcentagem de P orgânico nem sempre acompanha esta tendência. Neste caso, o trabalho de BORNEMIZA e IGUE (1967) mostrou que a redução no teor de P inorgânico foi mais acentuada do que para P orgânico indicando maior vulnerabilidade do P inorgânico. O efeito ocorreu em diferentes solos, independente do material de origem. Todavia, nas duas amostras de latossolos, o P inorgânico reduziu 63,5 e 67 %, evidenciando a susceptibilidade da fração inorgânica aos mecanismos de retenção de P no solo e a maior estabilidade do P orgânico em solos muito intemperizados.

As evidências relacionadas com a participação de P como um indicador da pedogênese têm sido muito discutidas (BATES e BAKER, 1960; DAHNKE et al., 1964; SMECK, 1973; TIESSEN et al., 1984; SHARPLEY et al., 1987) através do desdobramento das ligações de P. Os trabalhos realizados tem demonstrado que tanto a perda de P por erosão, ou a passagem do P contido em minerais primários para formas secundárias, ao longo da pedogênese, provoca uma ruptura no ciclo orgânico do solo. De acordo com aqueles autores os principais drenos de P inorgânico da solução do solo seriam, no reservatório inorgânico, a oclusão de P inorgânico e no reservatório orgânico, a acumulação de P orgânico em forma altamente estável, ambos apresentando longo período de permanência. Dessa forma, a ruptura deve ser detectada nos componentes mais transitórios do P, os quais apresentariam menor permanência no solo.

O desenvolvimento de métodos para a determinação de P orgânico total e seu fracionamento sofreu muitas alterações desde a publicação dos resultados de PEARSON et al. (1940). Do ponto de vista da determinação de P orgânico total no solo, os métodos podem ser divididos em duas categorias distintas: a) extração sequencial; b) ignição.

O primeiro método é baseado na extração do P orgânico do solo, pelo tratamento sequencial através da seleção de solventes ácidos e básicos, de concentração variada. A função primária da extração ácida é remover as ligações com cátions metálicos como o Ca, enquanto o tratamento com os solventes básicos, se destina a extrair compostos orgânicos (incluindo o P) do solo. Segundo CONDRON et al. (1990) nos últimos 50 anos, os esquemas de extração sequencial, incluem combinações de ácidos minerais fortes (HCl, H₂SO₄); ácidos orgânicos (HOAc); bases fortes (NaOH, KOH); bases fracas (NaHCO₃) e agentes quelatizantes (EDTA, Oxina, Acetilacetona). O método da extração desenvolvido por MEHTA et al. (1954) e a versão proposta por ANDERSON (1960), denominada ANDERSON & MEHTA (A&M), são geralmente considerados como métodos de extração padrão, para utilização nos trabalhos de pesquisa. Em geral, o procedimento da extração combina ataques ácidos e na sequência o uso de bases, com temperaturas ao redor de 82°C. Como limitações, o método inclui a extração incompleta e hidrólise de P orgânico durante o procedimento de extração, particularmente quando ácidos minerais fortes (HCl 12M) são usados. Em alguns casos (ANDERSON, 1960), parte desses problemas foram minimizados com a adoção de bases antes da extração com ácidos minerais fortes. Mesmo assim, outros autores que utilizaram o procedimento proposto, constataram maior extração do P orgânico em solos de regiões temperadas e tropicais (HANCE e ANDERSON, 1962; BORNEMIZA

e IGUE, 1967). Em outras adaptações relatadas (STEWART e OADES, 1972; SOLTANPOUR et al., 1987) têm-se obtido boa recuperação de P orgânico, comparadas ao método padrão. Entretanto, o uso de técnicas de extração ultrasônica (HAWKES et al., 1984) tem encontrado frequentemente menos da metade do P orgânico total (CONDRON et al., 1990). BOUWMAN (1989) mostrou que tratamentos com H_2SO_4 concentrado (18 M) causaram uma hidrólise menor que 10% nos ésteres de P orgânico (fosfatos de glicerol, hexafosfato de inositol, fosfato de nitrofenil), adicionados ao solos.

O segundo método - da ignição - é baseado na determinação do P orgânico total do solo por diferença, entre amostras incineradas e não incineradas, através da extração ácida com uma solução de H_2SO_4 diluída (0,2 N). De acordo com ANDERSON (1975), diferentes técnicas de incineração têm sido desenvolvidas com base na temperatura de incineração (200 a 600°C), no tipo de ácido mineral (HCl ou H_2SO_4) e na sua concentração (0,1 a 12M). O método originalmente desenvolvido por SAUNDERS e WILLIAMS (1955) - S&W, posteriormente adaptado por WALKER e ADAMS (1958), é considerado o método padrão da ignição para a determinação do P orgânico total no solo. As fontes potenciais de erro associadas a esse método, são a oxidação incompleta e/ou perda por volatilização e, em alguns casos, a mudança na solubilidade do P nativo do solo durante a incineração (DORMAAR e WEBSTER, 1964; WILLIAMS et al., 1970; ANDERSON, 1975). No período de 1954 a 1975, inúmeros resultados foram publicados na literatura internacional, avaliando as características dos métodos inicialmente propostos, quanto à sua exatidão, reprodutibilidade e limitações.

Segundo SAUNDERS e WILLIAMS (1955), o principal requisito no método da ignição é assegurar a completa liberação e recuperação do P orgânico e evitar mudanças na solubilidade do P nativo do solo. No procedimento da extração, o principal problema é obter uma combinação do pré-tratamento ácido com os agentes de extração alcalina, assegurando completa extração do P orgânico, sem induzir a hidrólise de compostos orgânicos. Dependendo do grau de evolução pedogenética do solo, a solubilidade do P inorgânico nativo aumenta ou diminui durante a ignição, resultando na alteração dos valores de P orgânico. Os mesmos autores avaliaram o efeito da temperatura e a concentração de H_2SO_4 na determinação de P orgânico e constataram que a faixa ideal situa-se entre 400 a 600°C e de 0,2N até 0,4N. Da mesma forma, citaram que o efeito da temperatura de ignição não afetou a solubilidade ácida de precipitados de fosfatos e dos fosfatos naturais de Fe e Al. O comportamento de determinados fosfatos no solo, pode também ser governado por fatores como o tamanho das partículas e a associação com outros constituintes. Neste caso, mudanças na solubilidade de fosfatos poderão aparecer indiretamente como um resultado de mudanças de constituintes, como os complexos de sesquióxidos. A comparação dos resultados nos diversos solos, nos dois métodos estudados, mostrou efeito interativo com as características dos solos e permitiu concluir que o método da ignição, pela sua exatidão, reprodutibilidade, simplicidade e rapidez, seria adequado.

HANCE e ANDERSON (1962) avaliaram o P orgânico total em 34 solos da Escócia, comparando o desempenho do método da ignição (S&W), com três procedimentos de extração sequencial (S&W - extração parcial com HCL/NaOH; MEHTA et al., 1954; ANDERSON, 1960 - extração total). O método com a extração parcial proposto por S&W,

teve a tendência de produzir teores superiores à extração total pelo método de MEHTA et al. (1954), em solos ácidos e inferiores em solos calcários, embora, em muitos casos os valores obtidos tenham sido similares. Os valores médios de P orgânico para os quatro solos ácidos, foram de 670; 590; 530; 590 e para os solos calcários foram de 350; 240; 290; 290 mg kg⁻¹. A modificação proposta por ANDERSON (1960), envolvendo extração do solo com NaOH antes e depois do tratamento ácido, resultou em menor hidrólise do que o método padrão. Os valores de P orgânico obtidos com o método da ignição foram em geral, superiores aos métodos de extração. Todavia, em mais da metade dos solos, as diferenças foram pequenas e sem importância. As discrepâncias entre os valores obtidos foi atribuída à maior solubilidade do P inorgânico durante a incineração ou a hidrólise de fosfoproteínas na extração, levando a concluir que os procedimentos para determinação de P orgânico, dependem em grande parte da natureza de cada solo. Da mesma forma, WILLIAMS et al. (1960) compararam os valores de P orgânico em 40 solos ácidos derivados da era glacial, pelos métodos da ignição e extração sequencial. Em geral, os valores de P orgânico obtidos pela extração sequencial foram inferiores, apesar da diferença entre os dois métodos, em 26 amostras ter sido de 4,3 a 7,6 %. Em outros 14 solos, o método da ignição proporcionou grandes diferenças, atingindo em alguns casos valores até 25% superiores à extração. Na tentativa de estudar em maior profundidade os efeitos da temperatura durante à incineração, combinada com o tipo e a concentração do ácido, em 34 solos de diversas regiões dos EUA, LEGG e BLACK (1955) propuseram a incineração da amostra de terra à 240°C e extração com HCL 12M. Compararam os resultados com o

método de extração padrão e obtiveram valores ligeiramente inferiores, com média de 187 e 193 mg.kg⁻¹, respectivamente.

Para ter uma visão sobre o conteúdo de P orgânico dos solos minerais de formação glacial ou pós glacial, no período pré-cambriano, em 213 amostras da camada superficial do solo de diversas regiões da Finlândia, KAILA (1963) utilizou o método da ignição e extração sequencial e expressou os resultados a partir da média entre, ambos, uma vez que os resultados foram semelhantes. A amplitude de variação nos teores de P orgânico foi de 100 a 940 e a média de 340 mg.kg⁻¹. Os solos argilosos tenderam a ser mais ricos em P orgânico do que os arenosos, que tiveram menor porcentagem de P orgânico recuperado. Os coeficientes de correlação linear (r) para P orgânico x Carbono, em solos arenosos, franco siltosos, argilosos e orgânicos, foram: 0,61***; 0,54***; 0,75***; 0,32ns e para P orgânico x P-total, foram 0,48***; 0,53***; 0,65***; 0,47*, respectivamente. Constatou que em solos argilosos, o P orgânico está associado significativamente com o Al solúvel em oxalato, enquanto nos arenosos e siltosos não ocorre esta correlação. Neste caso, o P orgânico estaria presente nas partículas grosseiras de matéria orgânica (SAUNDERS e WILLIAMS, 1955), enquanto nos solos argilosos ocorre em filme de revestimento das partículas minerais. Em solos da Inglaterra, HARRAP (1963) introduziu novo procedimento de extração utilizando o Na₂EDTA no pré-tratamento da extração, para remover as ligações com os cátions metálicos. Na comparação com o método padrão de extração e o da ignição proposto por LEGG e BLACK (1955), obteve resultados semelhantes à extração sequencial, em solos com pH acima ou abaixo de 5,0. Em alguns casos, o método da ignição foi sensivelmente inferior aos obtidos pela extração.

Ao contrário das duas situações anteriores, ENWEZOR e MOORE (1966), em 11 amostras de solos de savanas do norte da Nigéria, observou valores de P orgânico de 9 a 132 (média de 34 mg.kg^{-1}) e de 31 a 201 (média de 67 mg.kg^{-1}) para os métodos de extração sequencial e ignição, respectivamente, com diferenças estatisticamente significativas entre si. Comentou que devido ao baixo conteúdo de carbono e à classe textural arenosa da maioria desses solos, o efeito de temperaturas elevadas durante a incineração, pode ter atuado na solubilização de parte do P inorgânico, superestimando os valores de P orgânico no método de ignição. Também em regiões da Nigéria, IPINMIDUM (1973) determinou o conteúdo de P orgânico através de cinco métodos, sendo três por ignição (S&W - temperatura de 240 e 550°C; LEGG e BLACK, 1955 - L&B - temperatura de 240°C) e dois por extração (MEHTA et al., 1954; HARRAP, 1963). Observou que os teores de P orgânico no método da ignição de S&W variaram sensivelmente com as temperaturas. Para a temperatura de 240°C os valores foram subestimados, provavelmente devido ao efeito da concentração do H_2SO_4 0,2N. Entretanto, nas amostras incineradas à temperatura de 550°C, foram superestimados em alguns solos, provavelmente devido à maior solubilidade de P de formas nativas. O P orgânico obtido pelos métodos de extração foram similares aos do método da ignição de L&B, embora esses valores fossem muito baixos ($14,5$ a $26,5 \text{ mg.kg}^{-1}$), quando comparados a trabalhos em outras regiões da Nigéria. Nos solos com conteúdo de carbono mais elevado, os métodos de ignição (S&W - 550°C e L&B) apresentaram resultados semelhantes à extração sequencial, provavelmente pelo fato do recobrimento do carbono nas partículas, reduzindo o efeito da temperatura, enquanto nos

solos com baixo teor de carbono, os métodos de extração foram mais estáveis. Resultados obtidos por ONIANI et al. (1973), em solos do Sri Lanka, evidenciaram valores mais elevados para P orgânico pelo método da extração do que os encontrados pela ignição.

Trabalhando com o horizonte A e B de 12 solos da região tropical úmida da Costa Rica, BORNEMIZA e IGUE (1967), compararam o teor de P orgânico através de três métodos : ignição - S&W; ignição - L&B; extração - MEHTA et al. (1954) visando avaliar a eficiência e a exatidão. O método de extração proporcionou valores mais elevados para o P orgânico do que S&W, em 68% dos solos estudados. Os solos nos quais o método de S&W extraiu maiores teores de P orgânico foram os aluviais, que são menos evoluídos do ponto de vista pedogenético que os latossolos e podzólicos. O método de L&B apresentou valores mais baixos nesses solos em relação aos originalmente estudados. Em todos os casos, exceto no solo aluvial, moderadamente drenado, areno argiloso e siltoso, o método de L&B proporcionou valores de P orgânico inferiores a MEHTA et al. e S&W. Quanto à exatidão, o método de S&W apresentou a melhor reprodutibilidade nas amostras duplicatas, enquanto o L&B proporcionou as maiores variações.

BOWMAN e COLE (1978a; 1978b) desenvolveram adaptações no método da extração, reduzindo os efeitos da combinação ácido-base na hidrólise de fosfatos de inositol, permitindo melhor identificação das frações de P orgânico. Obteve valores com menor variação comparados ao método de MEHTA et al. (1954) e mais estáveis do que S&W, principalmente em solos mais intemperizados. Da mesma forma, HEDLEY et al. (1982); STEWART et al. (1987), aprimoraram o método de extração sequencial, acoplando a determinação de outras frações de P no solo. Posteriormente, BOWMAN (1989) obteve

resultados satisfatórios extraindo o P orgânico com a utilização de H_2SO_4 concentrado seguida de centrifugação e extração com NaOH 0,5N a quente.

CONDRON et al. (1990), trabalhando com solos de regiões tropicais, realizaram ampla revisão e avaliação dos métodos de determinação do P orgânico total. Os métodos utilizados neste estudo foram o da ignição de S&W; da extração proposto por Anderson (1960) e BOWMAN (1989), em 23 amostras de solos, sendo 20 oriundas do Brasil e Gana e, 3 da África. A quantidade de P orgânico determinado pelo método de S&W (23 a 1253, média de 209 mg.kg^{-1}), foi expressivamente superior aos obtidos pela extração sequencial de ANDERSON E METHA, BOWMAN (13 a 206, média de 78 e 9 a 248, média de 88 mg.kg^{-1} , respectivamente), coincidindo com os resultados obtidos por outros autores (ENWEZOR, 1967; WILLIAMS et al., 1970). Observaram elevado coeficiente de correlação linear entre os teores de P orgânico pela ignição e os teores de Fe e Al extraídos por ditionito, indicando que a solubilidade do P_i estaria ligada ao Fe_d e Al_d , ao contrário do obtido por ONIANI et al. (1973). Quanto a reprodutibilidade dos métodos, avaliada pelo coeficiente de variação, constataram valores médios de 6,4; 11 e 15% para S&W, A&M e BOW, respectivamente, indicando boa exatidão para o método da ignição. Apesar da menor exatidão, os autores concluíram que os métodos de extração sequencial foram mais apropriados para a determinação do P orgânico total em solos muito intemperizados. O trabalho de GUERRA (1993) em solos brasileiros, com os três métodos acima citados, mostrou concordância com os resultados de CONDRON et al. (1990). Mesmo assim, constatou efeito interativo do método com o tipo de solo, verificando em alguns solos valores mais elevados pelo método da extração.

Face ao exposto, a escolha do método mais apropriado para a determinação do P orgânico total em solos tropicais, dependerá não somente da capacidade de extração, da reprodutibilidade, da exequibilidade e operacionalidade, que são requisitos básicos em um procedimento analítico, mas principalmente do material de origem, do teor de carbono, da classe textural, do sistema de manejo adotado no local a ser amostrado e do objetivo a ser atingido. As variações descritas pelos diversos autores indicam que não há um método único e a combinação com métodos que determinam outras frações, muitas vezes proporciona resultados mais expressivos, contribuindo para a compreensão da variação da fração orgânica do solo.

2.5 FRAÇÃO ORGÂNICA DE P : FORMAS, TRANSFORMAÇÕES NO SOLO, RELAÇÕES COM O CARBONO E EVIDÊNCIAS PARA A NUTRIÇÃO DE PLANTAS

Em ecossistemas não perturbados a fração inorgânica "lábil" de P é pequena e as plantas utilizam o P oriundo do processo de mineralização dos resíduos de plantas e animais pelos microorganismos. COLE et al. (1978) apresentaram esses argumentos em seu trabalho, indicando que o P orgânico teve grande participação na solução do solo devido à mineralização de formas mais e menos estáveis no solo. Num sistema agrícola o ciclo de P é mais aberto e, além dos mecanismos de retenção do elemento, há remoção pelos produtos agrícolas e perdas por escoamento superficial e erosão, resultando na necessidade da adição de fertilizante fosfatado para reequilibrar o sistema.

A diversidade química da fração orgânica de P é grande, sendo constituída principalmente por mono e diésteres e governada em parte pela composição do material orgânico de origem. Os fosfatos de inositol compreendem 30 a 60%, os ácidos nucleicos e nucleotídeos 5%, os fosfolipídeos ao redor de 1%. Uma porção ainda expressiva de P orgânico remanescente no solo é de origem desconhecida, mas, provavelmente ocorre como complexos insolúveis com minerais de argila e a matéria orgânica do solo (TATE, 1984; NAHAS, 1991). A complexidade química do P orgânico no solo, a susceptibilidade de alguns compostos em hidrolizar durante a extração, a adsorção com minerais de argila e a formação de sais insolúveis com cátions metálicos, são fatores complicadores para maior compreensão das formas de P orgânico no solo (TATE, 1984).

Do ponto de vista conceitual da ciclagem no solo, WALKER e ADAMS (1958; 1959) e WALKER e SYERS (1976) discutiram a importância do P na pedogênese e sua estreita relação com o conteúdo de P orgânico e o C, N e S. O argumento baseou-se no fato de C, N e S serem adicionados biologicamente ao sistema, enquanto o conteúdo de P oriundo do material de origem, regularia o conteúdo de matéria orgânica, N e S do solo, pelo controle da fixação biológica N₂. Os dados relatados por ADAMS e WALKER (1975) em cronosequências antigas da Nova Zelândia, sugerem que a disponibilidade de P para os microorganismos, poderia basicamente regular o conteúdo de matéria orgânica do solo.

McGILL e COLE (1981) avaliaram comparativamente em função dos dados disponíveis, os mecanismos de mineralização e estabilização do C, N, S e P. O modelo conceitual proposto é que C e N e algumas ligações S-C são estabilizadas juntas e mineralizadas por um processo biológico, enquanto os ésteres de P e S, são estabilizados

independentemente da parte orgânica principal e mineralizados através de processo bioquímico. Na mineralização biológica, a liberação de formas inorgânicas de *N* e *S* de materiais orgânicos, durante a oxidação do *C* pelos microorganismos do solo, é direcionada para a procura de energia. Na mineralização bioquímica, a liberação das formas inorgânicas de *P* e *S* ocorre através da catálise enzimática externa da parede celular, sendo mais fortemente controlada pelo suprimento e necessidade do elemento liberado, do que a necessidade de energia (McGILL e COLE, 1981).

Tradicionalmente, tem sido considerado que a estabilização de *P* orgânico seria através de sua incorporação em substâncias húmicas. Todavia, SWIFT e POSNER (1972) observaram que o *P* orgânico, assim como ésteres de SO_4^- , são extraídos com reagentes que removem o ácido húmico do solo. A rápida dispersão de *P* orgânico, sugere que o mesmo não está necessária e intimamente associado à estabilização como um constituinte de materiais húmicos (DALAL, 1977). Num estudo detalhado com vários solos da Escócia, SCOTT e ANDERSON (1976) concluíram que o *P* orgânico não era parte integral da matéria orgânica do solo, assim como o *S*. Eles alegaram que o *P* orgânico estava correlacionado com o *S* orgânico e não com a ligação *C-S*, embora, em solos ácidos tenham verificado esta correlação. Sugeriram que a estabilização do *P* orgânico no solo pode estar mais associada aos grupos de fosfatos ao invés de constituir-se uma fração do carbono. Neste caso, o grupo de fosfatos nas moléculas orgânicas pode estar acessível à adsorção ou reação com componentes inorgânicos do solo. ANDERSON (1975), mostraram que a adição do hexafosfato de inositol competiu com o *P* inorgânico pelos sítios de adsorção nos seis solos estudados e obtiveram elevado coeficiente de correlação com o *Fe* solúvel em

oxalato ($r = 0,91^{**}$) e não ao carbono orgânico. Por outro lado, FEDER (1973); SPIERS e MCGILL (1979) discutindo a mobilização dos ésteres de P pela atividade das fosfolidrolases, observaram que a adição de glicose e sulfato de amônio aumentou a atividade da fosfatase ácida em seis vezes, na ausência de P e inibiu e reduziu sua atividade na presença de P. Concluíram que esse efeito atinge a síntese da enzima e não a atividade de enzimas já existentes. A origem das fosfatases pode ser de microorganismos ou raízes de plantas, mas, a principal fonte ainda não está bem identificada (NAHAS, 1991). MCGILL e COLE (1981), concluíram que mesmo um modelo que implica num controle individual dos elementos ou de suas formas orgânicas, deverá ressaltar de forma dinâmica no tempo as eventuais interrelações e interligações com os organismos do solo.

Nos agroecossistemas que privilegiam a manutenção de cobertura do solo através da deposição de resíduos vegetais sobre a superfície, a ciclagem do P e seu desdobramento assume diferenças relevantes quanto ao seu comportamento. HENDRIX et al. (1986), observaram os microorganismos que inicialmente atacaram os resíduos culturais incorporados às camadas superficiais do solo. Nas parcelas sob preparo convencional, encontraram bactérias, enquanto no plantio direto a colonização e decomposição foram inicialmente devidas à população de fungos.

A decomposição dos resíduos é regulada por inúmeras variáveis, tais como: as propriedades químicas e físicas dos resíduos, os componentes do clima, o pH e a umidade do solo e as interações entre a microflora e a micro, meso e macrofauna do solo. Segundo MEENTEMAYER (1978) os componentes climáticos e a susceptibilidade dos resíduos para a colonização dos decompositores, talvez sejam as mais importantes. Por outro lado, o

não revolvimento do solo altera as variáveis microclimáticas, sendo um importante regulador da decomposição em agroecossistemas (HOUSE et al., 1984; HENDRIX et al., 1986).

Inúmeros estudos sobre a decomposição de resíduos vegetais têm demonstrado que a lignina, a concentração de *N* e a relação *C:N* são importantes características químicas que afetam a taxa de decomposição. Embora a mineralização do *P* orgânico dependa primariamente da atividade de microorganismos do solo, os invertebrados, especialmente as minhocas, têm uma função reguladora importante nesse processo (TATE, 1984). Os dejetos distribuídos nas camadas superficiais, podem elevar rapidamente, por curto período, a disponibilidade de *P* em duas ou até cinco vezes, através da liberação do *P* inorgânico dos resíduos, pelo rompimento físico. SHARPLEY e SYERS (1976; 1977), SHARPLEY et al. (1979), MACKAY e KLADIVKO (1985), WESTENACHER e GRAFF (1987) e WERNER e DINDAL, (1989), descreveram os efeitos físicos, químicos e biológicos das minhocas e ressaltaram os seguintes benefícios: o aumento da incorporação de material orgânico, o qual pode acelerar a mineralização; a possibilidade de efeito direto dos produtos do seu metabolismo no desenvolvimento de plantas e interações com a população microbiana do solo; o aumento da aeração, penetrabilidade das raízes, infiltração da água e estruturação de partículas de solo e a possibilidade de transporte de íons pelos canais através do movimento descendente de água. SHARPLEY et al. (1979), encontraram um aumento de 4 a 8 vezes nas quantidades de *P* inorgânico lábil transportadas da superfície para camadas inferiores, devido à atividade de minhocas. A contribuição anual no ciclo de *P* pela

população de minhocas, em solos da Nova Zelândia, estimada por TATE (1984) foi da ordem de 2 a 9 kg.ha⁻¹, considerados relevantes para o reservatório de P no solo.

Os microorganismos compreendem uma importante fonte e escoadouro de P, bem como constituem os principais agentes de transformação dos resíduos culturais. MATTINGLY e CHARTER (1982), em solos da Inglaterra sem adubação, avaliaram o fluxo de P através da biomassa microbiana, cujos valores foram de 4,6 kg.ha⁻¹.ano⁻¹ e a remoção pelos grãos + palha foi em torno de 5 kg.ha⁻¹.ano⁻¹. A competição por pequenas quantidades de P é mais intensa na rizosfera, onde exsudatos de raízes, mucilagem e tecidos de raízes mortas ativam a população microbiana (TATE, 1984). Em geral, a quantidade de exsudatos liberados pelas raízes está ao redor de 1 a 2%, podendo atingir até 10% do total de fotoassimilados produzidos pelas plantas (TINKER, 1984). Exsudatos de raízes e tecidos de raízes mortas podem representar acima de 30 a 40% da entrada total de matéria orgânica nos solos (LEE e PANKHURST, 1992). Esse material é descarregado diretamente na rizosfera, onde representa mais que 2 a 3% do volume total de solo explorado pelas raízes. BARBER e LYNCH (1977) destacou os efeitos da rizosfera no suprimento de P para as plantas considerando os seguintes itens: a alteração na concentração do soluto (solubilização) através da mudança de pH, pela produção de quelatos ou produção de ânions orgânicos; a competição direta na absorção de P pela biomassa microbiana (mobilização/imobilização), somente importante se o suprimento de P é limitante; a alteração de propriedades de absorção das raízes, pelos efeitos no mecanismo de absorção, mudança relativa na taxa de crescimento ou composição interna e a alteração na morfologia da raiz.

HELAL e SAUERBECK (1984) em experimento de casa de vegetação, utilizando de técnicas isotópicas avaliaram a influência do sistema radicular de plantas de milho nas transformações do carbono e do fósforo no solo. Observaram que as raízes induziram o decréscimo de C e do P (total e extraível). Por outro lado, houve acréscimo da biomassa microbiana de C, da atividade da fosfatase, do P extraível por bicarbonato, do P de fosfolípidos e incorporação do P orgânico em outras frações de P. Argumentaram que a incorporação de ^{32}P em várias frações, mostrou claramente a dependência das raízes e a elevada atividade da fosfatase na zona radicular, indicando que os aumentos correspondentes de P orgânico seriam devidos a ambos mecanismos, ou seja, à biomassa microbiana e à mudança da capacidade de extração das raízes.

JONES e BROMFIELD (1969) encontraram em pastagens secas ao fim da primavera-verão, o equivalente a $125 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de superfosfato simples, que é uma quantidade normalmente aplicada em pastagens e estimaram o potencial do reservatório orgânico ao redor de $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de P na camada de 10 cm. GASSER (1962) estimou que o P liberado como resultado da mineralização da 1% matéria orgânica, poderia ser da ordem de 6 e $15 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ em solos com culturas anuais e pastagens. A contribuição em P à fração inorgânica lábil resultante desse processo é expressiva se todo o P mineralizado a essa taxa estivesse disponível às plantas, uma significativa parcela destas teriam atendidas suas exigências nutricionais.

BLAIR e BOLAND (1978) avaliaram a contribuição de P oriundo de plantas de trevo branco ladino, cultivado em parcelas com nível baixo e alto de P, submetidas à uma aplicação de uma solução de ^{32}P ($46 \text{ mCi} \cdot \text{g}^{-1}$ de P). Os vasos foram preparados com os solos

das parcelas anteriormente citadas, com e sem o cultivo de aveia sobre os resíduos com o ^{32}P , sob três regimes de irrigação. Nos primeiros 12 dias a contribuição do P oriundo da adição dos resíduos de trevo para as plantas de aveia foi de apenas 1 e 0,1% , enquanto aos 48 dias os valores foram expressivamente elevados (29,3 e 0,6% nos solos com alto e baixo conteúdo de P). Os regimes de irrigação não proporcionaram efeitos significativos na reutilização do P. A presença da aveia cultivada no solo com P no nível alto, não alterou significativamente o P orgânico do solo, mas causou um declínio significativo no P inorgânico, o qual, na ausência de plantas ficou inalterado. O primeiro caso, indica que a taxa de liberação foi maior do que a taxa de absorção, enquanto na ausência de plantas o reservatório orgânico foi satisfatório para a manutenção de P inorgânico. Por outro lado, no solo com nível baixo de P e ausência do cultivo de aveia, a adição de resíduos resultou num decréscimo significativo do P. Isto sugere que o caminho de P sem o componente biológico vegetal, é no sentido da fixação do elemento. Nesse estudo foi encontrada uma estreita relação entre o ^{32}P recuperado no material vegetal e o absorvido pela planta.

FULLER et al. (1956) sugeriram que o conteúdo de P adicionado pelo material orgânico era talvez o mais importante e reportaram que os resíduos com elevado teor de P estavam disponíveis mais rapidamente do que os resíduos com teores baixos do nutriente. Dessa forma, sugeriram que a imobilização poderia ocorrer quando o teor de P nos tecidos fosse inferior à 0,2%, enquanto KAILA (1963) sugere que a imobilização seria maior do que a liberação quando o teor de P fosse inferior à 0,3%. HANNAPEL et al. (1963) sugeriram que a imobilização poderia ocorrer quando a relação Carbono:P orgânico (C:Po)

fosse inferior à 200, apesar de BARROW (1960) ter encontrado imobilização de P em situações onde a relação C:Po era inferior à 55.

ENWEZOR (1967) fez uma detalhada abordagem sobre a relação C:Po e seu significado na mineralização do P orgânico do solo. A hipótese é baseada nas evidências de vários autores que sugeriram ocorrer, durante a decomposição de material orgânico no solo, a mineralização inicial de P orgânico se a relação C:Po fosse inferior à 200, enquanto, a imobilização iniciaria a partir de relações C:Po acima de 300 (BLACK e GORING, 1953). Em amostras de 28 solos, observou correlação altamente significativa entre o conteúdo de C e o P orgânico ($r = 0,5023^{**}$; $n=28$), mostrando que ambos variaram juntos nos solos, mas numa faixa extensa de valores da relação C:Po, indicando que essa covariância não é necessariamente a média proporcional ao conteúdo de P orgânico e C da matéria orgânica. ENWEZOR (1967) verificou aumento do C mineralizado com o tempo, não ocorrendo correlação com a relação C:Po e sim com o C total ($r = 0,6180^{**}$; $n=28$). Mostrou que não ocorreu imobilização de P, exceto em três solos e com tendência em aumentar em função do P disponível. Tanto que o coeficiente de correlação linear com o P mineralizado foi altamente significativo ($r = -0,9153^{***}$; $n=28$) e este apresentou correlação altamente significativa com a porcentagem de P orgânico ($r = 0,5326^{**}$; $n=28$). Dessa forma, concluiu que a mineralização depende mais da porcentagem de P orgânico do que da relação C:Po, com o qual o P mineralizado teve uma correlação muito baixa ($r = -0,0383$; $n=28$). Assim, a relação C:Po não seria um índice absoluto para prever o P mineralizado, pois ocorreu tanto em solos com a C:Po de 678, como também houve imobilização inicial em solos com C:Po

de 41 e 34. Mesmo assim, houve uma tendência geral de menos imobilização de P nos menores valores de C:Po do que nos maiores valores.

Estudos básicos sobre a ciclagem de P no solo desenvolvidos por CHAUHAN et al. (1981), mostraram as possíveis interações durante as transformações do P. Investigaram as transformações nas formas de P (P inorgânico lábil e P orgânico) em solos com diferentes nível de P inorgânico e a adição de uma fonte de carbono a cada 30 dias, relacionando essas transferências à atividade microbiana. Os resultados obtidos foram discutidos em função de um diagrama (figura 3) representando o ciclo do P.

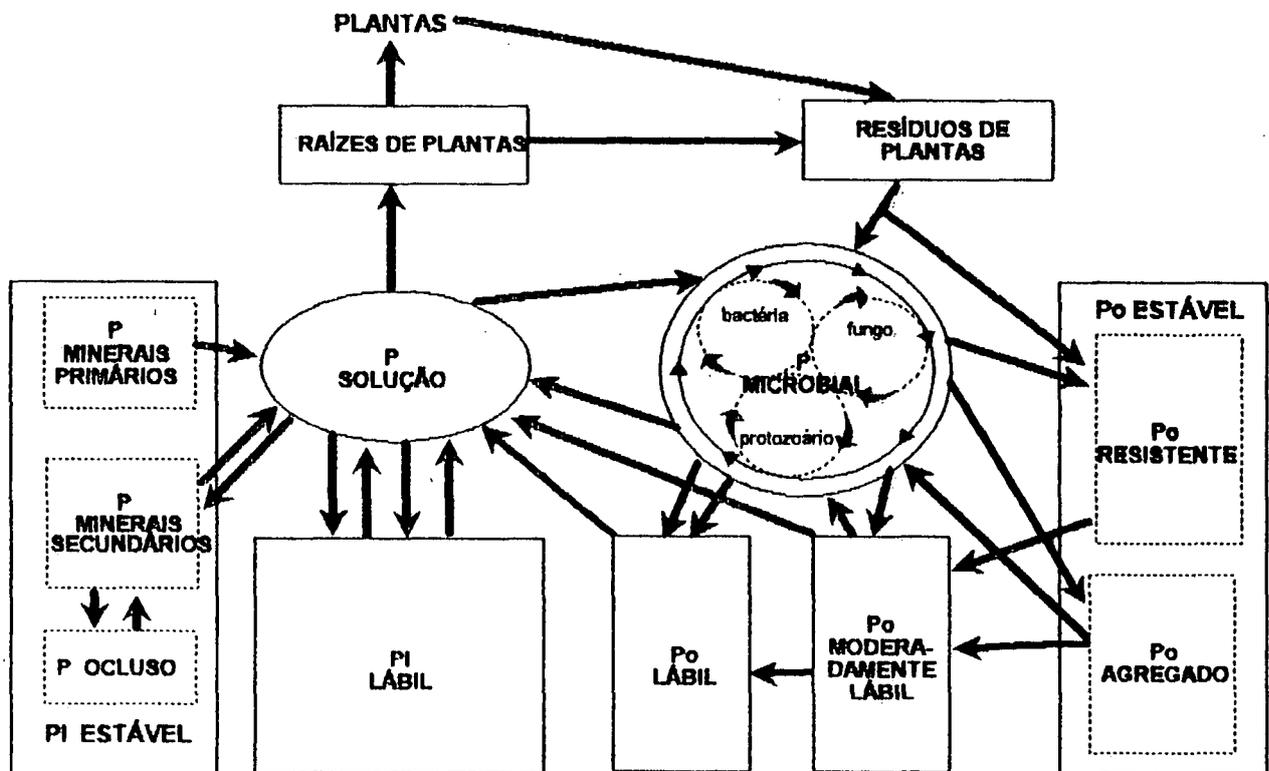


FIGURA 3. DIAGRAMA DOS COMPONENTES DO CICLO DO P PROPOSTO POR CHAUHAN et al., 1981.

Esse diagrama conceitua o P da solução do solo originando-se do P inorgânico e P orgânico estável (Po e Pi, respectivamente) e de resíduos de plantas, entrando rapidamente

em equilíbrio com o P inorgânico e P orgânico “lábil”. Observaram que o P adicionado à solução do solo, era imobilizado e redistribuído em formas orgânicas e inorgânicas e que a disponibilidade na solução tinha uma relação direta com formas de P orgânico “lábil”. A adição de uma fonte de carbono, na ausência de P, proporcionou a imobilização do elemento em várias formas de P inorgânico e sua redistribuição no solo parcialmente como P orgânico. Entretanto, quando o P foi adicionado sem a fonte de carbono, acumulou-se em formas de P inorgânico, sem no entanto alterar o P orgânico líquido. O componente de equilíbrio neste sistema, capaz de controlar as reações de P inorgânico e P orgânico seria o tipo e a frequência de adição de resíduos culturais ao solo, permitindo que a liberação seja superior à imobilização microbial ou que a reação caminhe no sentido dos mecanismos de fixação. Além disso, o conteúdo de P inorgânico nos resíduos é um fator preponderante na redistribuição de P ao solo.

TIESSEN et al. (1983) estudando as alterações nas formas de P inorgânico e P orgânico em dois solos cultivados com pastagens por 60 e 90 anos, verificaram que as frações “lábeis” de P foram grandemente afetadas pelo cultivo, indicando redução no reservatório de P orgânico mais estável no solo, embora, essa redução no P estivesse associada a perda de matéria orgânica do solo.

McLAUGHLIN et al. (1988a; 1988b; 1988c) utilizando isótopos de ^{32}P e ^{33}P , no fertilizante fosfatado e em resíduos de pastagem de gramíneas, respectivamente, observaram que a maioria do ^{33}P presente nos resíduos estava como P inorgânico e quase 40% tinha sido incorporado à fração orgânica do solo 7 dias após. Dois mecanismos poderiam estar ocorrendo; primeiramente, alguns componentes das células de difícil

degradação estariam sendo decompostos por microorganismos sobreviventes ou recolonizadores; em segundo lugar, componentes da célula ou produtos do metabolismo microbiano poderiam estar sendo rapidamente estabilizados. Resultados semelhantes também foram obtidos por JONES e BROMFIELD (1969), mostrando que 40 a 60% do P total em resíduos de pastagem de gramínea, estava em forma inorgânica e altamente solúvel em água. Posteriormente, McLAUGHLIN et al. (1990) observaram em 15 solos sob pastagem, que a quantidade de P orgânico atingia quantidades significativas, 35 a 65 % em relação ao P total. Afirmaram que 20 a 40% do P orgânico era extraído através da solução de NaCO_3 0,5M e poderia ser facilmente mineralizado, constituindo-se em uma fonte potencial de P para as plantas.

Da mesma forma, FRIESEN e BLAIR (1988), também com o uso de técnicas isotópicas, avaliaram as transformações do P orgânico, P inorgânico e P oriundo de resíduos vegetais no solo, na presença e ausência de plantas. O reservatório de P-Fe era mais estável do que P-Al, desde que não exaurido pelo cultivo. Esse reservatório não lábil, fixou acima de 30% do P liberado pelos resíduos vegetais, 11 dias após sua adição. Mesmo assim, cerca de 50% do P liberado dos resíduos foram encontrados no reservatório inorgânico de P. Essa rápida liberação foi atribuída à presença de P inorgânico solúvel nos resíduos, conforme JONES e BROMFIELD (1969), citaram em seu trabalho. Estes resultados contrastam com os obtidos por BLAIR e BOLAND (1978), no qual conseguiram recuperar somente 1% nos primeiros 12 dias. As razões para essa divergência, podem ser devidas ao conteúdo e porcentagem de P inorgânico solúvel nos resíduos, ao tipo de tecidos e sua resistência à decomposição, idade e estado nutricional da planta ou diferenças no preparo e aplicação dos

resíduos ao solo. No trabalho desenvolvido por BLAIR e BOLAND (1978), os resíduos de trevo foram cortados em pedaços de 1 cm, enquanto os resíduos de aveia utilizados por FRIESEN e BLAIR (1988) foram finamente moídos, proporcionando maior superfície de contato com os agentes mineralizadores. Além da diferença quanto à natureza química de cada resíduo a sua susceptibilidade à decomposição.

Em experimentos de longa duração na estação experimental de Rothamsted, Inglaterra, a taxa de mineralização de P orgânico em um período de 20 a 50 anos, foi estimada em 0,5 a 3,2 kg.ha⁻¹.ano⁻¹ de P, em parcelas sem receber adubos orgânicos. WHITE e AYOUB (1983) em solos calcários na Inglaterra, cultivados com *Vicia faba*, verificaram após 42 dias uma taxa líquida de mineralização de 2 kg.ha⁻¹ de P. Em condições de clima tropical, essa taxa poderia ser 3 a 5 vezes superior, porém, os mecanismos de retenção do P inorgânico seriam também mais intensos (FRIESEN e BLAIR, 1988).

ARMSTRONG e HELYAR (1992), avaliando no solo as mudanças nas frações de P na rizosfera de pastagens de gramíneas, em ambiente semi-árido na Austrália, constataram que todas as espécies utilizadas causaram redução no P inorgânico extraível com NaHCO₃ 0,5M, NaOH 0,1M, HCl 1,0M. As gramíneas reduziram em média 33% das formas inorgânicas. Ao contrário, o P orgânico nos três extratos com gramíneas permaneceu inalterado. Na opinião desses autores os vários mecanismos que tem sido propostos para identificar o aumento da mobilização de P na rizosfera mostram a amplitude das interações que podem ocorrer. Esses estudos confirmam resultados anteriormente publicados, usando técnicas isotópicas, mostrando que as plantas têm habilidade de explorar reservatórios escassos em P que tradicionalmente, não são considerados disponíveis para as plantas.

Aspecto relevante foi abordado por FROSSARD et al. (1989), sobre a mobilidade do P orgânico nos horizontes A e B, de dois solos sob pastagem e um sob vegetação de floresta. Verificaram que a redução no conteúdo de P orgânico acompanhou o carbono e a mobilidade de moléculas orgânicas foi maior no horizonte B, possivelmente devido à adsorção dessas moléculas adicionadas na matéria orgânica do horizonte A. Da mesma forma HANNAPEL et al. (1963) tinham constatado esse mecanismo com a adição de uma fonte de energia microbial, elevando a mobilidade de P em até 38 vezes. Do ponto de vista agrônomo, o manejo do solo exerce um papel fundamental para evitar possíveis perdas dessas formas de P. Nesse sentido, ANGERS et al. (1993) constatou que o C orgânico no preparo convencional, reduziu-se em 20% na camada de 0 a 7,5 cm quando comparado ao plantio direto.

Em experimentos de longa duração, MCKENZIE et al. (1992) avaliaram o efeito da rotação de culturas e a fertilização com N e P, nas transformações de P no sistema. Verificaram que a rotação de culturas e a fertilização afetou significativamente a quantidade das frações orgânicas e inorgânicas "lábeis". A aplicação de P, na ausência de N, causou mudanças no P total e em todas as formas de P inorgânico total, com grandes alterações no P inorgânico "lábil", porém, não afetou as formas "lábeis" de P orgânico. Ao contrário, a adição de N aumentou a proporção de P no P orgânico "lábil" em todas as rotações e reduziu o P da fração de P inorgânico "lábil". Os autores alegaram que esse efeito seria devido ao maior desenvolvimento das culturas, retornando maiores quantidades de material orgânico ao solo e conseqüentemente, elevando o conteúdo de P orgânico. Quando N e P foram aplicados juntos, ocorreu aumento tanto nas frações "lábeis" de P inorgânico quanto

P orgânico, e a rotação envolvendo trigo cultivado sob esse tratamento, apresentou de forma interativa o efeito mais positivo no ciclo das transformações de P.

Embora muitos autores tenham realizado uma ou duas amostragens para a caracterização das transformações de P orgânico, trabalhos recentes têm ressaltado a sazonalidade das formas orgânicas, principalmente em sistemas com retorno de resíduos culturais.

Em condições de pastagem, MAGID e NIELSEN (1992) durante 12 meses, coletaram a solução do solo e fracionaram o P inorgânico e P orgânico. Em todas as frações de P, a variação temporal foi altamente significativa e a magnitude da variação das frações de P orgânico e P inorgânico do solo, foi de 4 a 40 vezes maior do que seria esperado da magnitude de uma nova mineralização de N. Relataram que a variação no P orgânico do solo, não poderia ser explicada somente devido a um fator, sugerindo, que a variação é causada por mudanças na solubilidade e não somente por transformações biológicas.

SHARPLEY (1985) realizou durante dois anos a coleta mensal de amostras de terra, em solos cultivados na presença e ausência de fertilização fosfatada, para avaliar a variação sazonal na quantidade e formas de P orgânico como fonte de P para as plantas. Observou que o conteúdo de P orgânico era maior nos meses de inverno do que na primavera, para ambas situações. Conseqüentemente, durante a estação de crescimento, a mineralização do P orgânico contribuiu com quantidades de 20 a 70 kg.ha⁻¹ de P, similar às adicionadas pelo fertilizante (13 a 100 kg.ha⁻¹). A variação no P orgânico foi devida principalmente, às alterações no P orgânico "lábil" e moderadamente "lábil" enquanto o P orgânico estável permaneceu quase inalterado. Verificou que o reservatório de P orgânico

“lábil”, era mantido a um nível constante, possivelmente devido à mineralização e formação de formas moderadamente “lábeis” através da decomposição de resíduos e atividade da fosfatase ácida. Esses resultados estão de acordo com os obtidos por DOORMAR (1972), em parcelas de alfafa não fertilizadas com P, onde o pico de acúmulo de P orgânico ocorreu nos meses de menor taxa de crescimento da cultura e o consumo nos meses de crescimento.

ADEPETU e COREY (1976), avaliaram o P orgânico como um índice de “P disponível” para plantas de milho em solos ao sul da Nigéria, após quatro cultivos sucessivos em casa de vegetação. Durante esses cultivos, o P orgânico mineralizado foi o fator que melhor correlacionou com o P absorvido ($r = 0,90$). Após esse período, constataram que em média 27 e 37%, do P orgânico e da matéria orgânica, respectivamente, foram mineralizados. O coeficiente de correlação entre o P orgânico e a matéria orgânica foi elevado ($r = 0,96^{**}$), indicando que nas condições avaliadas, essas frações variam juntas no solo. As determinações de P orgânico e matéria orgânica realizadas antes dos cultivos, indicaram ser a melhor estimativa do P absorvido, cujos coeficientes de correlação linear (r) foram $0,80^{**}$ e $0,74^{**}$, respectivamente. Da mesma forma, observaram estreita relação entre o P orgânico mineralizado e o P orgânico total ($r = 0,89^{**}$), enquanto, o P inorgânico “disponível” avaliado pelo método de Bray-1, foi sensivelmente inferior ($r = 0,52^*$). O fracionamento da forma inorgânica total, revelou a seguinte participação: P-Al = 20%; P-Fe = 49%; P-ocluso = 26% e P-Ca = 5%, indicando ser as ligações com o Fe as mais importantes do ponto de vista dos mecanismos de adsorção, principalmente em solos tropicais muito intemperizados. Os mesmos autores também consideraram que o coeficiente de correlação elevado entre o P absorvido como variável dependente e o P orgânico e o P

“disponível” por Bray 1, sugere que o prognóstico do P absorvido pode ser obtido por ambas as formas numa regressão múltipla. Esse estudo mostrou conclusivamente, para os solos estudados, que o P mineralizado de fontes orgânicas é o fator mais importante no prognóstico do P “disponível”, concordando com outros trabalhos realizados nos trópicos, mas contrastando com os obtidos de regiões temperadas. Outras correlações significativas entre esses dois parâmetros, foram encontradas para as culturas de trigo, cacau, feijão e sorgo, em outras regiões da África, Gana, Nigéria e Índia (ACQUAYE, 1963; ENWEZOR, 1967; OMOTOSO e WILD, 1970a e 1970b).

BUCHANAN e KING (1993) avaliaram a perda de C e P, através da decomposição de resíduos de soja, milho, trigo e trevo, sob influência do plantio direto e preparo convencional, em um período de 100 semanas. Consideraram as investigações de MELLILO et al. (1982) que têm demonstrado que a lignina, a concentração de N e a relação C:N, nos resíduos, são importantes características químicas afetando a taxa de decomposição. Observaram perdas de C e P de todos os resíduos, mais rápida e elevada no preparo convencional, independente do efeito da estação do ano. A concentração de P no tecido das culturas apresentou a seguinte ordem: parte aérea de trevo > folha de soja > caule de soja > parte aérea de milho > raiz de trevo > parte aérea de trigo. Constataram nos resíduos de milho após 100 semanas, sob preparo convencional, apenas 3% do P e 5% do C, enquanto no plantio direto, ainda restavam 18 e 25%, respectivamente. Em contrapartida, no trevo branco, em 2 semanas, 17 e 56% do P ainda permaneciam nos resíduos da parte aérea e raízes, respectivamente. Porém, após 16 semanas, somente 4 e 17% de P e 10 e 32% de C, da parte aérea e raízes foram encontrados, respectivamente. Os

resíduos de trigo, apesar de apresentarem o menor conteúdo de P no tecido, maior relação *Lignina:N* e *C:N*, quando comparado aos demais, após 72 semanas ainda restavam 26 e 36% do P original e 20 e 23% do C, no preparo convencional e plantio direto, respectivamente. Neste caso a perda de C foi proporcionalmente superior ao P, indicando claramente que os mecanismos que atuam sobre C e P são distintos aos evidenciados nos argumentos de BLAIR e BOLAND (1978). Por outro lado, os resíduos de soja comportaram-se diferenciadamente, porque as folhas e o caule tem resistência à decomposição em taxas contrastantes. Enquanto nos resíduos de folhas foram encontrados após 45 semanas, 18 e 32% de C, 9 e 21% de P no preparo convencional e plantio direto, respectivamente, no caule o C e o P remanescente foram de 35 e 53% e 20 e 34%, no preparo convencional e plantio direto, respectivamente. Neste caso, uma grande quantidade de P é reciclado anualmente, podendo elevar sensivelmente o conteúdo de P disponível, primeiramente através da rápida liberação do P inorgânico dos tecidos (JONES e BROMFIELD, 1969) e depois alimentando o P inorgânico "lábil" através manutenção do P orgânico "lábil" do solo (CHAUHAN et al., 1981), pela liberação de formas orgânicas. Isto mostra que no plantio direto, após repetidas culturas, a acumulação de resíduos na superfície seria contínua por algum tempo, com influência não somente na taxa de mineralização de formas orgânicas, mas também como importante regulador dos mecanismos de mobilização/imobilização de P durante as transformações da fração orgânica. Assim, as relações entre as culturas em rotação são dinâmicas no tempo, ressaltando os efeitos da sazonalidade e as interações no sistema solo-planta-atmosfera.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL E CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

O experimento foi conduzido no Campo Demonstrativo e Experimental da Cooperativa Agropecuária Batavo Ltda, situado na Rodovia Pr-151, km 121, município de Ponta Grossa, Estado do Paraná. As coordenadas geográficas de referência são: longitude 50° 20' e latitude de 25° 20'. O solo é classificado como um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico (LE_d), derivado de material retrabalhado de rochas sedimentares do período devoniano.

3.2 CARACTERÍSTICAS DO CLIMA, RELÊVO E COMPOSIÇÃO FLORÍSTICA DA REGIÃO

O clima de acordo com a classificação de Koeppen (MAACK, 1981 e GODOY et al.,1976) é do tipo cfb, subtropical úmido mesotérmico, com verões frescos, geadas severas e frequentes no inverno, com temperatura média no mês mais quente de <22°C e do mês mais frio <18°C, sem estação seca definida. O relêvo é suave ondulado, com pendentes longas, a ondulado, cortado pela escarpa devoniana. As altitudes variam entre 1150 metros na testa da Formação Furnas a 800 metros no vale do rio Tibagi e 980 metros na área experimental. A composição florística original caracteriza-se pela presença de gramíneas

baixas, sendo desprovida de arbustos, ocorrendo apenas matos ou capões, limitados às depressões em torno das nascentes (MAACK, 1981). O termo usual para a denominação deste tipo de vegetação é conhecido como Campos Gerais.

3.3 HISTÓRICO DA ÁREA EXPERIMENTAL

Para a análise dos parâmetros propostos neste trabalho, utilizou-se de um experimento de campo iniciado em março de 1989, como parte de um estudo de longo prazo sobre o sistema plantio direto.

A área experimental encontrava-se até o ano de 1987 sob pastagem de gramíneas perenizadas e inicialmente no outono de 1988, utilizando-se de preparo convencional, através de uma grade aradora seguida de uma gradagem niveladora. Em seguida foi semeada a cultura da aveia preta (*Avena strigosa*) e no verão de 1988 a cultura de soja, sem a aplicação de fertilizante para homogeneização da gleba. Os resultados da análise química e física do solo, antes da implantação do experimento, encontram-se na tabela 2.

TABELA 2 - RESULTADOS DA ANÁLISE QUÍMICA E GRANULOMÉTRICA DO SOLO (MÉDIA DE 11 AMOSTRAS COMPOSTAS) ANTES DA IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO, EM MARÇO/1989.⁽¹⁾

Prof. cm	pH CaCl ₂	Al	H+Al	Ca	Mg	K	P	C	V	Al	Arg.	Silte	Areia
		----- mmol _c dm ⁻³ -----					mg.kg ⁻¹	g.kg ⁻¹		-----%-----			
0-10	5,5	0	55	31	16	3,9	9,5	22	48,1	0,0	46,0	16,1	37,5
10-20	4,6	2	63	12	11	1,8	3,6	22	33,5	2,1	48,0	15,2	34,4
20-30	4,6	5	61	07	06	0,8	0,9	20	18,4	6,7	50,0	15,1	35,3
30-40	4,6	4	55	07	05	0,6	0,6	15	18,6	5,9	52,0	13,3	34,1
40-50	4,7	2	51	08	06	0,4	tr	14	22,0	3,1	54,7	11,5	33,3
50-60	4,8	1	48	08	07	0,3	tr	13	24,2	1,6	54,0	11,7	34,1

As análises químicas e físicas foram realizadas utilizando metodologia descrita

por Embrapa (EMBRAPA, 1979).

Em maio de 1989, fêz-se a implantação definitiva do experimento cujos tratamentos constituíram-se da combinação dos fatores descritos na tabela 3.

TABELA 3 - TRATAMENTOS DE PREPARO DO SOLO E CALAGEM APLICADOS NO INÍCIO DO EXPERIMENTO.

Métodos de Preparo	(A)	arado de discos - 0 a 20 cm de profundidade;
	(B)	arado de aivecas - 0 a 35 cm de profundidade;
	(C)	arado rotativo - 0 a 60 cm de profundidade;
Calagem	(cc)	calcário calculado pela saturação por bases, para atingir 70% de saturação do complexo de troca;
	(sc)	sem calcário adicional;

As doses de calcário foram definidas em função da camada amostrada e adequada à profundidade de incorporação, sendo 3,0 ; 5,25 e 9,0 ton.ha⁻¹, para os tratamentos A, B e C, respectivamente. Em todas as unidades experimentais foi aplicado 130 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, utilizando-se termofosfato Yoorin como fonte de P.

3.4 PARÂMETROS ESTUDADOS E DESENHO EXPERIMENTAL

Após sete cultivos definiu-se os seguintes fatores para o presente estudo:

Variáveis independentes

a) Métodos de preparo do solo pré-implantação ao plantio direto

- Arado de discos (0-20 cm) → (A)

- Arado de aivecas (0-35 cm) → (B)

- Arado rotativo (0-60 cm) → (C)

b) Calagem

- Sem calcário adicional; → (sc)

- Com calcário adicional visando atingir 70% da saturação por bases; → (c)

c) Profundidade de amostragem

0-2,5; 2,5-5,0; 5,0-7,5; 7,5-10,0; 10,0-20,0; 20,0-30,0 cm.

Variáveis dependentes

a) Rendimento de grãos de milho; produção de biomassa pela parte aérea de ervilhaca e P extraído pela planta de milho (parte aérea e grãos) e parte aérea de ervilhaca;

b) Frações de fósforo (P) do solo : P-total (Pt); P inorgânico total (Pi); P orgânico total (Po); P-Mehlich (Pm) e P-resina (Pr);

c) Carbono orgânico (C).

Em três blocos, os tratamentos foram dispostos em parcelas subdivididas, com os métodos de preparo nas parcelas e a calagem nas sub-parcelas. Quando estudadas as frações de P e o carbono orgânico do solo, considerou-se as profundidades amostradas como sub-sub-parcelas (figura 4).

Asc	Ac
Csc	Cc
Bsc	Bc
Bc	Bsc
Cc	Csc
Ac	Asc
Csc	Cc
Bsc	Bc
Asc	Ac

FIGURA 4. CROQUIS DA ÁREA EXPERIMENTAL COM A DISPOSIÇÃO DOS TRATAMENTOS

Utilizou-se a análise de variância onde os níveis dos fatores foram comparados pelo teste de Tukey. Para as profundidades foram ajustadas regressões polinomiais. O modelo matemático adotado foi:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} + \delta_k + (\alpha\delta)_{ik} + \varepsilon_{ijk} \quad (1)$$

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} + \delta_k + (\alpha\delta)_{ik} + \varepsilon_{ijk} + \sigma_l + (\alpha\sigma)_{il} + (\delta\sigma)_{kl} + (\alpha\delta\sigma)_{ikl} + \varepsilon_{ijkl} \quad (2)$$

μ = média geral;

α_i = é o efeito do método de preparo;

β_j = é o efeito do bloco;

ε_{ij} = é o erro experimental da parcela;

δ_k = é o efeito do calcário;

$(\alpha\delta)_{ik}$ = é o efeito da interação entre método de preparo e calcário;

ε_{ijk} = é o resíduo;

σ_l = é o efeito da profundidade de amostragem;

$(\alpha\sigma)_{il}$ = interação preparo x profundidade

$(\delta\sigma)_{kl}$ = interação calcário x profundidade

$(\alpha\delta\sigma)_{ikl}$ = interação preparo x calcário x profundidade

ε_{ijkl} = resíduo

Para as relações entre as frações de P e o C orgânico do solo, foram feitas análises de correlação linear e regressões, a cada época de amostragem. Também foram realizadas análises de correlação entre as frações de P no solo e o P absorvido pela planta

de milho. As análises estatísticas foram executadas com o auxílio do programa SANEST (Sistema de análise estatística) e STATGRAPHICS, V. 7.0. Os coeficientes de determinação e de correlação foram caracterizados de acordo com a seguinte notação: *, **, *** e n.s, referentes aos níveis de significância para $p < 0,05$; $p < 0,01$ e $p < 0,001$ e não significativo, respectivamente. As médias comparadas pelo teste de Tukey, foram identificadas por letras minúsculas e obedeceram os mesmos intervalos de significância acima citados.

3.5 MANEJO DAS CULTURAS

A incorporação do calcário e do fósforo, foi efetuada três meses antes da semeadura da primeira cultura da rotação conduzida no sistema de plantio direto (tabela 4).

TABELA 4 - ROTAÇÃO DE CULTURAS ADOTADA NA GLEBA

Ano	Inverno		Verão	
	Cultura	Cultivar	Cultura	Cultivar
1989	Ervilhaca	Comum	Milho	P 3099
1990	Aveia preta	Comum	Soja	Br 16
1991	Trigo	Iapar 41	Soja	Iguassú
1992	Ervilhaca *	Comum	Milho *	P 3099

* Refere-se às culturas sob avaliação

As culturas de ervilhaca (*Vicia sativa*) e aveia preta (*Avena strigosa*), foram destinadas à adubação verde e cobertura morta do solo. O seu manejo foi realizado no estágio de florescimento e grão leitoso, respectivamente, usando-se um rolo faca. Posteriormente foi aplicado um herbicida com ação dessecante para eliminação de plantas invasoras remanescentes.

A adubação de manutenção foi aplicada na linha de semeadura, constituindo-se de nitrogênio e potássio, nas doses de 60; 60 e 40; 50 kg.ha⁻¹, para milho e trigo, respectivamente e 60 kg.ha⁻¹ de k₂O, para a cultura de soja. As culturas destinadas à adubação verde não receberam fertilizantes e a adubação fosfatada de manutenção, foi eliminada em todas as culturas.

3.6 PERÍODO DE 1989 a 92

O teor de P no solo, no tecido foliar e o rendimento das culturas de milho, soja e trigo, nos primeiros três anos encontram-se na tabela 5 (a, b, c).

TABELA 5 - TEOR DE P (EXTRAÍDO POR MEHLICH 1) NO SOLO PARA OS MÉTODOS DE PREPARO EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE DE AMOSTRAGEM (A); NO TECIDO FOLIAR (B) E RENDIMENTO DAS CULTURAS (C).

(5a)

MÉTODOS DE PREPARO	PROFUNDIDADE DE AMOSTR.(cm)	ÉPOCA DE AMOSTRAGEM ⁽¹⁾									
		SEM CALCÁRIO					COM CALCÁRIO				
		1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a
TEOR DE FÓSFORO NO SOLO ⁽²⁾											
----- mg kg ⁻¹ -----											
ARADO DE DISCOS (0-20 cm)	0-10	9,50	15,0	9,3	9,3	11,6	9,50	23,3	7,3	7,6	7,0
	10-20	3,63	9,6	6,6	5,7	4,6	3,63	16,0	8,3	6,3	5,0
	20-30	0,90	5,6	3,3	1,0	2,6	0,90	7,6	3,0	4,0	2,3
	30-40	0,60	1,3	1,0	1,0	1,3	0,60	1,6	1,0	1,0	1,3
	40-50	TR	1,0	1,0	1,0	1,0	TR	1,0	1,0	1,0	1,0
	50-60	TR	1,0	1,0	1,0	1,0	TR	1,0	1,0	1,0	1,0
ARADO DE ARVECAS (0-35 cm)	0-10	9,50	17,3	11,0	6,7	6,6	9,50	18,0	8,0	6,3	13,3
	10-20	3,63	20,0	4,0	3,3	3,3	3,63	26,3	7,6	3,3	6,3
	20-30	0,90	8,6	2,6	4,0	3,0	0,90	7,0	2,5	2,6	2,0
	30-40	0,60	2,3	1,0	2,3	1,0	0,60	1,0	1,3	1,0	1,0
	40-50	TR	1,0	1,0	1,6	1,0	TR	1,0	1,0	1,0	1,0
	50-60	TR	1,0	1,0	1,6	1,0	TR	1,0	1,0	1,0	1,0
ARADO ROTATIVO (0-60 cm)	0-10	9,50	13,3	7,0	4,3	6,0	9,50	18,6	9,6	5,7	7,0
	10-20	3,63	11,3	7,0	5,0	5,3	3,63	11,0	7,0	3,0	6,0
	20-30	0,90	11,3	3,6	4,0	4,3	0,90	10,0	7,3	2,7	4,6
	30-40	0,60	7,3	2,3	4,3	3,0	0,60	10,3	3,0	2,0	4,3
	40-50	TR	8,6	1,6	2,0	2,3	TR	12,3	3,6	1,3	3,6
	50-60	TR	3,3	1,0	1,0	2,0	TR	2,6	2,5	1,0	2,0

5 b

	SEM CALCÁRIO				COM CALCÁRIO			
	MILHO	SOJA	TRIGO	SOJA	MILHO	SOJA	TRIGO	SOJA
	% P							
ARADO DE DISCO (0-20 cm)	0,41	0,39	0,27	0,37	0,41	0,38	0,27	0,37
ARADO DE AIVECA (0-35 cm)	0,43	0,40	0,26	0,38	0,45	0,39	0,26	0,37
ARADO ROTATIVO (0-60 cm)	0,38	0,41	0,27	0,35	0,48	0,41	0,28	0,37

5c

PRODUTIVIDADE DE GRÃOS

	MILHO	SOJA	TRIGO	SOJA*	MILHO	SOJA	TRIGO	SOJA*
	kg ha ⁻¹							
ARADO DE DISCO (0-20 cm)	10690	4287	2161	2824	10072	4073	2406	2414
ARADO DE AIVECA (0-35 cm)	10173	4035	2868	2292	9498	4019	3474	2483
ARADO ROTATIVO (0-60 cm)	9094	3699	2612	2089	9615	4098	2423	2090

(¹) 1, 2, 3, 4 e 5^a amostragem, refere-se à março/89; set./89; maio/90; junho/91; maio/92, respectivamente.

* No ano de 1991, na cultura de soja, a queda na produtividade devido a ocorrência de doença fúngica (*Diaporthe sp.* - cancro da haste).

3.7 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

O 2º ciclo de rotação iniciou com a semeadura direta da ervilhaca cultivar comum na segunda quinzena de abril/92, utilizando a semeadora da Semeato, modelo TD-300, adaptada a esse sistema, com 45 kg.ha⁻¹ de semente. No estágio de florescimento, foi realizada a operação de manejo da cobertura verde, através da aplicação de uma mistura de 2 litros do produto comercial Roundup (ingrediente ativo: glifosate) e 1,5 l de 2,4D, para sua dessecação. A semeadura direta do milho, foi realizada no dia 09 de outubro de 1992, com o híbrido triplo Pioneer 3099, numa população equivalente a 60.000 plantas ha⁻¹, adotando-se 0,80 m de espaçamento entre linhas, utilizando-se da plantadora marca Semeato, modelo PAR-2800, adaptada ao plantio direto. O controle de plantas invasoras, foi realizado com 5 l.ha⁻¹ do herbicida comercial Gesaprim (princípio ativo: atrazina) em

aplicação pós-emergente, quando as plantas de milho atingiram 4 folhas. Na semeadura do milho utilizou-se N, K₂O e Zn, nas doses de 15, 60 e 3 kg.ha⁻¹, em forma de uréia, cloreto de potássio e sulfato de zinco, respectivamente. A fertilização nitrogenada em cobertura foi realizada aos 36 dias após a emergência, com 45 kg.ha⁻¹, usando uréia como fonte de N. O rendimento de grãos foi avaliado em quatro fileiras de 5 m no centro da unidade experimental, colhendo-se as espigas manualmente. Os valores finais, foram transformados para kg.ha⁻¹, descontando as impurezas e padronizados à unidade de 13%.

3.8 COLETA DE AMOSTRA DE SOLO

As amostras de solo foram coletadas em duas épocas, sendo a primeira, nos dias 04, 05 e 06 de outubro/92 (florescimento da ervilhaca) e a segunda nos dias 05,06 e 07 de março de 1993 (maturidade fisiológica do milho). O equipamento utilizado foi um trado tubular, do tipo calador, com dimensões de 45 cm de comprimento, diâmetro de 2,5 cm e uma abertura na forma de janela de 35cm. Em cada unidade experimental foram retiradas amostras em 30 pontos, sub-dividindo-os nas profundidades de 0-2,5; 2,5-5,0; 5,0-7,5; 7,5-10,0; 10,0-20,0 e 20,0-30,0 cm, para constituir uma amostra composta por profundidade. A distribuição dos pontos de coleta na unidade experimental é ilustrado na figura 5. A distância entre os pontos referente às coletas nas épocas 1 e 2, foram de 10 cm.

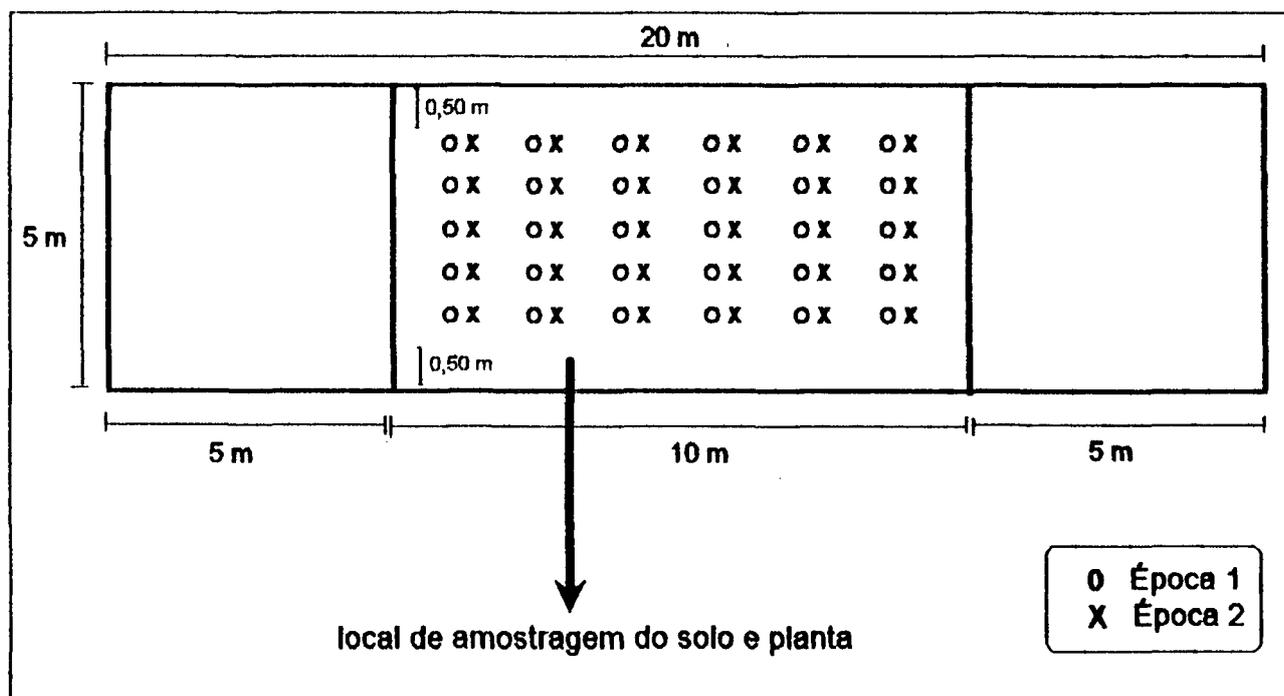


FIGURA 5. DIMENSÕES DA UNIDADE EXPERIMENTAL E DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS DE COLETA DE AMOSTRAS DE SOLO

Após a coleta, cada amostra de terra foi seca ao ar por 72 horas, homogeneizada e tamizada em peneira de 2mm. Posteriormente, foram embaladas em sacos plásticos, acondicionadas em caixas de isopor e armazenadas em câmara fria à temperatura de 25°C negativos até o início das análises laboratoriais.

3.9 COLETA DE AMOSTRAS DE MATERIAL VEGETAL

Nos estádios de florescimento da ervilhaca (época 1) coletou-se 1 m² da parte aérea das plantas e no florescimento e maturação fisiológica do milho (época 2), foram coletados 30 folhas (folha índice-abaxo e oposta à espiga) e 15 plantas ao acaso,

respectivamente, em cada unidade experimental. O material vegetal de milho (folha índice), foi lavado com água destilada, eliminadas às extremidades e somente o terço médio foi acondicionado em sacos de papel. Da ervilhaca e das plantas de milho (parte aérea), determinou-se o peso da massa verde e posteriormente, o material foi acondicionado em sacos de papel e colocado em estufa de circulação de ar, com temperatura regulada para 65°C. As plantas de milho foram sub-divididas, em duas partes: a) grãos secos com peso corrigido para 13% de umidade; b) colmo + folhas + palha + sabugo. A amostra b, foi triturada em um desintegrador de forragem, marca Jan, homogeneizada e quarteada para a obtenção de sub-amostras para secagem em estufa. Após a determinação da massa seca, as amostras foram moídas em um moinho de aço inox e submetidas à determinação de P no tecido.

3.10 MÉTODOS ANALÍTICOS

A caracterização química das amostras em função dos tratamentos e nas profundidades adotadas, na época 1, foi determinada de acordo com EMBRAPA/SNLCS (1979) encontram-se no anexo.

O conteúdo de P no material vegetal foi determinado após incineração e digestão úmida, a partir da formação da cor amarela, do complexo fosfato-vanadato em meio clorídrico, através de um espectrofotômetro, ajustado para leitura em um comprimento de onda de 660 nm.

As frações totais de P no solo ($P_{total} = P_t$; P inorgânico total = P_i e P orgânico total = P_o) foram determinadas a partir do método de ignição descrito por SAUNDERS e WILLIAMS (1955). Para as frações inorgânicas lábeis, o P foi extraído pelos métodos Mehlich 1 e pela resina de troca aniônica, utilizando-se os métodos descrito por EMBRAPA (1979) e RAIJ et al. (1987).

As amostras de solo retiradas da câmara fria foram mantidas na caixa de isopor em temperatura ambiente por 48 horas e após esse período, novamente homogeneizadas. As operações conduzidas nos diferentes métodos encontram-se a seguir:

a) SAUNDERS e WILLIAMS (1955)

Acondicionou-se uma sub-amostra de 2g de terra em cadinho de porcelana e levou-se a forno de mufla, regulado para 550°C. Ao atingir a temperatura desejada, as amostras foram mantidas por 1 hora. Após completo resfriamento, estas foram transferidas para erlenmayer de 250 ml e adicionado 100 ml de uma solução de H_2SO_4 0.2N. Concomitantemente, outra sub-amostra de 2g, não incinerada, sofreu o mesmo procedimento. Ambas, foram colocadas num agitador horizontal e agitado por 10 minutos a 220 rpm e posteriormente, mantidas em repouso por um período de 16 horas e 30 minutos. A determinação do conteúdo de P foi colorimétrica, em espectrofotômetro, no comprimento de onda de 660 nm, a partir do complexo fosfato- molibdato, em meio ácido, na presença de ácido ascórbico como redutor, formando a cor azul, conforme EMBRAPA (1979). Os padrões foram elaborados com as mesmas soluções utilizada na extração. O P_t (P_i+P_o) foi obtido da sub-amostra incinerada mais a extração com a solução ácida, enquanto o P_i ,

originou-se da extração na sub-amostra não incinerada. O Po foi estimado pela diferença entre o Pt (Pi+Po) e o Pi, pela seguinte expressão: $Po = Pt - Pi$.

b) MEHLICH-1 (EMBRAPA, 1979)

Acondicionou-se 10ml de terra em um erlenmaeyr de 250 ml, adicionou-se 100 ml de uma solução de HCl 0,05N e H₂SO₄ 0,025N e agitou-se por cinco minutos. Deixou-se em repouso durante a noite e determinou-se o P colorimetricamente, conforme item anterior.

c) RESINA TROCADORA DE ÍONS (RAIJ et al., 1987).

A uma mistura de 2,5 cm³ de TFSA e 25 ml de água destilada, previamente agitada por 15 minutos com uma bola de gude, adicionou-se 2,5 cm³ de resina regenerada, mistura de volumes iguais das resinas trocadoras de ânions (Amberlite IRA 400, base forte) e cátions (Amberlite IR 120, ácido forte). Agitou-se por 16 horas a 220 rpm, transferiu-se a suspensão de solo e resina para peneira com malha de poliéster de 0.4 mm de abertura. Após lavagem com água destilada para separar a resina da argila, transferiu-se para para um frasco de 100 ml e adicionou-se 50 ml de uma solução de NH₄Cl 0,8 N + HCl 0,2 N, permanecendo em contato por 30 minutos. Efetuou-se nova agitação por 1 hora. Determinou-se o P, retirando-se uma alíquota de 4 ml, diluindo-a com 16 ml de uma solução diluída de molibdato, para o desenvolvimento da cor azul e procedendo as leituras em um espectrofotômetro, ajustando o comprimento de onda para 720 nm.

O carbono foi determinado pelo método proposto por WALKLEY-BLACK (1947), adaptado por RAIJ et al. (1987). Consiste em avaliar a matéria orgânica ativa e facilmente decomponível do solo onde cerca de 90 a 95% do carbono total do solo é

oxidado e medido por esse método. Em 1 cm³ de terra adiciona-se 10 ml de uma solução de K₂Cr₂O₇ 1N e imediatamente 20 ml de H₂SO₄ concentrado. A matéria orgânica é oxidada a CO₂ e o cromo (Cr), do dicromato é reduzido. Posteriormente, na presença de uma solução de difenilmina como indicador, titula-se com a solução de sulfato ferroso 0,4N.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos foram agrupados em itens com o objetivo de explorar os efeitos dos fatores aplicados. A sequência estabelecida para a discussão do comportamento das frações de P e do carbono do solo, abordados no primeiro e segundo item, procurou separar os efeitos dos métodos de preparo pré-implantação ao plantio direto, das relações entre estas frações e o carbono, mesmo sabendo de sua influência sobre estas. No terceiro item, foi discutido o efeito da cultura de milho sobre a variação causada no reservatório orgânico e inorgânico de P e no carbono do solo, do ponto de vista de um balanço aparente de P. Mesmo sabendo das limitações das informações obtidas, procurou-se relacionar a variação destas frações com o P absorvido pela cultura de milho.

4.1 EFEITO DOS MÉTODOS DE PREPARO E DA CALAGEM PRÉ- IMPLANTAÇÃO AO PLANTIO DIRETO NO RENDIMENTO DE GRÃOS DE MILHO, NO CONTEÚDO DE P EXTRAÍDO PELO MILHO, NAS FRAÇÕES DE P E DO CARBONO DO SOLO

O desenho experimental permitiu detectar os efeitos interativos entre os fatores nos parâmetros estudados. Na tabela 6 (rendimento de grãos e P extraído pela planta) e 7 (frações de P e o carbono do solo) encontram-se os resultados sumarizados das análises de variância, adotando-se a seguinte notação: n.s (não significativo); * ($p < 0,05$); ** ($p < 0,01$); *** ($p < 0,001$), referindo-se às probabilidades associadas ao teste F.

Na cultura de milho sob avaliação, os tratamentos aplicados não afetaram o rendimento de grãos e o P extraído pela planta (colmo+folha+espiga). O método de preparo mais adequado para esta situação deve considerar entre os vários quesitos, o rendimento por unidade de área, o custo operacional e a infra-estrutura de máquinas. Neste caso, o preparo com discos seria o mais adequado, pela sua versatilidade de uso e simplicidade.

TABELA 6 - RENDIMENTO DE GRÃOS DE MILHO, P EXTRAÍDO PELA PLANTA (PARTE AÉREA + GRÃOS) EM FUNÇÃO DOS FATORES APLICADOS

Causas da Variação	G.L	Rendimento	P extraído
Blocos	2		
Preparo	2	n.s	n.s
Resíduo (A)	4		
C.V. (%)		3,704	8,96
Parcelas	8		
Calcário	1	n.s	n.s
Preparo*Calcário	2	n.s	n.s
Resíduo (B)	6		
Total	17		
C.V. (%)		6,87	14,44

As frações totais (Pt, Pi e Po) apresentaram comportamento diferenciado nas duas épocas amostradas. Tanto Pt quanto Pi, manifestaram interação significativa entre métodos de preparo pré-implantação e a profundidade de amostragem na época 1 e 2 ($p < 0,01$ e $p < 0,001$, respectivamente).

Os métodos de preparo pré-implantação, afetaram de forma diferenciada as frações Pt e Pi em cada profundidade amostrada, independente da época de amostragem. Isto mostra que após quatro anos de plantio direto, ainda é possível distinguir os efeitos dos

métodos de preparo de preparo pré-implantação nestas variáveis, o que indica que esses efeitos tenham ocorrido no momento da implantação do fator preparo.

TABELA 7 - COMPORTAMENTO DAS VARIÁVEIS Pt, Pi, Po, Po%, Pm, Pr, C, C:Po, NA ÉPOCA 1 E 2, EM FUNÇÃO DOS MÉTODOS DE PREPARO E DA CALAGEM, EM UM LATOSSOLO VERMELHO ESCURO DISTRÓFICO (Led), APÓS 4 ANOS DE PLANTIO DIRETO.

Causas da variação	GL	Pt	Pi	Po	Po%	Pm	Pr	C	C:Po		
										----- Época 1 -----	
Bloco	2										
Preparo	2	*	n.s	**	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s		
Resíduo (a)	4										
C.V. (%)		5.3	11.1	6.9	10.6	17.2	18.0	2.3	12.1		
Parcela	8										
Calcário	1	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s		
Preparo*calcário	2	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s		
Resíduo (b)	2										
C.V. (%)		7.7	11.3	9.2	5.9	18.5	13.0	4.0	8.9		
Sub-parcela	17										
Profundidade	5	***	***	**	***	***	***	***	n.s		
Preparo*Profundidade	10	**	**	n.s	**	**	*	**	n.s		
Calcário*Profundidade.	5	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s		
Preparo*Calc*Prof.	10	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s		
Resíduo (c)	60										
C.V. (%)		15.6	17.7	36.1	25.6	35.2	23.2	4.1	44.5		
		----- Época 2 -----									
Bloco	2										
Preparo	2	**	*	n.s	*	*	n.s	**	n.s		
Resíduo (a)	4										
C.V. (%)		2.7	8.9	11.7	8.6	12.3	9.9	1.2	10.7		
Parcela	8										
Calcário	1	n.s	n.s	***	n.s	n.s	n.s	*	**		
Preparo*Calcário	2	n.s	n.s	***	n.s	n.s	n.s	n.s	**		
Resíduo (b)	4										
C.V. (%)		7.9	13.1	3.1	8.4	15.4	9.4	2.3	4.7		
Sub-parcela	17										
Profundidade	5	***	***	***	***	***	***	***	***		
Preparo*Prof.	10	***	***	n.s	**	***	*	*	n.s		
Calcário*Prof.	5	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s		
Preparo*Calc.*Prof.	10	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s		
Resíduo (c)	60										
C.V. (%)		12.9	15.1	34.9	23.8	24.9	29.1	4.0	38.8		

Tanto na época 1 quanto na época 2, ocorreu queda acentuada nos teores dessas frações na profundidade entre 6,25 e 8,75 cm, com destaque para o preparo com o arado

rotativo que proporcionou maior homogeneização na incorporação. O preparo pré-implantação com o arado de discos, também promoveu uma distribuição mais uniforme destas frações sem variação abrupta e os teores na camada entre 6,75 e 15 cm foram semelhantes. Os valores proporcionados pelo preparo com arado de aivecas foram superiores aos demais tanto na época 1 quanto na época 2. Porém, esse método de preparo causou uma distribuição com maior dispersão em profundidade. É coerente que essas diferenças ocorram sob influência da profundidade de amostragem, uma vez que a ação dos métodos de preparo pré-implantação promovem arranjos diferenciados às partículas do solo nas diversas camadas. Do ponto de vista agrônomo, é esperado que a combinação destes fatores influenciam no comportamento destas frações e, aliado às características do plantio direto, poderá influenciar a formação de camadas com níveis diferenciados. Em relação a Pt o preparo preparo pré-implantação com rotativo foi estatisticamente diferente ($p < 0,05$) do preparo com arado de aivecas e de discos na profundidade de 3,75 e 8,75 cm na época 1, enquanto na época 2 situou-se nas camadas de 6,25 e 8,75 cm. Ao contrário de Pt, o efeito em Pi agrupou os preparos que proporcionam maior homogeneização no perfil - arado de discos e rotativo - com diferenças estatisticamente significativas ($P < 0,05$) em relação ao preparo com arado de aivecas. Neste, por sua vez, o teor encontrado na profundidade de 8,75 e 15 cm, foi superior em 82,8 e 81,4% em relação ao preparo com arado de discos e 55 e 57% em relação ao preparo com arado rotativo, respectivamente.

A distribuição dos valores médios dos métodos de preparo pré-implantação (marcadores - figura 6) nas profundidades amostradas, para as frações Pt e Pi, foram bem representados pelas equações de regressão, cujo coeficiente de determinação foi elevado e

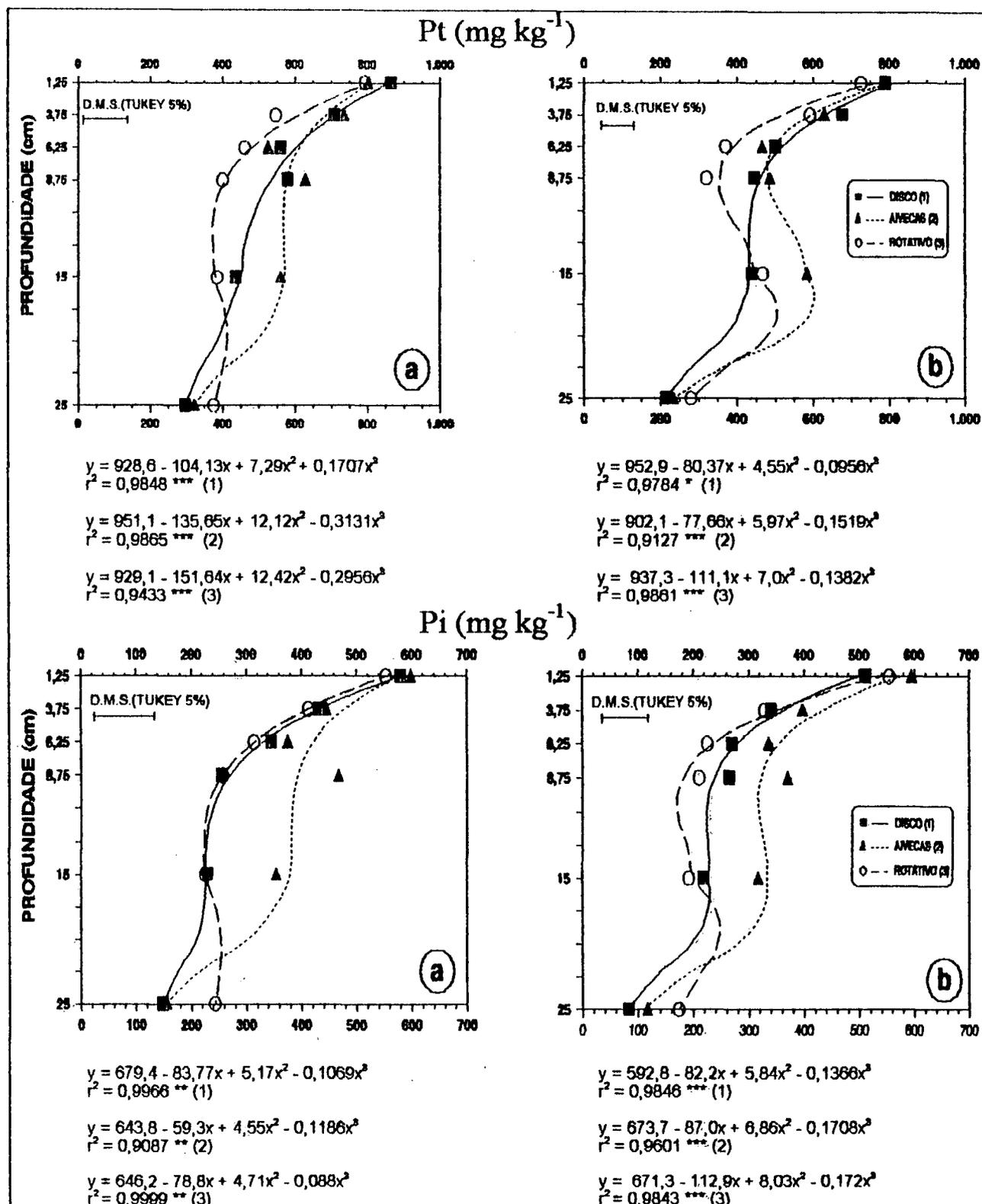


FIGURA 6. DISTRIBUIÇÃO DOS TEORES DE Pt E Pi EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE DE AMOSTRAGEM, SOB EFEITO DE MÉTODOS DE PREPARO E DA CALAGEM PRÉ-IMPLANTAÇÃO AO PLANTIO DIRETO, NA ÉPOCA 1 (a) E 2 (b).

elevado e significativo para $p < 0,001$ tanto na época 1 quanto na época 2 .

O preparo pré-implantação com arado de aivecas causou maior dispersão dos pontos no perfil e o coeficiente de determinação na época 1 foi inferior à época 2, porém, para estas frações apresentou valores superiores aos preparos com arado de discos e rotativo. Estes resultados estão de acordo com o trabalho de COUSENS e MOSS (1980) que utilizaram sementes de ervas daninhas para avaliar sua distribuição no perfil em função de métodos de preparo. Ao contrário das frações Pt e Pi, não houve efeito da interação entre métodos de preparo pré-implantação e a profundidade amostrada para Po. Na época 1 os efeitos isolados do preparo e da profundidade alteraram seu comportamento, enquanto na época 2 além do efeito isolado da profundidade de amostragem, a interação preparo-calcário alterou sua distribuição no perfil. A figura 7 ilustra o efeito de métodos de preparo no teor de Po em função da profundidade de amostragem na época 1 e 2.

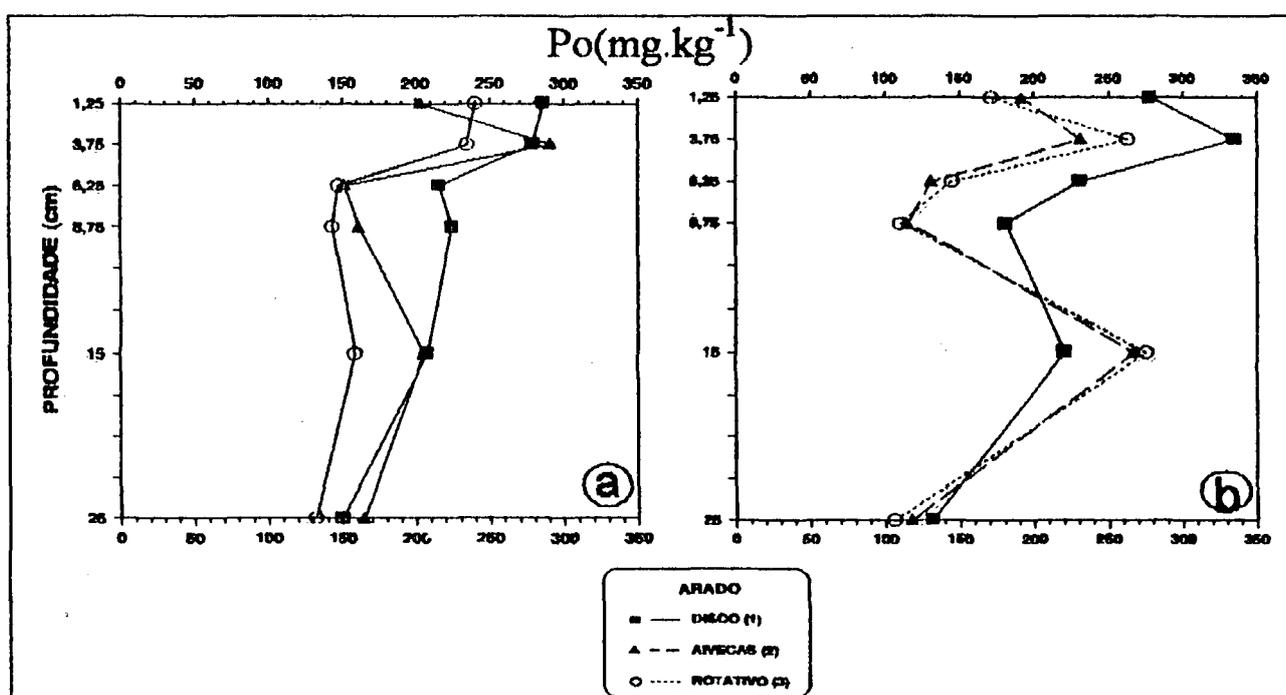


FIGURA 7. TEOR DE Po NA ÉPOCA 1(a) E 2 (b) EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE DE AMOSTRAGEM, SOB EFEITO DE MÉTODOS DE PREPARO PRÉ-IMPLANTAÇÃO EM UM Led SOB PLANTIO DIRETO.

Na realidade, sob condições de campo, após diversos cultivos em rotação ocorre a sobreposição de linhas das culturas, podendo criar zonas de acúmulo de fósforo mesmo sem adição P. Dependendo da resistência à mineralização poderá haver maior ou menor liberação de Po ao sistema. Os resultados de BARBER (1977), mostraram que a porcentagem de fósforo acumulada nas raízes era expressiva e em grande parte na forma de Pi, podendo facilmente ser incorporada à formas orgânicas e redistribuído como Po.

A diferença no conteúdo de Po imposta pelos fatores aplicados nas duas épocas de amostragem, foi possivelmente devido ao comportamento diferenciado das culturas anteriores às coletas através da mineralização dos resíduos da parte aérea e de raízes mortas destas, podendo liberar formas de Po que podem ser rapidamente estabilizadas ou redistribuídas no solo. Outro aspecto que pode contribuir para essa diferença, é o transporte e a transformação de resíduos orgânicos da superfície do solo para camadas mais profundas, por anelídeos e coleopteros. SYERS e SPRINGETT (1984) comentaram que a contribuição em P devido aos anelídeos atinge até $9 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, enquanto SÁ (1993b) encontrou teores de P (extraído por Mehlich) da ordem de 12 a $19 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ em "sítios de material orgânico", distribuídos em diversas profundidades no perfil de solos sob plantio direto, sendo similares aos valores encontrados na camada superficial. Então, durante a amostragem do solo, é possível coletar parte desses sítios, alterando a distribuição estratificada do Po nas camadas de solo.

O efeito significativo da calagem nos teores de Po foi verificado apenas na 2ª época de amostragem. Nessa época, o teor de Po afetado pela interação preparo*calcário (figura 8), sugere um efeito estimulador do calcário no desenvolvimento do sistema

radicular do milho, conforme os resultados de COMIN (1992) obtidos nas mesmas parcelas sob estudo, ou talvez, conforme observou ANDERSON (1960), por afetar a solubilidade e disponibilidade de ésteres de fosfato no solo. Da mesma forma, as observações de TATE (1984) respaldam esses argumentos, uma vez que a transformação do Po do solo para formas orgânicas e inorgânicas solúveis, depende da combinação de uma série de variáveis.

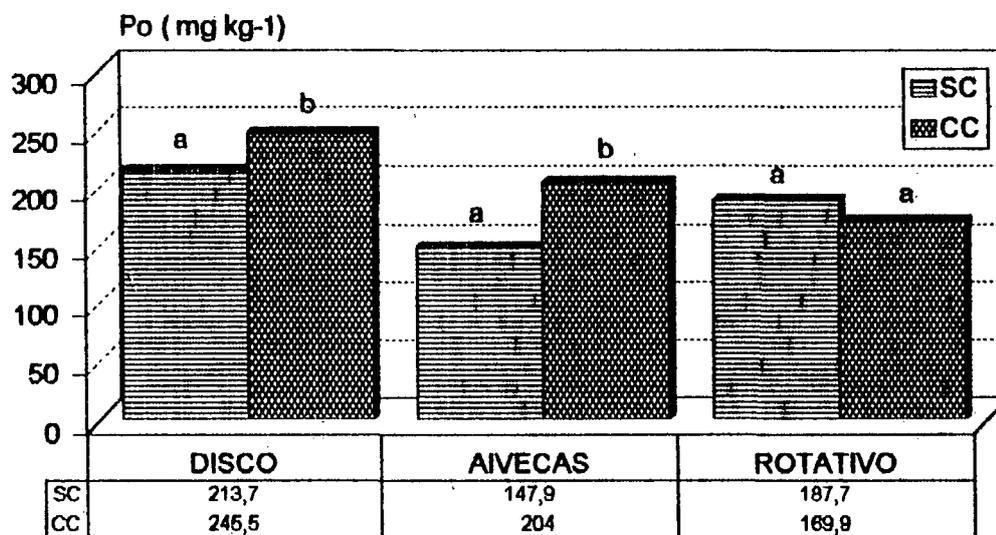


FIGURA 8. TEORES MÉDIOS DE Po NO PERFIL DE UM LEI, SUBMETIDO A CALAGEM E A MÉTODOS DE PREPARO PRÉ-IMPLANTAÇÃO AO PLANTIO DIRETO (SC = SEM CALCÁRIO; CC = COM CALCÁRIO)

Obs: Em cada sistema de preparo, o par de colunas indicado pela mesma letra não difere significativamente pelo teste de Tukey para $p < 0,05$.

Situações que privilegiam a manutenção de coberturas vegetais com características químicas distintas e sistemas radiculares que exploram volumes diferenciados de solo, resultam na distribuição das frações de P em camadas, conforme observações de TATE (1984). Sobre as interações entre processos biológicos, sistema de cultivo e estruturação do solo, LYNCH (1984) considera que o efeito da alternância de diferentes

sistemas radiculares favorece a diversificação da população de microorganismos, atuando de forma diferenciada no processo de rearranjo das partículas de solo.

Ao contrário dos teores absolutos de P_o , os valores percentuais em relação a P_t nas duas épocas, foram afetados pelo efeito da interação preparo•profundidade de amostragem com diferenças significativas entre si ($p < 0,01$). O aumento da % de P_o em profundidade no perfil foi diferente entre os preparos a cada profundidade. A figura 9 ilustra a variação na porcentagem de P_o no perfil amostrado.

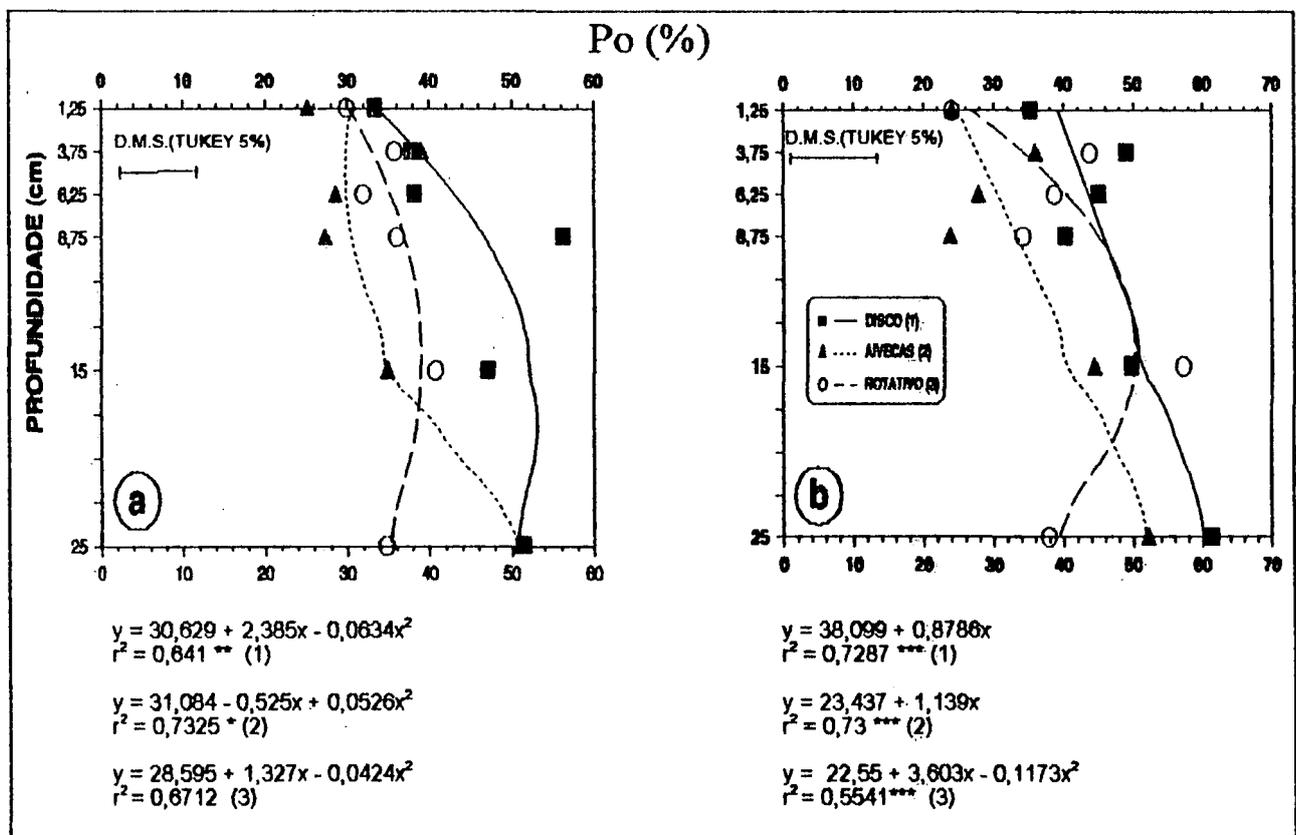


FIGURA 9. VALORES MÉDIOS DA PORCENTAGEM DE P_o EM RELAÇÃO A P_t NO PERFIL DE UM LEA, SUBMETIDO A MÉTODOS DE PREPARO PRÉ-IMPLANTAÇÃO AO PLANTIO DIRETO, NA ÉPOCA 1(a) E 2 (b).

A diferença entre os métodos de preparo ocorreu na profundidade de 3,75 e 8,75 cm, onde os valores do preparo com arado de aivecas foram significativamente ($p < 0,01$) inferiores aos arados de discos e rotativo.

Do ponto de vista das frações totais o gradiente na época 1 foi devido mais à redução acentuada de P_i do que ao aumento de P_o . Na época 2, o gradiente foi função do aumento de P_o . Tais fatos indicam a contribuição da mineralização de uma parcela das raízes e da parte aérea de ervilhaca.

Desses efeitos, dois aspectos devem ser ressaltados: a) a redução mais acentuada de P_i em relação ao P_o pelo aumento da profundidade de amostragem, que também foi acompanhada da redução do carbono, indicando o mineralização do P no sentido de P_i mais estável; b) a maior ou menor liberação de P, provavelmente uma função dos efeitos da estação do ano, do conteúdo de nitrogênio e fósforo e da relação C:N. BUCHANAN e KING (1993) mostraram a formação de um reservatório de carbono e fósforo após a acumulação de resíduos na superfície com repetidas culturas. Em resíduos de milho, após 100 semanas, ainda restavam 18 % de P, enquanto em soja após 44 semanas, somente 21 % do P foi encontrado nos resíduos. Estas constatações respaldam a variação que ocorre em condições de campo, indicando que o comportamento do P_o não está condicionado somente à estratificação, mas por outros fatores que influenciam seu comportamento.

Nas parcelas estudadas, a sequência das culturas mostra um equilíbrio entre gramíneas e leguminosas, sugerindo a liberação de formas orgânicas com características distintas e da mesma forma, deve ser considerada a distribuição desuniforme dos resíduos das culturas sobre o solo, durante a colheita de grãos pelas colhedoras. O acúmulo de

resíduos em determinados pontos pode refletir-se no conteúdo de P e conseqüentemente a amostragem, o que seria uma das causas da variação na porcentagem de Po.

O efeito da interação Preparo*Profundidade no Pi lábil (Pm e Pr) foi significativo ($p < 0,01$) nas duas épocas de amostragem. Enquanto na época 1 os teores de P (extraído por Mehlich) foram afetados pelos métodos de preparo entre 7,5-10 e 10-20 cm, na época 2 ocorreram entre 5,0-7,5 e 10-20 cm (figura 10).

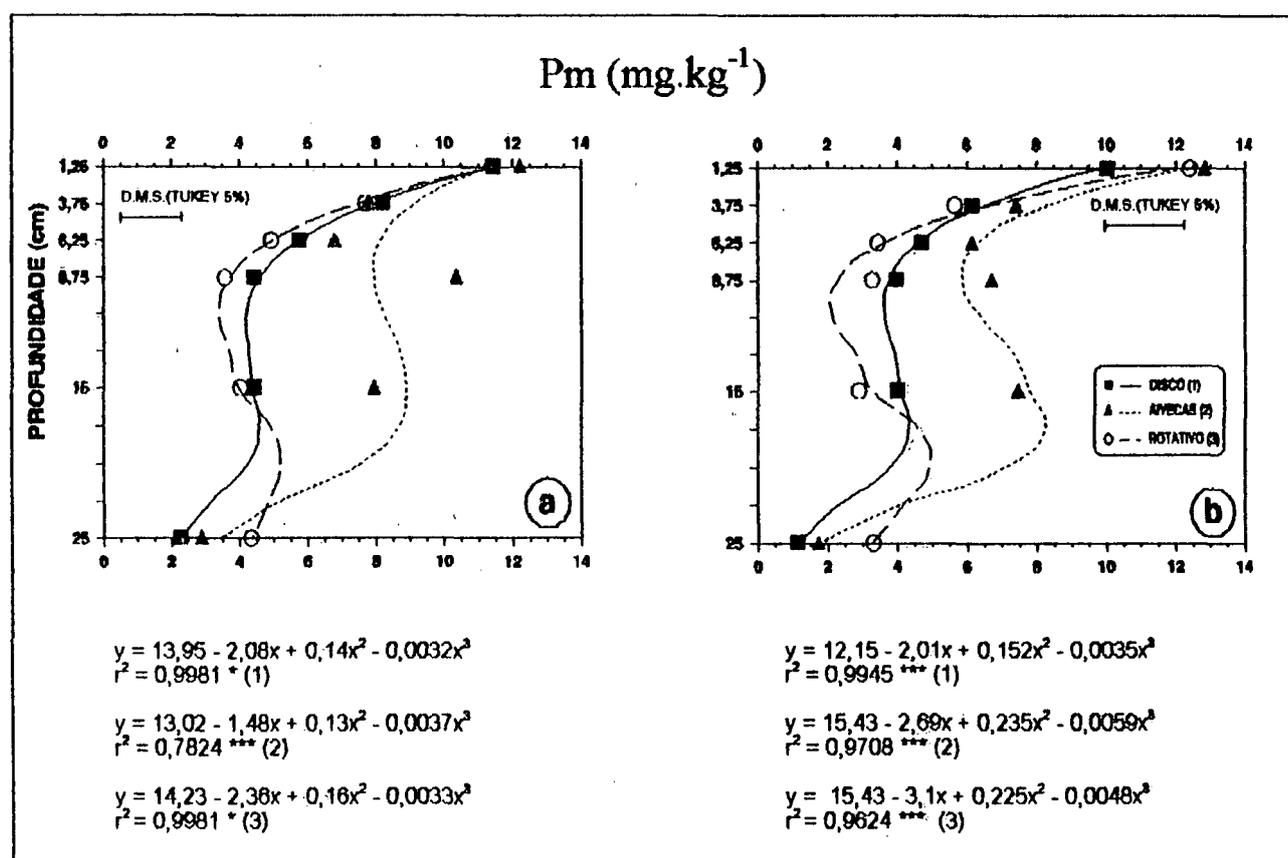


FIGURA 10. TEORES MÉDIOS DE P (EXTRAÍDO POR MEHLICH) NO PERFIL DE UM LED SUBMETIDO A MÉTODOS DE PREPARO PRÉ-IMPLANTAÇÃO AO PLANTIO DIRETO, NA ÉPOCA 1(a) E 2 (b).

Tanto o preparo com arado de discos quanto o arado rotativo apresentaram valores semelhantes entre si e inferiores ao preparo com arado de aivecas. O comportamento

diferenciado de Pm entre os métodos de preparo, mostra que a forma de mistura das partículas de solo e o seu rearranjo ao longo do tempo influenciou a concentração de P nas camadas de solo. Enquanto o preparo com arado de discos e rotativo tenderam a formar um gradiente com distribuição mais uniforme, o preparo com arado de aivecas causou maior dispersão dos teores de P no perfil.

Apesar da interação Preparo*Profundidade na época 1, ter sido significativa, o desdobramento desta interação não evidenciou essas diferenças no P determinado pelo método da resina trocadora de ânions.

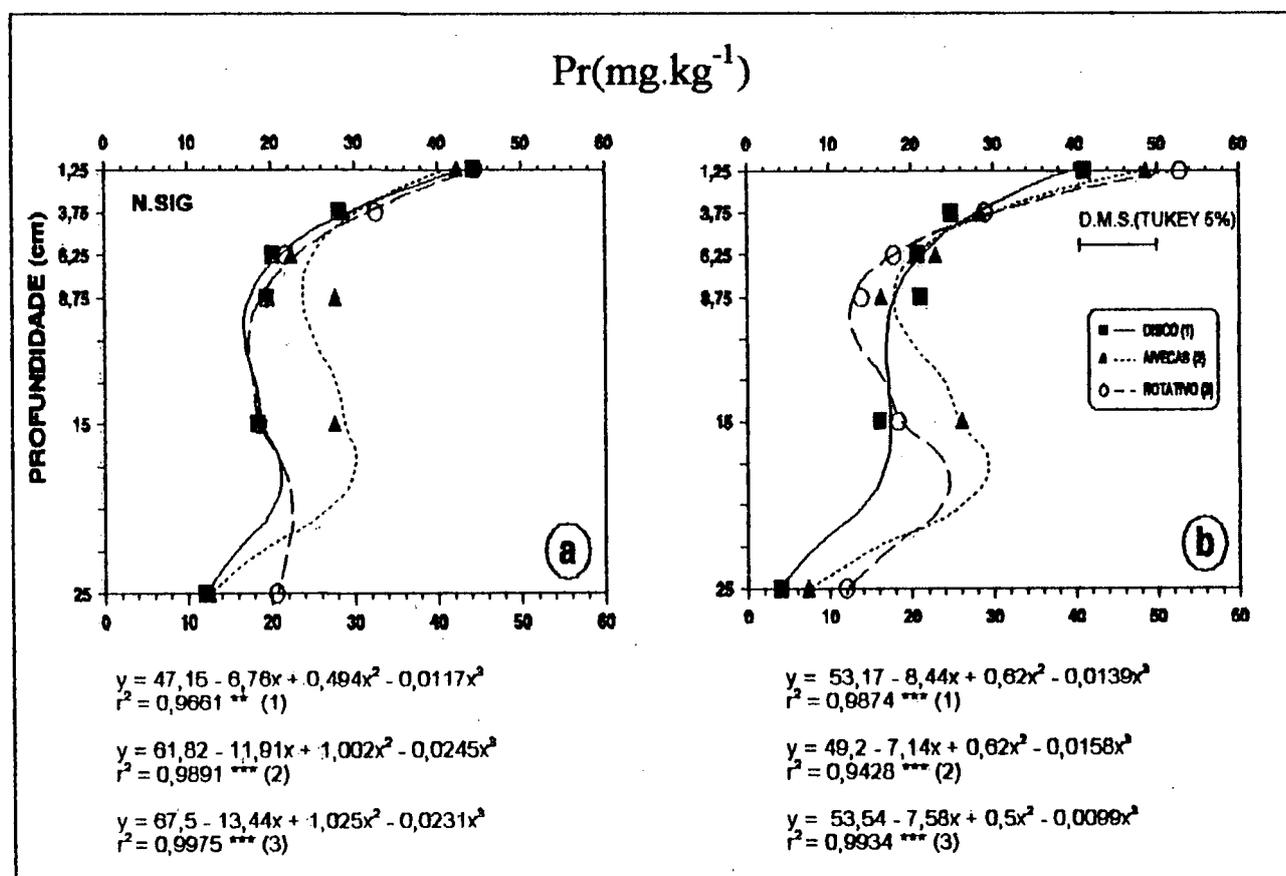


FIGURA 11. TEORES MÉDIOS DE P EXTRAÍDO PELA RESINA DE TROCA ANIÔNICA NO PERFIL DE UM LEd SUBMETIDO A MÉTODOS DE PREPARO PRÉ-IMPLANTAÇÃO AO PLANTIO DIRETO, NA ÉPOCA 1 (a) E 2 (b).

Na época 2, essa diferença foi evidenciada na camada de 0-2,5 e 10-20, sugerindo não somente a contribuição dos resíduos de ervilhaca, através da sua mineralização, mas também, o efeito das raízes da planta de milho (figura 11).

O coeficiente de variação da interação preparo*profundidade para Pm foi superior a Pr na época 1, enquanto que, na época 2 para Pr foi ligeiramente inferior a Pm. Isto indica que a determinação destas frações é influenciada por outros fatores anteriores à amostragem que não foram avaliados. Os resultados estão de acordo com o trabalho de MAGID e NIELSEN (1992), que constataram elevada oscilação nos teores de P durante os doze meses de coleta.

Apesar do comportamento diferenciado destas frações, observou-se elevado coeficiente de correlação linear entre os valores obtidos por Pm e Pr, tanto na época 1 ($r = 0,917^{***}$, $n = 108$), quanto na época 2 ($r = 0,899^{***}$, $n = 108$). Mesmo considerando as diferenças básicas existente entre dois métodos de extração de P, para a condição do estudo indica que os valores de ambos variaram de forma similar.

Na época 1, os teores de Pr de acordo com as classes de P estabelecidas por RAIJ (1983), situam-se como alto na camada de 0-2,5 cm, enquanto para as profundidades abaixo de 2,5 cm os teores enquadraram-se na classe médio. A mesma tendência foi observada na época 2, exceto na camada de 20-30 cm, onde situaram-se na classe baixo. Por outro lado, de acordo com os valores estabelecidos por MUZILLI et al. (1978), os teores de Pm situaram-se como médio nas profundidades de 0,0-2,5 e 2,5-5,0, enquanto nas demais camadas a classe baixo foi predominante. Do ponto de vista agrônômico, a diferença

no enquadramento em classes é relevante para a tomada de decisão na recomendação de adubação, conforme o método analítico adotado em cada laboratório de análise de solos.

O carbono foi afetado pela interação Preparo*Profundidade nas duas épocas de amostragem. Apesar do efeito isolado do calcário na época 2 ter sido significativo, sobre o teor de C, a média dos valores com e sem calcário (2,43 e 2,35 %, respectivamente), não diferiram significativamente entre si. Do mesmo modo, a produção de massa seca de ervilhaca foi 5% superior nos tratamentos com calcário, mas as diferenças não foram estatisticamente significativas.

A distribuição do carbono no solo em função da interação Prep*prof é ilustrada na figura 12.

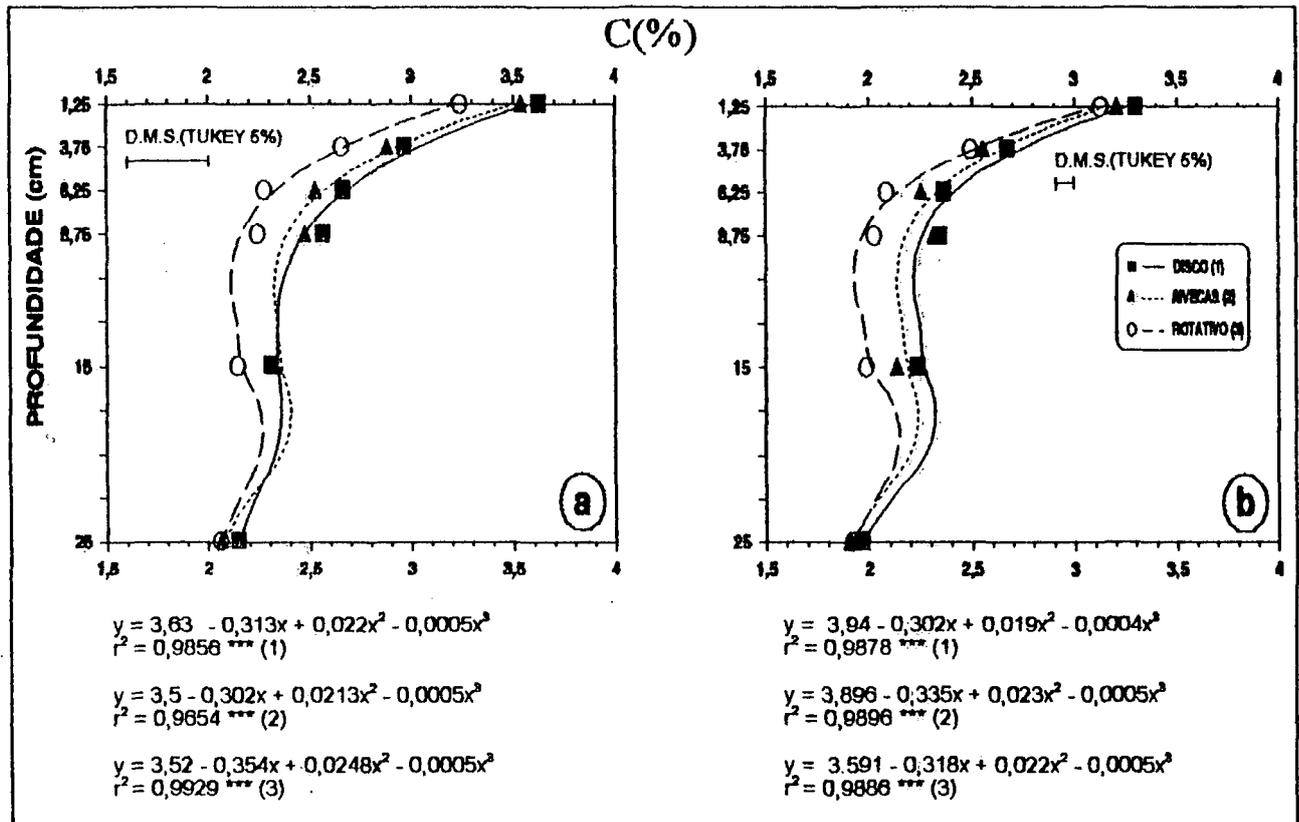


FIGURA 12. TEORES MÉDIOS DE CARBONO NO PERFIL DE UM LEd SUBMETIDO A MÉTODOS DE PREPARO PRÉ-IMPLANTAÇÃO AO PLANTIO DIRETO, ÉPOCA 1 (a) E 2 (b).

Os coeficientes de determinação das curvas de regressão elevados e os modelos das equações significativos ($p < 0,001$), indicam a representatividade destas.

Ao contrário das frações de P, preparo com arado de aivecas não causou dispersão do teor de carbono no perfil. Observou-se comportamento semelhante entre o preparo com arado de discos e de aivecas, cujas diferenças foram mais acentuadas em relação ao preparo com o arado rotativo, que apresentou valores inferiores em todas as profundidades amostradas. As diferenças significativas entre os métodos de preparo ocorreram nas profundidades de 1,25 a 8,75 e 6,25 a 15 cm, nas épocas 1 e 2, respectivamente. Em geral, a redução no teor de carbono foi acentuada até a camada de 5,0-7,5 cm e em menor proporção nas camadas subsequentes.

Os fatores aplicados afetaram de forma diferenciada as variáveis estudadas, permitindo distinguir três situações: a) O efeito dos métodos de preparo nas profundidades amostradas causaram menor oscilação entre os valores observados e os estimados pelas equações de regressão tanto no C quanto no Pt; b) a fração de P inorgânico total e a de P lábil, apresentaram comportamento semelhante perante os métodos de preparo nas profundidades amostradas, porém, os valores obtidos do preparo com arado de aivecas apresentaram um distanciamento em relação aos estimados pelas equações de regressão, revelando maior variação entre as profundidades amostradas; c) o Po foi afetado tanto pelos efeitos isolados dos métodos de preparo e pela profundidade, como pela interação preparo*calcário, indicando que a época de amostragem condicionou seu comportamento diferenciado em relação às outras variáveis.

4.2 AMPLITUDE DE VARIAÇÃO E RELAÇÕES DAS FRAÇÕES DE P E O C DO SOLO

Independente dos tratamentos aplicados, as frações totais de P tiveram um comportamento diferenciado em profundidade e entre épocas de amostragem, enquanto o carbono apresentou uma distribuição mais uniforme em profundidade, com baixo desvio padrão entre as duas épocas de amostragem (tabela 8).

TABELA 8 - VALORES MÉDIOS, MÍNIMOS, MÁXIMOS E DESVIO PADRÃO DAS FRAÇÕES Pt, Pi E Po EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE E DA ÉPOCA DE AMOSTRAGEM.

Prof. (cm)	Época 1				Época 2			
	média	mínimo	máximo	Dpadrão	média	mínimo	máximo	Dpadrão
Pt (mg.kg ⁻¹)								
0-2,5	822	680	1076	106	768	645	925	70
2,5-5,0	699	483	952	121	633	476	813	93
5,0-7,5	517	376	645	72	447	348	680	80
7,5-10	538	311	925	152	419	285	586	92
10-20	462	281	680	105	498	333	680	94
20-30	332	223	450	68	244	179	311	44
Pi (mg.kg ⁻¹)								
0-2,5	578	450	848	99	554	406	739	94
2,5-5,0	431	311	610	67	357	270	463	61
5,0-7,5	346	232	518	66	278	162	424	64
7,5-10	328	171	802	154	283	171	470	86
10-20	271	150	400	74	244	146	418	75
20-30	183	95	354	68	125	56	214	52
Po (mg.kg ⁻¹)								
0-2,5	243	114	413	78	214	42	352	78
2,5-5,0	268	118	478	91	277	107	422	92
5,0-7,5	172	96	355	64	169	52	380	76
7,5-10	210	97	364	89	136	48	279	49
10-20	191	85	380	76	254	102	440	94
20-30	149	35	218	48	119	84	155	17

Os valores de Pt situam-se dentro faixa encontrada para solos tropicais conforme os resultados de CATANI e BATAGLIA (1968) para solos do estado de São Paulo, BORNEMIZA e IGUE (1967) na Costa Rica e por ENWEZOR (1967) na Nigéria.

Os valores máximos para Pi referentes à camada de 7,5 - 10,0 cm foram discrepantes, e a mesma variação ocorreu em todas as frações. Para o carbono orgânico, não ocorreu essa elevação abrupta. Daí se deduz que o sistema radicular da ervilhaca exsudando substâncias que proporcionaram maior concentração de P, conforme constataram BARBER (1977); LEE e PANKHURST (1992). Esse aumento expressivo pode ser decorrente da coleta de parte de "sítios de material orgânico" formados por organismos da entomofauna do solo, onde a concentração de P extraído por Mehlich é até 10 vezes superior a média da camada de 20 cm, conforme resultados de SÁ (1993a). Na época 2 não se repetiu essa tendência, embora, a distância entre os pontos de coleta das amostras simples entre as épocas fossem de apenas 10 cm., reforçando os argumentos acima. Em geral, os valores do desvio padrão por camada amostrada, foram inferiores na época 2, sugerindo efeito da cultura de milho, cuja característica do sistema radicular do tipo fasciculado poderia proporcionar uma distribuição mais homogênea das frações de P no perfil do solo, reduzindo portanto a amplitude de variação. HAMBLIN (1985), classificou o tamanho dos poros pela sua formação no sistema solo-água-planta, desde bactérias até galerias de minhocas e ninhos de formigas. Esses resultados evidenciam mais um componente de variação que poderá influir durante a amostragem para fins de avaliação da fertilidade do solo, em sistemas com cobertura vegetal permanente. O não revolvimento do solo altera as

variáveis microclimáticas, e constitui um importante regulador da decomposição dos resíduos (HOUSE et al., 1984; HENDRIX et al., 1986).

A média geral do teor de Po para todos os fatores aplicados no presente estudo, com o método da ignição de SAUNDERS E WILLIAMS (1955) foi de 200 mg.kg^{-1} . A média em 23 amostras de solos (20 do Brasil e 3 de Gana) encontrada por CONDRON et al. (1990) mostrou o valor similar (209 mg.kg^{-1}).

A amplitude de variação foi maior no Po, demonstrando ser essa a fração que mais interage com as condições de amostragem. A susceptibilidade dos resíduos aos agentes decompositores, é um fator preponderante na taxa de mineralização e liberação de formas disponíveis de P ao solo. A sequência de culturas adotada na área experimental - uma alternância entre leguminosas e gramíneas - proporciona liberação e imobilização diferenciada de Po. As inúmeras formas orgânicas liberadas ao solo oriundas da mineralização dos resíduos das culturas, tais como ácidos orgânicos de alto peso molecular podem contribuir para a redistribuição de formas de P (HUE et al., 1986). Neste caso, o deslocamento destas poderia dar-se pelo movimento descendente de água, através da porosidade permanente do solo ou pela exsudação de diversos tipos de carboidratos durante o estágio de senescência das raízes e colonização dos decompositores. Os trabalhos de têm enfatizado a importância de estudos (HUE et al., 1986) sobre o desdobramento dessas substâncias em regiões tropicais, as quais atuam na superfície das partículas, em pontos de adsorção, formando pontes com o P e deixando-o em equilíbrio com a fração lábil.

Ao contrário das frações totais a porcentagem de Po aumentou em profundidade, nas duas épocas de amostragem (tabela 9). A amplitude de variação representada pelos

valores mínimos e máximos, situa-se na faixa citada por diversos autores que desenvolveram trabalhos em regiões tropicais, como também evidenciam a importância do Po e suas relações com outras frações de P no solo (ACQUAYE, 1963; ENWEZOR e MOORE, 1966; BORNEMIZA e IGUE, 1967; ADEPTU e COREY, 1976; e OMOTOSU e WILD, 1970a; 1970b). A média geral da porcentagem de Po em relação a Pt, nesse estudo foi de 39,1 %, enquanto a média para solos tropicais obtida pelos vários autores (tabela 1), foi de 39 %.

TABELA 9 - VALORES MÉDIOS , MÍNIMOS , MÁXIMOS E DESVIO PADRÃO DA PORCENTAGEM DE Po EM RELAÇÃO A Pt, CABONO E RELAÇÃO C:Po EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE DE AMOSTRAGEM NA ÉPOCA 1 E 2.

Prof. (cm)	Época 1				Época 2			
	média	mínimo	máximo	Dp	média	mínimo	máximo	Dp
	Po (%)							
0-2,5	29,6	14,0	39,9	7,9	27,9	5,4	41,4	9,8
2,5-5,0	37,6	24,4	56,3	8,2	43,0	18,8	57,6	10,2
5,0-7,5	32,9	18,5	55,0	9,8	37,3	10,9	55,8	12,3
7,5-10	39,9	13,2	64,7	14,5	32,9	16,9	51,7	10,1
10-20	40,9	18,8	60,6	11,5	50,5	20,8	70,1	13,6
20-30	45,8	8,8	64,8	13,5	50,6	29,9	70,8	12,9
	C (%)							
0-2,5	3,47	2,82	3,93	0,26	3,21	2,91	3,42	0,14
2,5-5,0	2,84	2,52	3,15	0,16	2,58	2,29	2,87	0,15
5,0-7,5	2,49	2,16	2,91	0,19	2,24	2,01	2,48	0,14
7,5-10	2,43	2,12	2,72	0,17	2,23	1,89	2,48	0,18
10-20	2,26	2,00	2,60	0,17	2,21	1,81	2,40	0,15
20-30	2,09	1,92	2,28	0,10	1,94	1,74	2,13	0,12
	C:Po							
0-2,5	157,9	68,1	275,1	54,2	151,3	42,1	281,8	58,7
2,5-5,0	118,6	66,0	220,2	44,4	106,2	59,8	234,8	44,2
5,0-7,5	159,1	76,6	247,1	44,2	158,5	65,3	425,9	78,9
7,5-10	134,6	65,8	240,0	50,3	183,7	83,2	392,3	66,8
10-20	137,6	58,9	292,5	58,4	96,8	45,7	201,5	41,4
20-30	169,7	105,1	573,1	106,4	167,5	124,9	245,4	31,4

A relação C:Po teve um comportamento variável principalmente entre a época de amostragem, onde o coeficiente de correlação linear “r” foi muito baixo e não significativo. A relação C:Po têm sido considerada um referencial no tocante à intensidade da mineralização. Os valores obtidos em todas as profundidades amostradas foram inferiores à 200. Neste caso, a tendência geral seria a liberação e redistribuição do P, conforme as observações de BLACK e GORING (1953); FULLER et al. (1956); HANNAPEL et al. (1963), sugerindo que durante a decomposição do material vegetal no solo a mineralização inicial do Po, poderia ocorrer se C:Po fosse inferior a 200 e a imobilização ocorreria se fosse acima de 300. Assim, o comportamento do humus estável do solo pode diferir do material orgânico fresco quando a relação C:Po dos resíduos estiver acima do humus estável do solo. Por outro lado, a discussão sobre a influência direta da relação C:Po como regulador da mineralização do Po é variável, conforme ENWEZOR (1967), indicando não ser um índice confiável para prever o Po mineralizado. No presente estudo, a correlação entre a o Po e a relação C:Po, foi altamente significativa ($r = -0,7383$ *** e $r = -0,7648$ ***, para $n = 108$, época 1 e 2, respectivamente), enquanto o carbono apresentou baixa correlação ($r = -0,0757$ n.s. e $r = -0,0882$ n.s., para $n = 108$, época 1 e 2, respectivamente) e o coeficiente de correlação entre Po e o carbono orgânico foi baixo, porém altamente significativo ($r = 0,4429$ *** e $r = 0,3066$ ***, para $n = 108$, época 1 e 2, respectivamente). Isto indica que Po foi mais efetivo nesta relação do que o carbono e a variação do Po no solo foi acompanhada pela relação C:Po. Neste caso, dois aspectos podem ter contribuído: a) os resíduos de ervilhaca apresentaram teores percentuais na massa seca superiores à 0,3%, o que indica mobilização do fósforo no sentido do reservatório orgânico e inorgânico

lável; b) a presença de porcentagem elevada de Pi nos tecidos da ervilhaca, que pode ser rapidamente liberado e redistribuído independente da mineralização e/ou estabilização do carbono, conforme os resultados de JONES e BROMFIELD (1978); BLAIR e BOLAND (1978). A relação C:Po do solo em geral foi superior aos valores sugeridos por HANNAPPEL et al. (1963) e estão de acordo com BORNEMIZA e IGUE (1967); ENWEZOR (1967). Para a presente situação a elevada correlação entre Po e a relação C:Po atesta que ambos variaram juntos, podendo neste caso ser um índice auxiliar no prognóstico da mineralização de Po, apesar da elevada amplitude de variação entre as profundidades amostradas.

As frações inorgânicas solúveis (tabela 10), tiveram distribuição diferenciada

TABELA 10 - VALORES MÉDIOS, MÍNIMOS, MÁXIMOS E DESVIO PADRÃO (dp) DAS FRAÇÕES INORGÂNICAS LÁBEIS EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE E DA ÉPOCA DE AMOSTRAGEM.

Prof. (cm)	Época 1				Época 2			
	média	mínimo	máximo	dp	média	mínimo	máximo	dp
	Pm (mg.kg ⁻¹)							
0-2,5	11,7	7,9	16,6	2,6	11,8	7,4	16,9	2,7
2,5-5,0	7,9	4,3	11,8	2,1	6,4	3,3	8,4	1,3
5,0-7,5	5,8	3,2	9,2	1,6	4,8	2,1	9,3	1,7
7,5-10	6,1	2,6	26,8	5,4	4,7	2,7	10,5	1,9
10-20	5,5	1,3	9,2	2,5	4,8	2,1	14,1	2,9
20-30	3,2	1,3	6,3	1,4	2,17	0,7	5,6	1,4
	Pr (mg.kg ⁻¹)							
0-2,5	43,8	33,2	61,7	8,5	47,6	31,8	71,4	11,1
2,5-5,0	29,9	21,5	56,3	8,5	27,5	20,4	35,9	5,2
5,0-7,5	21,5	15,6	30,5	4,8	20,6	13,2	31,6	4,3
7,5-10	22,3	7,8	56,3	10,4	17,4	8,9	35,9	6,8
10-20	21,6	8,9	38,8	7,3	20,3	11,3	49,6	8,9
20-30	15,1	7,8	29,1	6,1	7,8	2,6	15,6	4,4

entre si e o desvio padrão na época 1 foi mais acentuado em ambas frações.

Os valores de P extraído por Mehlich nas diversas camadas contrastam com outras avaliações realizadas por SÁ (1993a) em solos da região dos Campos gerais, por longo período sob plantio direto e fertilização fosfatada nas culturas em rotação.

A análise de correlação linear entre as frações de P e o carbono do solo, independente dos fatores preparo e calcário, ordenados pela profundidade de amostragem, revelou diversas combinações que auxiliam a explicação da variabilidade mencionada anteriormente. Os coeficientes de correlação linear das frações de P e do carbono orgânico entre a época 1 e 2 (tabela 11), evidenciou comportamentos contrastantes. O carbono apresentou a maior estabilidade aos efeitos da época de amostragem e entre as frações totais de fósforo. O Pi foi mais estável, enquanto o Po foi sensivelmente afetado pela época de amostragem.

TABELA 11 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO LINEAR DAS FRAÇÕES DE P E DO CARBONO DO SOLO ENTRE A ÉPOCA 1 e 2.

COEFIC.	FRAÇÕES DE P ⁽¹⁾						
	Pm	Pr	Pt	Pi	Po	C	C:Po
	0,899 ***	0,815 ***	0,892 ***	0,932 ***	0,523 ***	0,949 ***	0,186 n.s

(1) n = 108; ***, refere-se ao nível de significância para p<0,001.

O baixo coeficiente de correlação para a relação C:Po, indica que as transformações do Po são influenciadas pelo fator tempo e neste caso a sequência de culturas poderá ser o regulador da maior ou menor resistência à decomposição. O carbono por sua vez, não varia somente de acordo com este índice, apesar dos valores médios na época 2 terem sido sensíveis à mineralização.

As frações inorgânicas “lábeis” de fósforo, apresentaram elevados coeficientes de correlação, $p < 0,001$ com Pt, Pi (tabela 12) e baixa correlação com Po. Todavia, os coeficientes de correlação com o carbono orgânico foram elevados. Apesar dos valores para Pt e Pi, nem sempre indicarem teores disponíveis de P em quantidades adequadas às plantas devido a sua baixa solubilidade (CATANI e BATAGLIA, 1968; JORGE e VALADARES, 1969), os resultados mostraram para a presente condição estreita correlação, indicando que variaram de modo similar e foram satisfatórios ao milho (MUZILLI, 1978; RAIJ, 1991).

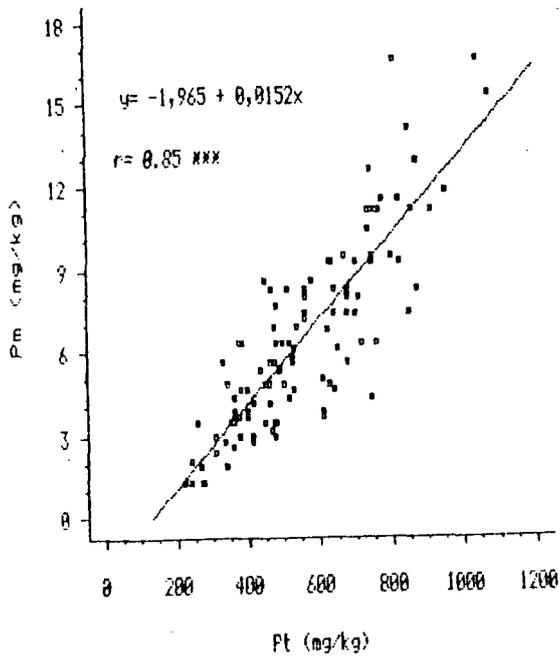
TABELA 12 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO LINEAR (r) ENTRE AS FRAÇÕES INORGÂNICAS LÁBEIS (Pm e Pr) E A PROFUNDIDADE DE AMOSTRAGEM, AS FRAÇÕES TOTAIS, A PORCENTAGEM DE Po EM RELAÇÃO A Pt E O CARBONO ORGÂNICO.

Atributos ⁽¹⁾	Época 1		Época 2	
	Pm	Pr	Pm	Pr
Profundidade	-0,576 ***	-0,604 ***	-0,649 ***	-0,693 ***
Pt	0,852 ***	0,796 ***	0,822 ***	0,823 ***
Pi	0,945 ***	0,888 ***	0,954 ***	0,891 ***
Po	0,230 *	0,211 *	0,095 n.s	0,201 *
C	0,766 ***	0,722 ***	0,766 ***	0,781 ***
C:Po	0,122 n.s	0,134 n.s	0,108 n.s	0,003 n.s
Po%	-0,586 ***	-0,552 ***	-0,639 ***	-0,513 ***

⁽¹⁾ n = 108, refere-se ao número de observações de cada variável envolvida na análise de correlação

o comportamento dos teores de Pm e Pr em relação Pt e Pi através de equações de regressão, mostrou maior afinidade a Pi do que a Pt, onde os coeficientes de correlação foram significativos ($p < 0,001$) para ambos (figura 13).

Época 1



Época 2

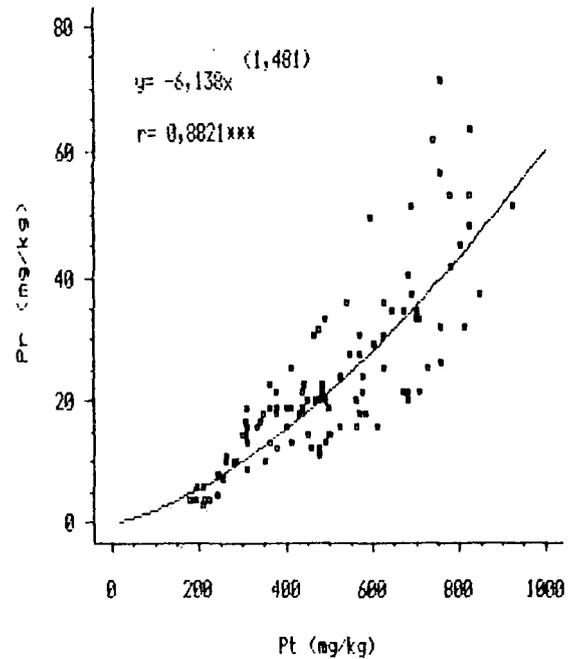
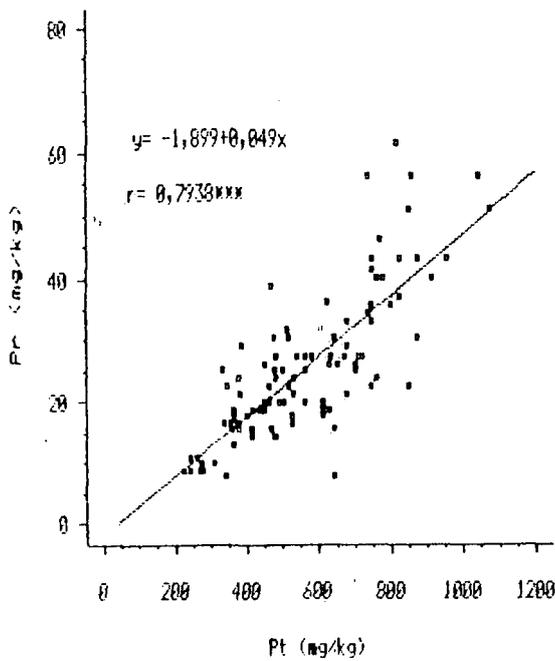
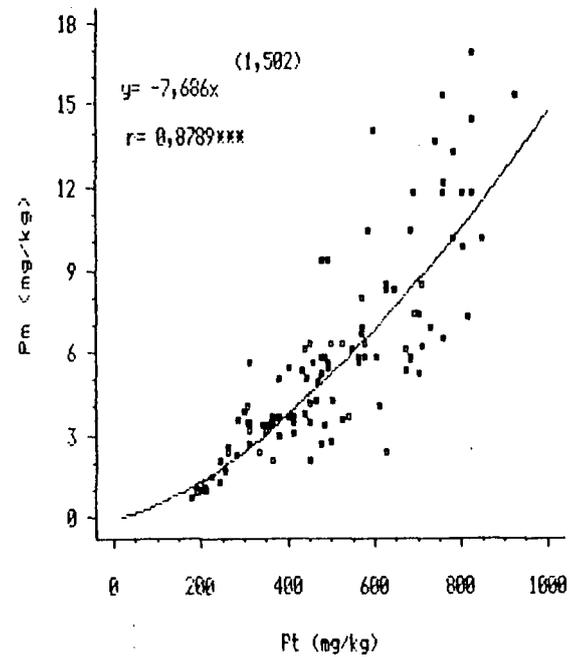


FIGURA 13. DISTRIBUIÇÃO DOS TEORES DAS FRAÇÕES INORGÂNICAS LÁBEIS (Pm e Pr) EM FUNÇÃO DA FRAÇÃO INORGÂNICA TOTAL DE P, NA ÉPOCA 1 E 2.

Os valores obtidos na época 2 tiveram melhor ajuste nas regressões tanto para Pm quanto Pr, apesar de haver ocorrido maior concentração dos pontos em uma faixa mais restrita da curva. A maior frequência situou-se entre 200 a 800 e 200 a 600 mg.kg⁻¹ para Pt e 1,5 a 10 e 1 a 7 mg.kg⁻¹ para Pm, na época 1 e 2, respectivamente. Exceto na época 2 a distribuição de Pr apresentou uma distribuição ao longo da curva e os valores de Pm foram mais afins às variações de Pt e Pi, do que Pr.

As curvas de regressão da figura 14, confirmam que a fração inorgânica total representou melhor as frações inorgânicas lábeis, disponíveis para a absorção pela planta. A redução no conteúdo de Pi foi proporcionalmente superior a Pm e a Pr, mas não refletiu na mudança da classe em ambas. Entretanto o Pr, ao contrário do Pm, mostrou distribuição dos pontos numa faixa mais ampla do perfil em relação à Pi na época 2, indicando que mesmo em maiores profundidades, onde naturalmente os mecanismos de adsorção são mais ativos, e uma redução dos efeitos positivos do carbono em relação aos colóides, esta fração apresentou maior estabilidade em sua distribuição. O fato de parte da redução dos teores de Pi haver sido detectada por Pm e Pr, indica que o suprimento contínuo de P para a planta a partir do solo, representado pelo esquema proposto por GUNARY e SUTTON (1967) explica parcialmente esse comportamento, o que significa dizer que há outros mecanismos envolvidos. O argumento principal desses autores baseia-se nos fatores primários que regulam as transformações de P no solo representado pelos fatores *quantidade, intensidade, capacidade e difusão*. Assim, a distinção a fazer em relação ao deslocamento do P em solução em solos cujo manejo proporciona maior contato ion-colóides, é de que este será normalmente no sentido de perda, pelos mecanismos que

regulam a fixação do elemento no solo. O contrário acontece em plantio direto, onde ocorre menor superfície de contato ion de P-colóides do solo, cuja deposição e manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo resultaria no caminhar do P no sentido da redistribuição, conforme o esquema apresentado por CHAUHAN et al. (1981).

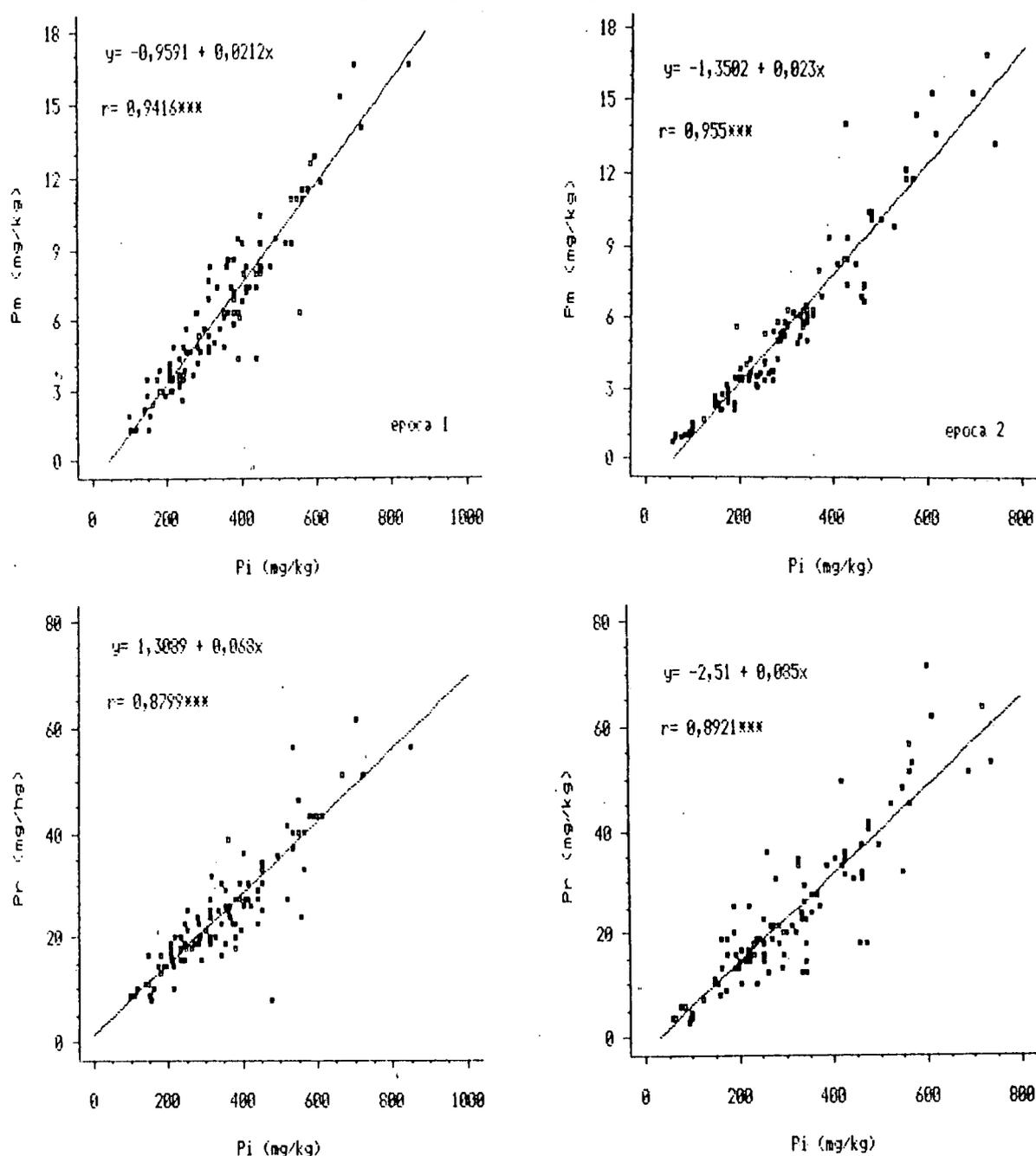


FIGURA 14. DISTRIBUIÇÃO DAS FRAÇÕES INORGÂNICAS LÁBEIS (Pm e Pr) EM FUNÇÃO DA FRAÇÃO INORGÂNICA TOTAL

A correlação entre o ganho de Pm e Pr e a perda de Pi (diferença entre o conteúdo da época 2 e a época 1), cujo nível de significância do modelo linear foi $p < 0,001$, esteve melhor representada por Pm (figura 15), o que sugere que as variações de Pi estão no sentido do fator capacidade.

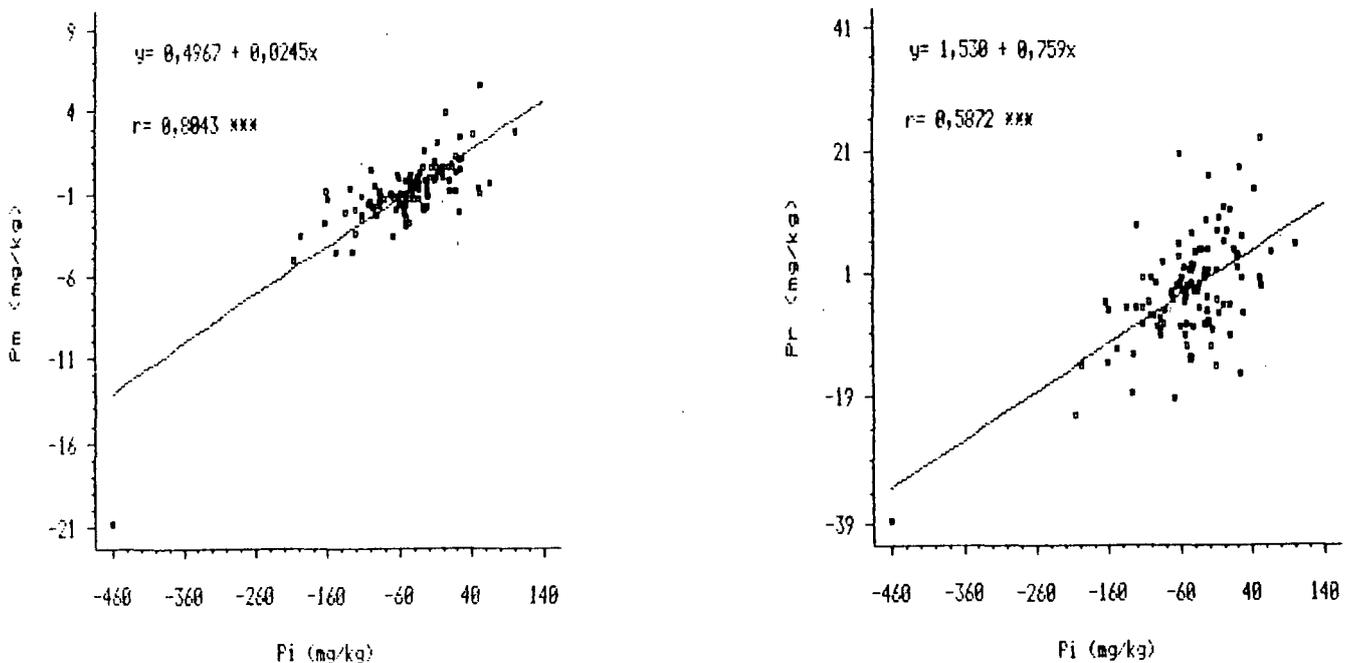


FIGURA 15. EFEITO DA VARIAÇÃO DA FRAÇÃO INORGÂNICA TOTAL (Pi) NO GANHO DAS FRAÇÕES LÁBEIS, EM RELAÇÃO AOS MÉTODOS DE EXTRAÇÃO POR P-MEHLICH (Pm) E P-RESINA (Pr).

Neste caso pode estar ocorrendo a reação K_1 , através da liberação de parte do P que foi retido possivelmente por adsorção específica, na região II (RYDEN et al., 1977), uma vez que o material predominante nesse solo é a caulinita e a reação K_4 , oriunda da

mineralização das raízes e dos resíduos depositados na superfície, no sentido da solução do solo. O modelo de comportamento de P, proposto por BLAIR e BOLAND (1978) mostra maior amplitude de ligações entre as diversas frações de P nos solos. Nêste caso, apesar do sentido do deslocamento de P tender em direção a K_4 , as interações com o componente orgânico poderão reduzir a intensidade do fluxo. O estudo dos referidos autores, mostrou uma estreita relação entre o ^{32}P recuperado do material vegetal e o absorvido pela planta.

O comportamento de P no solo é dinâmico (McLAUGHLIN et al., 1988a; 1988b; 1988c) e interage com diversos fatores e onde a principal causa é o contato com a superfície das partículas que são antagônicas à sua permanência na solução do solo. A redução na superfície de contato do P com as partículas de solo, no plantio direto, pode alterar os mecanismos que governam a liberação de P à solução do solo. Trabalhando em um Latossolo Vermelho-Escuro no estado do Rio Grande do Sul, SELLES et al. (1990) constataram que o aumento do P lábil na camada de 0 a 10 cm no plantio direto foi devido principalmente ao aumento de P_o .

No presente estudo, relações entre as frações lábeis com o P_o foram inconstantes, ao ponto de não acusar correlação com o P_m na época 2. Apesar de significativa a correlação, a variação de P_o isoladamente não pode ser considerada como a única fonte de P. Embora a redução da época 1 para a época 2, tenha sido quantitativamente expressiva, a combinação com a porcentagem de P_o , mostra claramente a sua contribuição às frações inorgânicas lábeis (figura 16).

$$\bar{Pr} = 25,183 + 0,1761 Po - 0,527 Po\% - 0,0019 Po \times Po\%$$

$$Pm = 6,278 + 0,054 Po - 0,1603 Po\% - 0,0006 Po \times Po\%$$

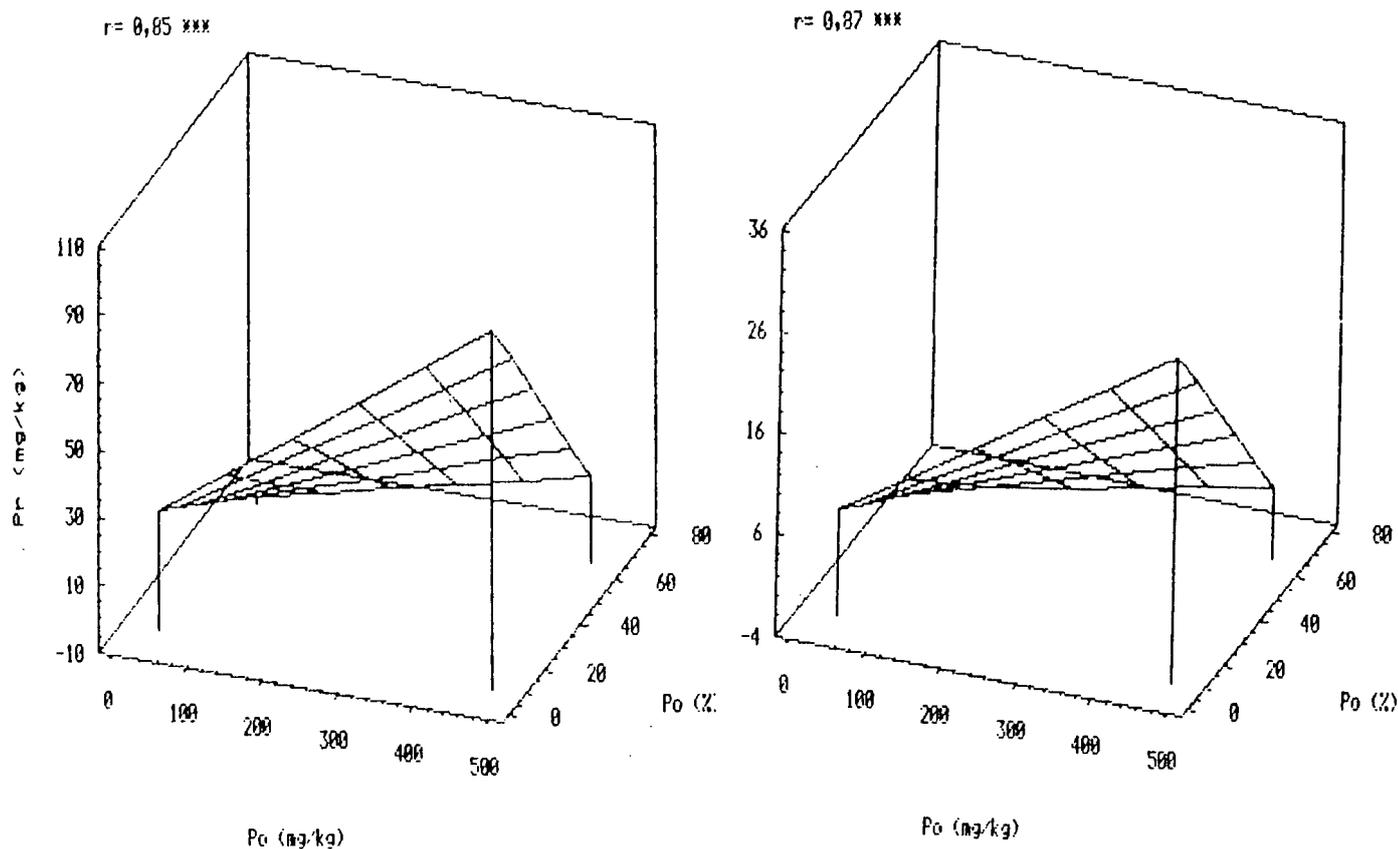


FIGURA 16. SUPERFÍCIE DE RESPOSTA PARA Pr E Pm EM FUNÇÃO DE Po E PORCENTAGEM DE Po EM RELAÇÃO AO P TOTAL EM UM LED SOB PLANTIO DIRETO

Também observou-se melhor afinidade entre as frações quando o C foi incluído nas regressões múltiplas, sugerindo que os mecanismos de liberação e estabilização de P estão ocorrendo em duas vias de participação efetiva no controle da relação K_1/K_2 , pelos componentes orgânicos e principalmente pela realimentação destes ao longo do tempo, pelos resíduos orgânicos. Dessa forma, uma possível explicação do fato do Pr ter expressado menor correlação com a perda de Pi, pode ser devido a maior variação da fração orgânica considerada isoladamente. Então, o desdobramento das diversas formas de Po no solo, permitirá essa amplitude de variação no seu comportamento. A figura 17 mostra a

afinidade com o carbono e o Po%, para a fração inorgânica "lábil" (Pm e Pr). Este modelo de superfície mostra maior afinidade do carbono com a fração inorgânica "lábil" extraída pela resina de troca aniônica do que à extraída por Mehlich.

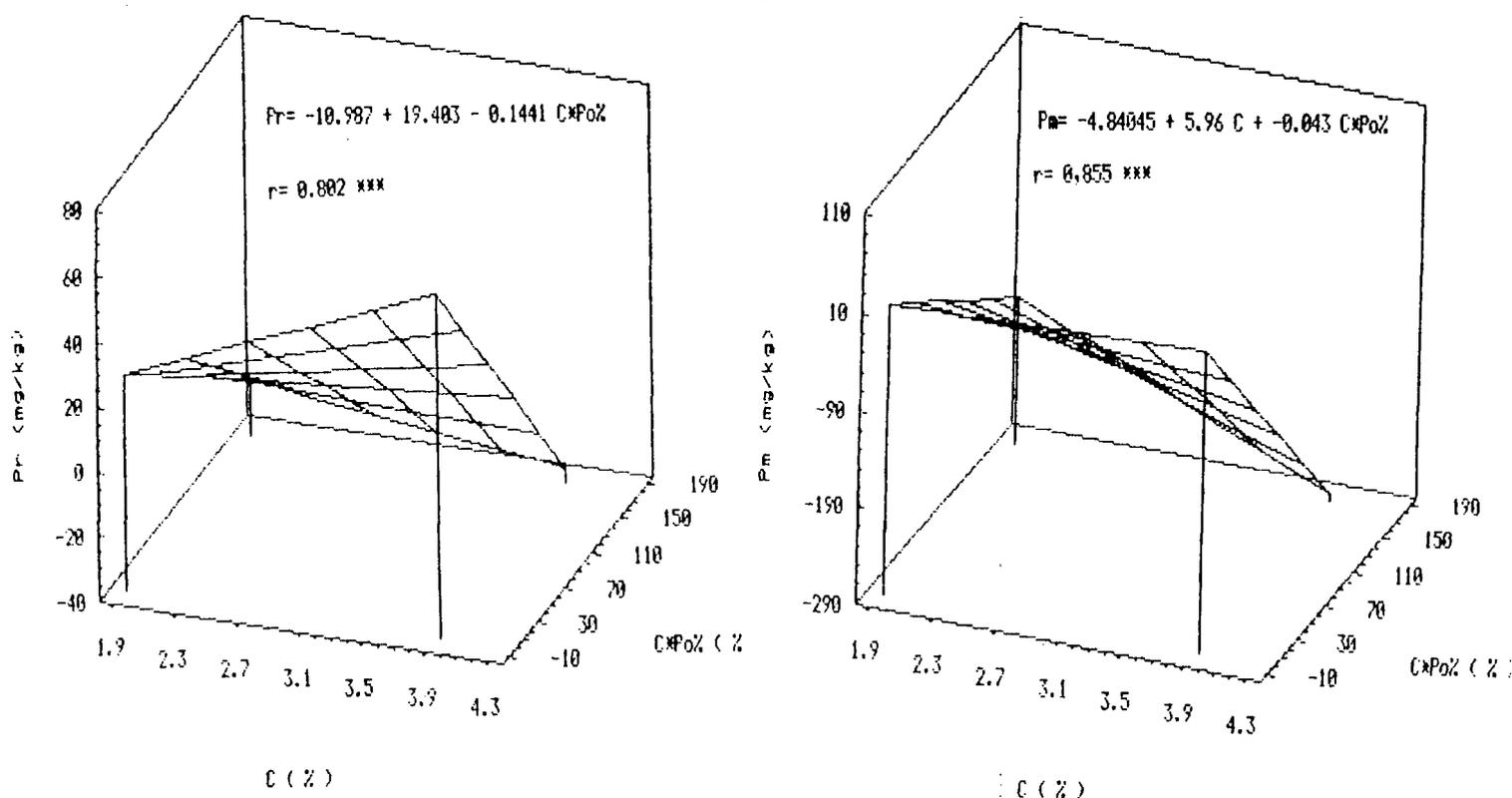


FIGURA 17. SUPERFÍCIE DE RESPOSTA PARA Pr E Pm EM FUNÇÃO DO CARBONO E PORCENTAGEM DE Po (Po%) EM UM LED SOB PLANTIO DIRETO.

Face ao exposto, o comportamento do P no sistema plantio direto, não poderia ser explicado somente através da determinação das frações totais e lábeis. Como pontos importantes para melhor compreensão deve-se ressaltar a elevada afinidade das formas inorgânicas lábeis com o Pt, o Pi e o carbono do solo, enquanto que com o Po esta afinidade foi baixa. Por outro lado, o Po acompanhou a relação C:Po enquanto o carbono

apresentou baixa afinidade, indicando a necessidade de maior aprofundamento desses aspectos.

A discussão amplia-se quando a biomassa microbiana é considerada um componente central das transformações e ciclagem do P no sistema solo-planta (CHAUHAN et al.,1981; STEWART e SHARPLEY, 1987; STEWART e TIESSEN, 1987). Os resultados de BROOKES et al. (1984) em solos com cobertura permanente de gramíneas submetidos à preparo contínuo para implantação das culturas, mostraram quantidades médias de P da biomassa microbiana, da ordem de 56,8 e 17,0 kg.ha⁻¹, respectivamente, com fluxos médios de 22,7 e 6,8 kg.ha⁻¹.ano⁻¹, evidenciando a participação mais efetiva da biomassa microbiana no ciclo de P.

4.3 EFEITO DA EXTRAÇÃO DE P PELA PLANTA DE MILHO, NA VARIAÇÃO DAS FRAÇÕES TOTAIS, LÁBEIS E DO CARBONO DO SOLO

Este capítulo tem como objetivo discutir o balanço aparente de P no solo, através dos efeitos de extração, pela planta de milho, das frações de P e do C orgânico do solo, em um sistema estabelecido a quatro anos. Da mesma forma, procura relacionar os argumentos expostos nos itens anteriores com o histórico do experimento. Mesmo assim é importante enfatizar que alguns pontos foram limitados aos resultados obtidos.

O comportamento das frações de P sob influência da extração do elemento pela cultura de milho, está relacionado ao histórico anterior a este ciclo sob avaliação. Desde a adição de 130 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ em março/89, incorporados de acordo com os diferentes

métodos de preparo pré-implantação descritos e eliminada a adubação fosfatada de manutenção em todas as culturas, a exportação estimada de P pelas plantas, ultrapassou em muito o P adicionado pelo fertilizante (tabela 13).

TABELA 13 - ESTIMATIVA DE EXPORTAÇÃO DE P PELAS CULTURAS⁽¹⁾ E PRODUÇÃO ACUMULADA⁽²⁾ NO 1º CICLO DA ROTAÇÃO DE CULTURAS NO PERÍODO DO INVERNO/89 AO INVERNO/92.

Tratamentos	Milho/89-90	Soja/90-91	Trigo/91	Soja/91-92	Total P	Prod. Acum.
	kg.ha ⁻¹ P ₂ O ₅				(kg ha ⁻¹)	
A.disco	82,9	45,8	47,1	27,1	204,9	19213
A.aivecas	70,5	46,6	54,5	25,1	196,6	18797
A.rotativo	74,1	44,6	51,9	23,9	194,6	17860
Média	75,8	46,3	51,2	25,4	198,7	18623

(1) Somatório dos valores médios entre os níveis de calcário dentro de cada preparo;

(2) Valores estimados a partir da extração de P por tonelada de grão.

No balanço aparente de P no solo, considerou-se os seguintes itens: a) os valores médios de P na planta, representado pela extração da parte aérea + grãos; b) a diferença observada nos valores de P entre a época 1 e 2, detectada pela extração de P no solo pela resina de troca aniônica e solução ácida de Mehlich (Pm e Pr) na camada de 0 a 30 cm e transformados em kg.ha⁻¹ de P₂O₅.

A tabela 14 apresenta de forma sumarizada o balanço aparente de P no solo relacionando às quantidades de P extraídos pela cultura do milho (92/93), sob avaliação.

TABELA 14 - BALANÇO APARENTE DE P NO SOLO: DIFERENÇA ENTRE A EXTRAÇÃO PELA PLANTA (PARTE AÉREA + GRÃOS) E A REDUÇÃO DE P NO SOLO, DETECTADO PELAS FRAÇÕES INORGÂNICAS "LÁBEIS" (Pm e Pr).

Tratamentos	P planta ⁽¹⁾	Pm ⁽²⁾	Pr ⁽²⁾	(a-b)	(a-c) ⁽³⁾	% de P extraível ⁽⁴⁾	
	(a)	(b)	(c)	Pm	Pr	Pm	Pr
kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅							
A.disco	80,42	5,93	15,64	-74,49	-64,78	7,37	19,44
A.aivecas	71,26	5,84	16,97	-65,42	-54,29	8,19	23,81
A.rotativo	78,62	6,09	19,95	-72,53	-58,67	7,75	25,37
Média	76,76	5,93	17,52	-70,81	-59,24	7,77	22,87

- (1) Média dos valores de P extraído pelo milho (parte aérea+grãos) entre os níveis de calcário dentro de cada método de preparo pré-implantação;
- (2) Diferença entre os valores da época 1 e 2, estimados em kg ha^{-1} na camada de 0 a 30 cm;
- (3) Diferença entre a redução de P (detectada pela extração por Mehlich e resina de troca aniônica) e o P extraído pela cultura de milho (parte aérea+grãos)
- (4) % do P extraído pela cultura de milho, detectada pela extração de P através da resina troca aniônica e Mehlich.

As frações inorgânicas de P extraíveis pelos métodos Pm e Pr, detectaram 7,37 a 8,19 e 19,44 a 25,37% do P extraído pela cultura de milho, respectivamente. Do ponto de vista da representatividade da extração pela planta, o Pr detectou uma quantidade de P três a quatro vezes mais do que o Pm. Isto mostra que há uma diferença básica entre os dois métodos de extração do P disponível. Neste caso poderia atribuir-se ao fato dos valores de pH do solo estarem mais próximos ao extrato final obtido pelo método da resina, mantendo portanto, as formas livres de P em solução, enquanto no procedimento de extração pela solução ácida de Mehlich, poderá ter ocorrido precipitação ou mesmo adsorção de P devido a mudança abrupta do pH da solução ácida.

Por outro lado, a maior parte do P extraído pela planta não foi detectada pela medida de sua disponibilidade no solo através dos métodos Pm e Pr. Neste caso, a contribuição das frações totais assumiria papel importante. Os dados de BUCHANAN e KING (1993) esclarecem do ponto de vista da dinâmica de decomposição de resíduos, a perda de C e de P no sistema, considerando o efeito do sistema de manejo. Os autores constataram após 100 semanas, perdas de P e C na ordem de 82 e 75% dos resíduos de milho em plantio direto, respectivamente. JONES e BROMFIELD (1969), encontraram que 40 a 60% do P presente em gramíneas e leguminosas estava na forma inorgânica,

respectivamente. Isto indica que grande parte deste reservatório seria direcionado para a solução do solo, enquanto o desdobramento da outra parte estaria sob a adsorção microbial. Quando ocorreu a colonização microbial, observaram rápida liberação de formas inorgânicas.

Entre as frações totais, os reflexos da variação de P_i e P_o foram diferenciados no comportamento de P_t . O P_i apresentou uma redução ao longo das profundidades amostradas, enquanto P_o apresentou variações abruptas entre estas. Neste caso, na camada superficial (0-2,5 a 5,0-7,5 cm) é possível que o poder tampão de P seja administrado tanto pelo P_i , de acordo com o mecanismo citado por JONES e BROMFIELD (1969) quanto pelo desdobramento do reservatório de P_o (figura 18). Os resíduos de ervilhaca depositados na superfície do solo, cujo conteúdo de P_2O_5 na massa seca foi em média de $16,8 \text{ kg.ha}^{-1}$, estariam alimentando os dois procedimentos, de forma dinâmica no tempo. Assim, essas variações poderão ser alternadas, dependendo das características químicas dos resíduos das culturas, quanto a resistência à mineralização e conseqüentemente, a liberação de formas solúveis de P para as plantas.

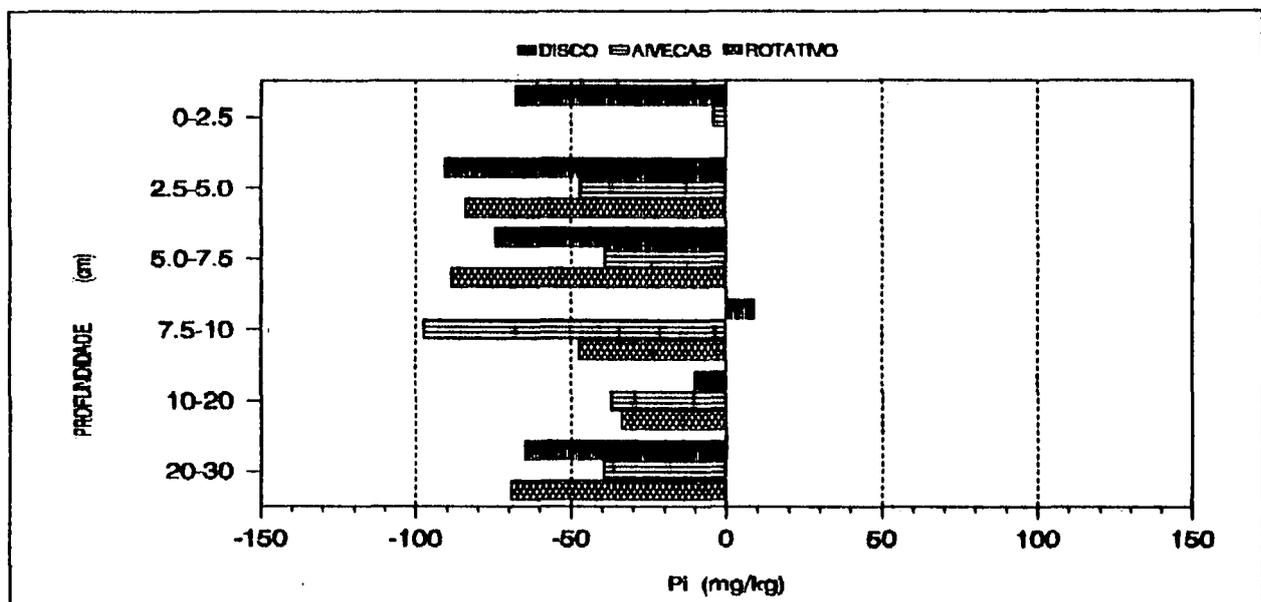
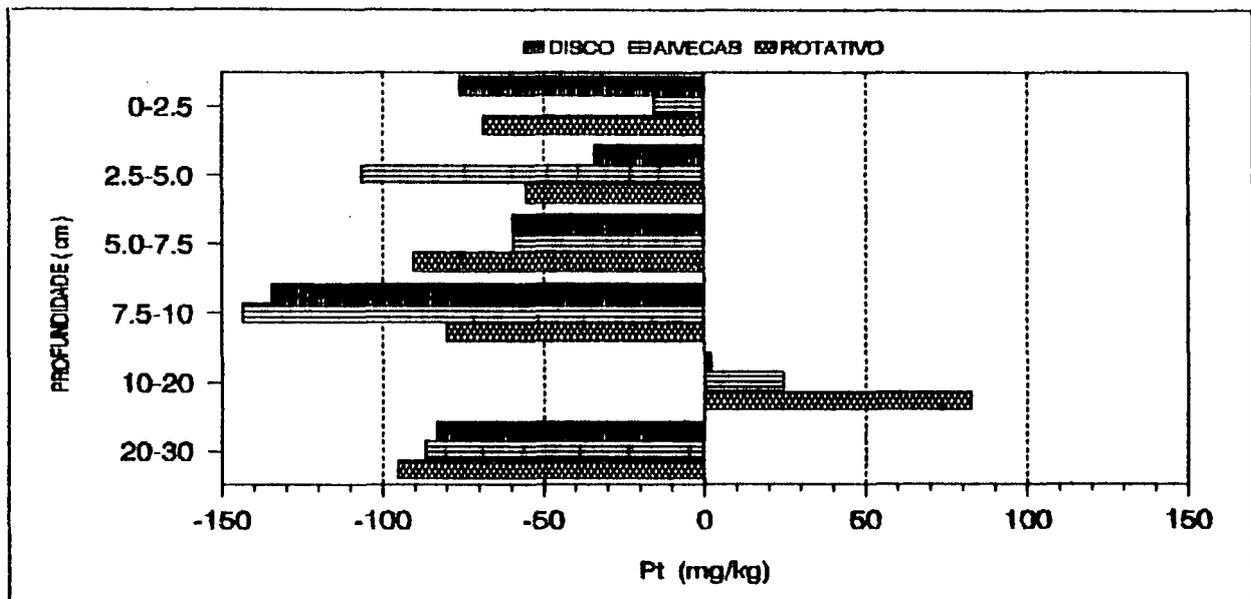


FIGURA 18. VARIAÇÃO NO CONTEÚDO DE Pt E Pi NO PERFIL, ESTIMADA PELA DIFERENÇA ENTRE OS VALORES DA ÉPOCA 2 E 1.

Nas camadas abaixo de 7,5 cm (figura 19), a variação de Po representou melhor o comportamento de Pt, indicando contribuição do sistema radicular, a oferecer maior resistência à mineralização do que a parte aérea e favorecendo assim para a manutenção de formas mais estáveis de P, formando um reservatório heterogêneo.

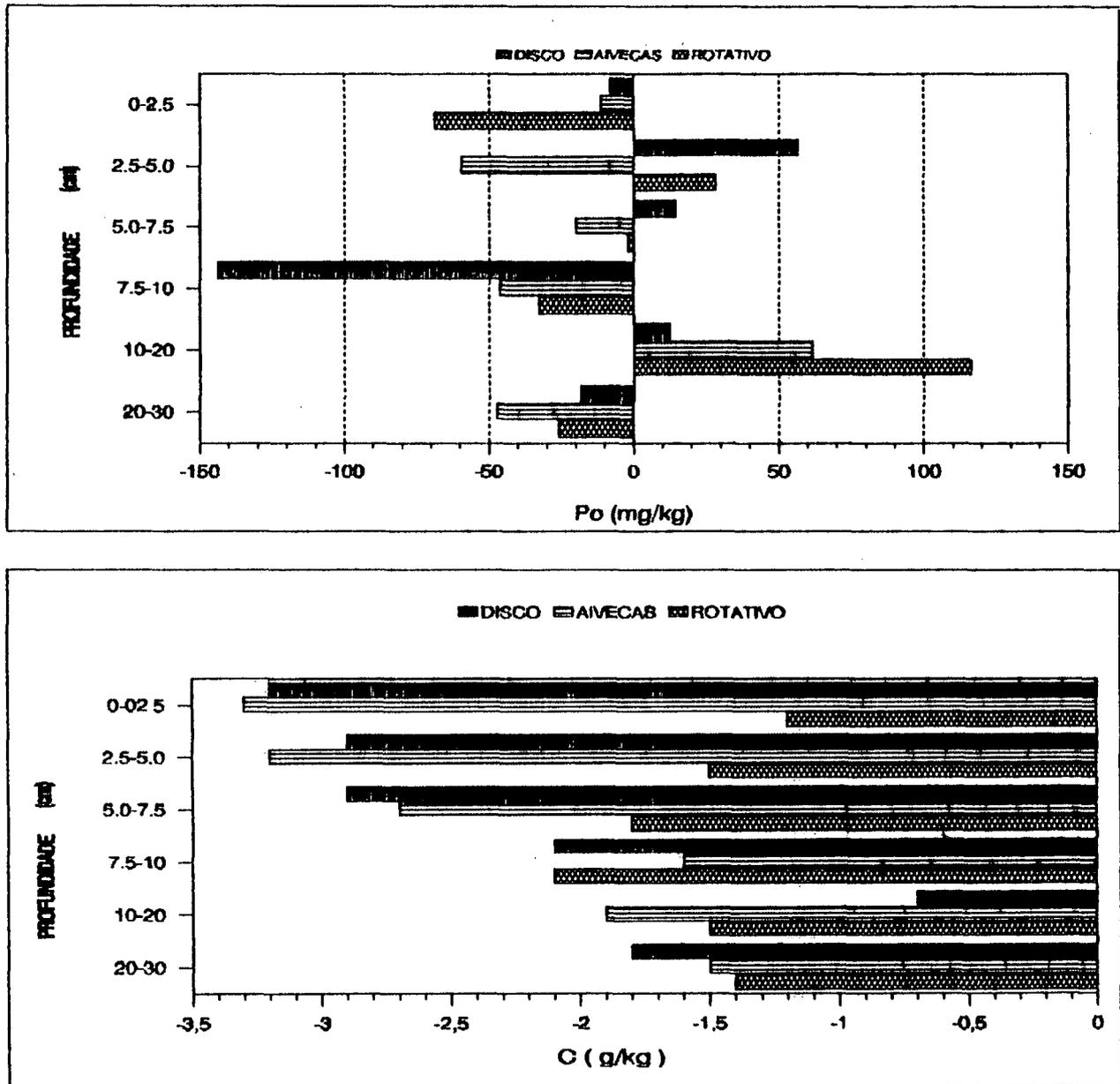


FIGURA 19. VARIAÇÃO NO CONTEÚDO DE P ORGÂNICO (P_o) E DO CARBONO NO PERFIL, ESTIMADA PELA DIFERENÇA ENTRE OS VALORES DA ÉPOCA 2 E 1.

Ponto relevante no ciclo biológico do elemento, a imobilização microbiana, têm sido destacada em diversos trabalhos (CHAUHAN et al., 1979 e 1981; ENWEZOR, 1966 e 1967; HEDLEY et al., 1982), no sentido de atuar como mecanismo de proteção a reações

de adsorção e/ou precipitação, em solos cujo material de origem são principalmente óxidos e hidróxidos e formas livres de ferro e alumínio. Num ecossistema não perturbado, TATE (1984), afirmou que a fração de Pi “lábil” é pequena e as plantas utilizam o fósforo oriundo do processo de mineralização gradual dos resíduos vegetais, pelos microorganismos. COLE et al. (1978) apresentou esses argumentos em seu trabalho, indicando que o Po “lábil”, teve grande contribuição na solução do solo pela mineralização.

Dessa forma, há que ressaltar as relações do Po com o C do solo e os reflexos no aumento da porcentagem de Po. O interrelacionamento na transformação das frações no solo é muitas vezes complexo e ainda com lacunas, porque a diversidade química do Po é grande (ANDERSON 1975; DALAL e HALLSWORTH, 1976; BROOKES et al., 1984 e TATE, 1984). Apesar de ocorrerem principalmente como mono e diésteres, uma porção expressiva do Po remanescente do solo é desconhecida, mas provavelmente ocorre como complexos insolúveis com minerais de argila e a matéria orgânica. A complexidade química do Po do solo, a susceptibilidade de alguns compostos à hidrólise durante a extração, a forte adsorção de Po pela argila e a formação de complexos de sais insolúveis com cátions metálicos, são fatores complicadores. Os coeficientes de correlação (r), entre o Po da época 2 e o ganho obtido pela diferença entre a época 2 e 1 (que caracteriza o Po mineralizado) de 0,553 ***; a relação C:Po de -0,765 *** e a porcentagem de Po de 0,551***, significativos para $p < 0,001$, para $n = 108$, exemplificam a amplitude das interações que podem ocorrer com o P mineralizado (figura 20).

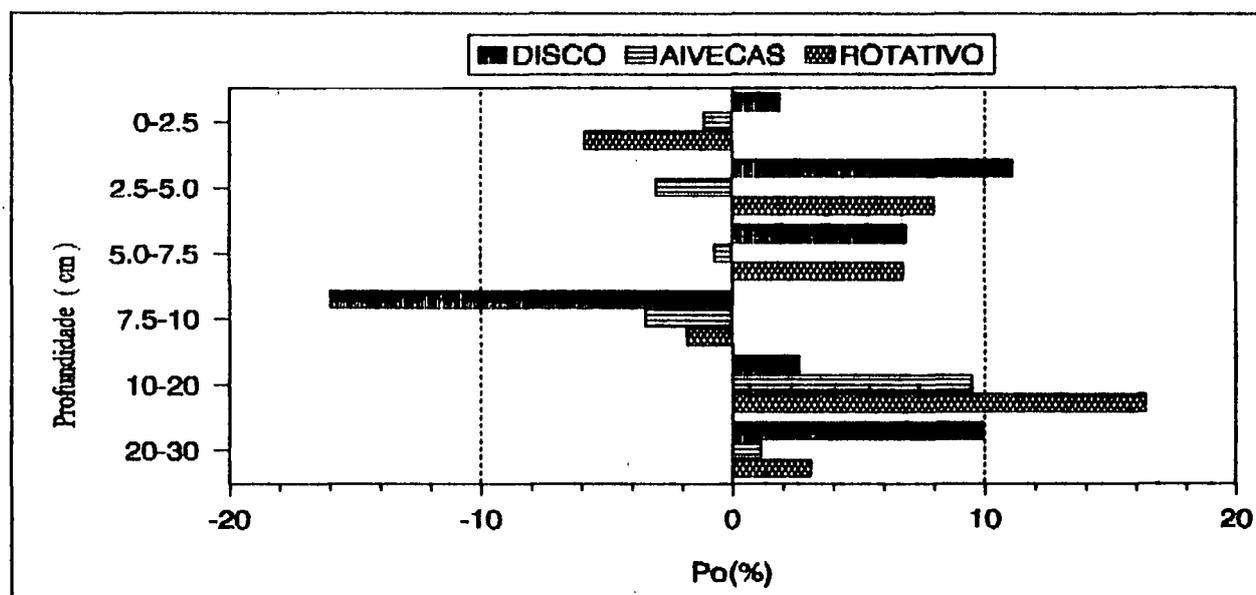


FIGURA 20. VARIAÇÃO DO GANHO (+) E PERDA (-) DA PORCENTAGEM DE P_2O_5 EM RELAÇÃO AO P TOTAL, ESTIMADA PELA DIFERENÇA ENTRE A ÉPOCA 2 E 1.

A correlação altamente significativa entre o P_2O_5 e a relação C: P_2O_5 foram semelhantes às encontradas por ENWEZOR (1967), indicando neste caso, que a principal estabilização de P_2O_5 está mais em função do conteúdo e das formas de P_2O_5 .

A variação entre perda e ganho de P_2O_5 no sistema, na camada de 0 a 30 cm (tabela 15), mostra que o P_2O_5 mineralizado foi maior do que o ganho pela adição proporcionada pelos resíduos da evilhaca, indicando o desdobramento de formas estáveis de P_2O_5 . Apesar da diferença expressiva entre os preparos com arados de discos e aivecas em relação ao arado rotativo, não foi observado influência no rendimento de grãos. Porém, não somente neste ciclo de cultivo, mas também nos anos anteriores, o preparo com arado rotativo teve a tendência para menores rendimentos.

TABELA 15- VARIAÇÃO DO GANHO⁽¹⁾ E PERDA⁽²⁾ DE P_o NAS PROFUNDIDADES AMOSTRADAS, SUBMETIDAS A INFLUÊNCIA DE MÉTODOS DE PREPARO E CALAGEM PRÉ-IMPLANTAÇÃO AO PLANTIO DIRETO.

Profundidade (cm)	A. Disco	A. Aivecas mg kg ⁻¹	A. Rotativo	Média
0-2,5	-8,04	-11,39	-68,81	-29,41
2,5-5,0	+56,67	-59,62	+28,45	+8,50
5,0-7,5	+14,82	+20,08	-2,06	+10,95
7,5-10	-143,72	-46,17	-32,67	-74,19
10,0-20,0	+12,63	+61,63	+116,51	+63,59
20,0-30,0	-18,14	-47,19	-25,81	-30,38
Balanco (1-2)	-85,06	-83,0	+15,61	-50,94

⁽¹⁾ Refere-se ao aumento de P_o no solo pela adição dos resíduos culturais;

⁽²⁾ Refere-se à mineralização do P_o no solo

Além disso, verificou-se que o P_i total também sofreu uma redução expressiva. Então seria esperado que a mineralização do reservatório orgânico se deslocasse na direção de formas inorgânicas estáveis, as quais possivelmente estariam sendo drenadas pela absorção do milho ou sendo imobilizadas pela biomassa microbiana. Ou ainda, dirigindo-se às frações orgânicas "lábeis" e moderadamente "lábeis", conforme o ciclo proposto por CHAUHAN et al. (1981). Aliado a isto, a redução de C também ocorreu em todas as profundidades amostradas, porém, sendo foi mais acentuada até 7,5 cm. Neste caso, possivelmente ocorreu maior atividade biológica na camada superficial devido a um conjunto de fatores favoráveis, ao passo que nas camadas mais profundas, houve uma redução desse mecanismo.

Os coeficientes de correlação, entre as frações de P e o rendimento de grãos de milho foram baixos e não significativos (tabela 16).

TABELA 16 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO LINEAR ENTRE AS FRAÇÕES DE P(1) DO SOLO E O RENDIMENTO DE GRÃOS DE MILHO

Pm	Pr	Pt	Pi	Po
0,4017 n.s	0,3781 n.s	0,1326 n.s	0,3697 n.s	0,3669 n.s

Assim, poder-se admitir que, mesmo com a ampla variação das frações de P entre a época 1 e 2, não foram observados correlações que identificasse a participação direta da fração orgânica no P absorvido pela planta. Por outro lado, a exportação de P pelos cultivos superando o P aplicado no início do experimento, indica que há outros mecanismos envolvidos no sistema. Deve-se ressaltar que os coeficientes de correlação linear entre Pm, Pr e o carbono orgânico; Po e C:Po, foram elevados e significativos. Neste caso, há evidências que a fração orgânica de P seja a principal fonte de P foi a cultura em questão.

5 CONCLUSÕES

Após quatro anos do estabelecimento do plantio direto, os resultados permitiram concluir que:

a) Os métodos de preparo afetaram significativamente na época 1 e 2, as frações totais, Pt e Pi; a porcentagem de Po em relação à Pt; as frações inorgânicas lábeis, Pm e Pr e o carbono orgânico de forma diferente em cada profundidade amostrada, caracterizando o efeito de interação;

b) Os efeitos isolados dos métodos de preparo pré-implantação, da profundidade de amostragem, foram mais importantes no comportamento do Po na época 1, enquanto o efeito da interação preparo*calcário foi significativo na época 2;

c) A fração total de P apresentou elevada afinidade com as frações inorgânicas “lábeis”, mas a fração inorgânica total foi superior;

d) As frações totais (Pt e Pi) e a inorgânica “lábil” (Pm e Pr), apresentaram em relação ao carbono orgânico, coeficientes de correlação elevados e significativos ($p < 0,001$);

e) Apenas 44 e 31% do Po, é explicado pela variação do C. Porém, a combinação com a porcentagem de Po em uma regressão múltipla, a correlação foi altamente significativa ($p < 0,001$);

f) O Po, ao contrário do C orgânico, apresentou elevado coeficiente de correlação com a relação C:Po, mostrando que parte da afinidade com o C orgânico seria em função desta relação;

g) Apesar do P_o mineralizado ter sido influenciado pelo conteúdo de P_o , o P_i também apresentou elevado coeficiente de correlação;

h) Os teores de P determinados pela solução ácida de Mehlich e pela resina de troca aniônica enquadraram-se em classes contrastantes;

i) O rendimento de grãos e o P extraído pela planta não foi afetado pelos processos de preparo do solo pré-implantação do plantio direto;

j) Tanto as frações totais de P quanto o C orgânico do solo apresentaram elevada redução entre a época 1 e 2.

k) Embora não apresentando correlações significativas entre o P absorvido e a fração orgânica do solo, o balanço entre a adição de P no início do experimento e a extração de P foi negativo. Mesmo assim o rendimento médio da cultura atingiu 9839 kg.ha^{-1} . Isto indica situações que privilegiam a desorção de P, seja pela redução da superfície de contato íon-colóide ou manutenção de resíduos culturais na superfície do solo e do sistema radicular, restabelecendo o reservatório orgânico, como um mecanismo regulador de P nesse sistema.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 ADAMS, J.A. e WALKER, T.M. Some properties of a chrono-toposequence of soils from granite in New Zeland, 2. Forms and amounts of phosphorus. Geoderma, Amsterdam, v. 13, p. 41-51, 1975.
- 2 ADAMS, J.A., CAMPBELL, A.S. e CUTLER, E.J.B. Some properties of a cronotoposequence of soils from granite in New Zeland, 1. Profile weights and general composition. Geoderma, Amsterdam, v. 13, p. 23-40. 1975.
- 3 ADEPETU, J. A. e COREY, R. B. Organic phosphorus as a predictor of plant-available phosphorus in soils of southern Nigeria. Soil Sci., Baltimore, v. 122, n. 3, p. 122-159, 1976.
- 4 ACQUAYE, D.K. Some significance organic phosphorus mineralization in the phosphorus nutrition of cocoa in ghana. Plant and Soil, Dordrecht, v. 19, p. 65-80, 1963.
- 5 ANDERSON, G. Factors affecting the estimation of phosphate esters in soil. J. Sci. Food Agric. v. 7, p. 497-503, 1960.
- 6 ANDERSON, G. Other organic phosphorus compounds. In: J.E. Geiseking (ed.) Soil components . v. 1, Springer-Verlag, New York, p. 305-331, 1975.
- 7 ANDERSON, J. P. e DOMSCH, K H. Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils. Soil Sci., Baltimore, v.130, p. 211-216, 1980.
- 8 ANGERS, D.A.; BISSONNETTE, N.; LEGERE, A. e SAMSON, N. Microbial and biochemical changes induced by rotationand tillage in a soil under barley production. Can. J. Soil Sci., Ottawa, v. 73, p. 39-50, fev. 1993.
- 9 ARMSTRONG, R. D. e HELYAR, K. R. Changes in soil phosphate fractions in the rhizosphere of semi-arid pasture grasses. Aust. J. Soil Res., v. 30, p. 131-143, 1992.
- 10 AWAN, A. B. Effect of line on availability of phosphorus in Zamorano Soils. Soil Sci. Soc. Proc., Madison, p. 672-673, 1964.
- 11 BARBER, .S.A. Soil nutrient bioavaibility: A mechanistic approach. New York: J. Wiley, 1984. 398p.
- 12 BARBER, S.A. e LYNCH, J.M. Microbial growth in rhizosphere. Soil Biol. Biochem., Oxford, v.9, p.305-308, 1977.

- 13 BARROW, N.J. Phosphorus in soil organic matter. Soils and Fertilizers, v.34, p.169-173, 1960.
- 14 BARROW, N. J. e SHAW, T. C. The slow reactions between soil and anions: 5. Effects of period of prior contact on the desorption of phosphate from soils. Soil Sci., Baltimore, v. 119, n. 4, p. 311-320, 1974.
- 15 BATES, J.A.R. e BAKER, Mrs. T.C.N. The distribution of phosphorus in the profile and in various soil fractions. J. Soil Sci., v. 11, n. 2, p. 257-263, 1960.
- 16 BELCHER, C. R. e RAGLAND, J.L. Phosphorus absorption by sodplanted corn (*Zea mays*, L.) from surface-applied phosphorus. Agron. J., Madison, v. 64, p. 754-756, 1972.
- 17 BLACK, C.A. Soil-plant relationship. In: John Wiles & Sons Inc., New York, 1968.
- 18 BLACK, C.A. e GORING, C.A.T. Organic phosphorus in soils. Agron. J., Madison, v. 4, p.123-152, 1953.
- 19 BLAIR, G. J. e BOLAND, O.W. The release of phosphorus from plant material added to soil. Aust. J. Soil Res., v. 16, p. 101-111, 1978.
- 20 BLEVINS, R. L.; COOK, D.; PHILLIPS, S. H. e PHILLIPS, R. E. Influence of no-tillage on soil moisture. Agron. J., Madison, v. 63, p. 593-596, 1971.
- 21 BLEVINS, R. L., THOMAS, G. W. e CORNELIUS, P. L. Influence of no-tillage and nitrogen fertilization on certain soil properties after 5 years of continuous corn. Agron. J., Madison, v. 69, p. 383-386, mai.-jun. 1977.
- 22 BORNEMIZA, E. e IGUE, K. Comparison of three methods for determining organic phosphorus in Costa Rican Soils. Soil Sci., Baltimore, v. 103, p. 347-353, 1967.
- 23 BOWMAN, R. A. A rapid method to determine total phosphorus in soils. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison v. 52, p. 1301-1304, 1989.
- 24 BOWMAN, R. A. e COLE, C. V. An exploratory method for fractionation of organic phosphorus from grassland soils. Soil Science, Baltimore, v. 125, n. 2, p. 95-101, 1978 a.
- 25 BOWMAN, R.A. e COLE, C.V. Transformations of organic phosphorus substrates in soils as evaluated by NaHCO_3 extraction. Soil Science, Baltimore, v. 125, n. 1, p. 49-54, 1978 b.

- 26 BRAGA, J. M. e DEFELIPO, B. V. Relações entre formas de fósforo inorgânico, fósforo disponível e material vegetal em solos sob vegetação de cerrado. I. Trabalhos de laboratório. Revista Ceres, Viçosa, v.19, p. 124-136, 1972.
- 27 BROOKES, P.C.; POWLSON, D.S. e JENKINSON, D.S. Phosphorus in the soil microbial biomass. Soil Biol. Biochem., Oxford, v. 16, p. 169-175, 1984.
- 28 BUCHANAN, M. e KING, L. D. Carbon and phosphorus losses from decomposing crop residues in no-till and conventional till agroecosystems. Agron. J., Madison, v. 85, p. 631-638, 1993.
- 29 CABALA, R.P. e FASSBENDER, H.W. Formas del fósforo en suelos de la region cacaoera da Bahia, Brazil. Turrialba, Costa Rica, v.20(4), p.439-444,1970.
- 30 CATANI, R. A. e BATAGLIA, O. C. Formas de ocorrência do fósforo no solo latossolo roxo. Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, v. 25, n. 1, p. 99-119, 1968.
- 31 CHANG, S.C. e JACKSON, M.L. Fractionation of soil phosphorus. Soil Sci., Baltimore, v. 84, n.1, p. 133-144, 1957.
- 32 CHAUHAN, B. S.; STEWART, J. W. B. e PAUL, E. A. Effect of labile inorganic phosphate status and organic carbon additions on the microbial uptake of phosphorus in soils. Can. J. Soil Sci., Ottawa, v. 61, p. 373-385, Mai. 1981.
- 33 CONDRON, L. M.; MOIR, J. O.; TIESSEN, M. e STEWART, J. W. B. Critical evaluation of methods for determining total organic phosphorus in tropical soils. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, v.54, p.1261-1266, 1990.
- 34 COGO, N. P. Soil erosion and productivity in Brazil. In: 83 RD Annual Meeting Program, Denver, Colorado-Oct 27 nov.1, 1991.
- 35 COLE, C. V. ; ELLIOT, E.T.; HUNT, H. W.; COLEMAN, D. C. Trophic interactions in soils as they affect energy and nutrient dynamics. V. Phosphorus transformations Microb. Ecol. New York, v. 4, p. 381-387, 1978.
- 36 COMIN, J.J. Desenvolvimento radicular do milho (*Zea mays L.*) e da soja (*Glycine max (L.) Merril*) em um latossolo Vermelho Escuro após implantação do plantio direto. Curitiba, 1992. 129p. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Área de concentração Ciência do Solo) Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- 37 COUSENS, R. e MOSS, S.R. A model of effects of cultivation on the vertical distribution of weed within the soil. Weed Research, v.30, p.61-70, 1980.

- 38 DAHNKE, W.C; MALCOLM, J. L. e MENENDEZ, M. E. Phosphorus fractions in selected soil profiles of el salvador as related to their developmentp. Soil Sci., Baltimore, p.33-38, 1963.
- 39 DALAL, R. C. e HALLSWORTH, E.G. Evaluation of the parameters of soil phosphorus availability factors in predicting yield response and P uptake. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, v. 40, p. 541-546, 1976.
- 40 DICK, W.A.; MCCOX, E.L.; EDWARDS, W.M. e LAL, R. Continous application of no-tillage to Ohio Soils. Agron. J., Madison, v. 83, p. 65-73, 1991.
- 41 DICK, W. A e VAN DOREN, Jr. Continuous tillage and rotation combinations effects on corn, soybean and oats yields. Agron. J., Madison, v. 77, p. 459-465, 1985.
- 42 DORMAAR, J.F. e WEBSTER, G. R. Losses inherent ignition procedures for determining total organic phosphorus. Can. J. Soil Sci., Ottawa, v. 44, p. 1-6, 1964.
- 43 DORMAAR, J. F. Seasonal pattern of soil organic phosphorus Can. J. Soil Sci., Ottawa, v. 52, p. 107-112, Fev. 1972.
- 44 EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de levantamento e Conservação de solos, Rio de Janeiro, RJ, Manual de métodos de análises de solo, 1979. (n.p).
- 45 ENWEZOR, W. O. e MOORE, A. W. Comparison of two methods for determining organic phosphorus in some Nigerian Soils. Soil Sci., Baltimore, v. 102, n. 4, p. 284-285, 1966.
- 46 ENWEZOR, W. O. Significance of the C: organic P ratio in the mineralization of soil organic phosphorus. Soil Sci., Baltimore, v.103, n. 1, 1967.
- 47 ECKERT, D.J.; DICK,W.A. e JOHNSON, J.W. Response of no-tillage corn grown and soybean and corn residues to several nitrogen fertilizer. Agron. J., Madison, v.78, p.231-235, 1985.
- 48 FASSBENDER, H. W. Química del suelos; con énfases en suelos de América Latina. San José, IICA, 1984, 422p.
- 49 FEDER, J. The phosphatases. *In*: E.J. Griffith, A.Beeton, J.M. Spencer e Mitchel, D.T. (Ed.), Environmental Phosphorus Handbook. Wiley, New York, N.Y., p. 475-508. 1973.

- 50 FRIESEN, D.K.; JUO, A.S.R.; MILLER, M.H. Liming and lime phosphorus-zinc interactions in two nigerian ultisols: I. interactions in the soil. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, v.44, n.6, p.1221-1226, 1980.
- 51 FROSSARD, E.; STEWART, J. W. B. e ARNAUD, R. J. ST. Distribution and mobility of phosphorus in grassland and forest soils of saskatchewan. Can. J. Soil Sci., Ottawa, v. 69, p. 401-416, 1989.
- 52 FULLER, W.H.; NIELSEN, D.R. e MILLER, R.W. Some factors influencing the utilization of phosphorus from crop residues. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, v.20, p. 218- 224, 1956.
- 53 GASSER, J. K. R. Mineralization of nitrogen, sulphur and phosphorus from soils. *In: Welsh soils Discuss. Group, Rep.*, n.3 p. 26, 1962.
- 54 GODOY, H.; CORREA, A.R.; SANTOS, D. Clima do Paraná. *In: Manual Agropecuário para o Paraná*. Londrina: IAPAR, 1976.
- 55 GONZALES-ENRICO, E.; KAMPRATH, E.J.; NADERMAN, G.C.; SOARES, W.V. e LOBATO, E. Effect of depth of lime incorporation on the growth of corn on an oxisol of Central Brasil. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, v.43, p.1155-1158, 1979.
- 56 GRIFFITH, D.R. Fertilization on no-plow tillage. *In: Proc. Indiana Plant food and Agricultural Chemical Conference*, Purdue Univ. West Lafayette, Ind., dec., p. 17-18, 1974.
- 57 GUERRA, J.G.M. Produção sazonal de *Brachiaria decumbens* STAPF., conteúdo de fósforo orgânico e microbiano em solos tropicais de baixa fertilidade natural. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Tese de doutorado, 1993, 234p.
- 58 GUNARY, D. e SUTTON, G.D. Soil factors affecting plant uptake the phophate. J. Soil Sci., Oxford, v.18, n.1, p.167-173, 1967.
- 59 HALSTED, R.L.; LAPENSEE, J.M. e IVARSON, K.C. Mineralization of soil organic phosphorus with to particular reference to effect of lime. Can. J. Soil Sci., Ottawa, v.43, p.97-106, 1963.
- 60 HALSTEAD, R.L.; MCKERNER, R.B. Biochemistry and cycling of phosphorus. *In: Paul, E.A.; MCLAREN, A.D., ed. Soil Biochem.*, New York: Marcel Dekker, v.4, p.31-63, 1975.
- 61 HAMBLIN, A.P. The influence of soil struture on water movement, crop root growth, and water uptake. Adv. Agron., San Diego, v.38, p.95-158, 1985.

- 62 HANCE, R. J. e ANDERSON, G. A comparative study of methods of estimating soil organic phosphate. J. Soil Sci., Oxford, v.13(2), p. 225-230, 1962.
- 63 HANNAPEL, R.J.; FULLER, W.H. e FOX, R.H. Phosphorus moviment in a calcareous soil: II Soil microbial activity and organic phosphorus movement. University of Arizona, p. 421-424, 1963.
- 64 HARRAP, F. E. G. Use of sodium ETDA in the determination of soil organic phosphorus. J. Soil Sci., Oxford, v. 14, n. 1, 1963.
- 65 HARROLD, L.L. e EDWARDS, W.M. A severe rainstorm test no-till corn. J. Soil Water Cons., v.27, n.1, p.30, 1972.
- 66 HAYNES, R.J. Lime and phosphate in the soil-plant system. Advances in Agronomy, Madison, v.37, p.249-313, 1984.
- 67 HAYNES, R.J. e GOH, K.M. Seasonal levels of available nutrients under grassed-down, cultivated and zero-tilled orchard soil manegement practices. Aust. J. Soil Res., v.18, p.363-373, 1980.
- 68 HEDLEY, M. J.; KIRK, A. J. D. e SANTOS, M. B. Phosphorus efficiency and the forms of soil phosphorus utilized by upland rice cultivars. Plant and soil, The Hague, v.158, p.53-62, 1994.
- 69 HEDLEY, M. J.; STEWART, J. W. B. e GHAMHAN, B. S. Changers in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation pratices and by laboratory incubations. Soil. Sci. Soc. Am. J., Madison, v.46, p.970-976, 1982.
- 70 HELAL, H.M. e SAUERBECK, D.R. Influence of plant roots on C and P metabolism in soil. Plant Soil, The Hague, v.76, p.175-182, 1984.
- 71 HENDRIX, P.F.; PARMELEE, D.A.; COLEMAN, D.C.; ODUM, E.P. e GROFFMAN, P.M. Detritus food webs in conventional and no-tillage agroecosystem. Ecology, New York, v.68, p.425-433, 1986.
- 72 HOUSE, G.J.; STINNER, B.R.; CROSSLEY, D.A.; ODUM, E.P. e LANGDALE, G.W. Nitrogen cycling in conventional and no-tillage agroecosystem in the Southern Piedmont. J. Soil Water Cons. v.39, p.194-200, 1984.
- 73 HUE, N.V.; CRADDOCK, G.R. e ADAMS, F. Effect of organic acids on aluminium toxicity in subsoils. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, v.50, p.28-34, 1986.

- 74 IPINMIDUM, W. B. Comparison of some methods for determining organic phosphorus in some Nigerian soils. Soil Science, v. 115, n. 4, 1973.
- 75 JONES, J.N., MOODY, J.E., SHEAR, G.M., MOSCHLER, W.W. e LILLARD, J.L. The No-tillage system for corn (*Zea mays L.*) Agron. J., v.60, p.17-20, 1968.
- 76 JONES, BY O.L. e BROMFIELD, S.M. Phosphorus changes during the leaching and decomposition of hayed-off pasture plants. Aust. J. agric. Res., v.20, p. 653-663, 1969.
- 77 JORGE, J.A. e VALADARES, J. Formas de fósforo em solos do Estado de São Paulo. Bragantia, Campinas, v.28, n.2, p.23-30, 1969.
- 78 KAILA, A. Organic phosphorus in finnish soils. Soil Sci., Baltimore, v. 95, p. 38-44, 1963.
- 79 KAMPRATT, E.J. Exchangeable aluminum as a criterion for liming leached mineral soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, v.34, n.2, p.252-254, 1977.
- 80 KANG, B. T. e YUNUSA, M. Effects of tillage methods and phosphorus fertilization on Maize in the humid tropics. Agron. J., Madison, v. 69, p. 91-94, Mar-Abri, 1977.
- 81 KARIM, M.I. e ADAMS, W.A. Relationship between sequioxides, kaolinite and phosphate sorption in a catena of oxisols in Malawi. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, v.48, n.2, p.406-409, 1984.
- 82 LAL, R. No-tillage effects on soil properties under different crops in Western Nigeria. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, v.40, p.762-768, 1976.
- 83 LARSEN, S Soil phosphorus. Advances in Agronomy, San Diego, v.19, p.151-210, 1967.
- 84 LEE, K.E. e PANKHURST, C.E. Soil organisms and sustainable productivity. Aust. J. Soil Res., v.30,p.855-892, 1992.
- 85 LYNCH, J.M. Interactions between biological process, cultivation and soil struture. Plant and Soil, The Hague, v.76, p.307-318, 1984.
- 86 LEGG, J. O. e BLACK, C. A. Determination of organic phosphorus in soils: II. Ignition method. Soil Sci., Baltimore, p. 139-143, 1955.
- 87 LOPEZ, H.D. e BURHNAM, C.P. The effect of pH on phosphate adsorption in soils. J. Soil Sci., Oxford, v.25, n.2, p.207-216, 1974.

- 88 LUCAS, L.M. e BLUE, W.G. Effects of lime and phosphorus on selected alluvial entisols from eastern Costa Rica. I. phosphorus retention and soil phosphorus fractions. Tropical Agriculture, Trinidad, v.49,n.4, p.287-295, 1972.
- 89 MAACK, R. Classificação do clima do Estado do Paraná. In: Livraria José Olimpio Editora S.A., Geografia Física do Paraná, 2 ed. Rio de Janeiro, 442p., 1981. p.175-189.
- 90 MACKAY, A.D. e KLADIVKO, E.J. Earthworms and rate of breakdown of soybean and maize residues in soil. Soil Biol. Biochem., Oxford, v.17, n.6, p.851-857, 1985.
- 91 MACMAHON, M.A. e THOMAS, G.W. Anion leaching in two Kentucky soils under conventional tillage and a killed-sod mulch. Agron. J., Madison, v.68, p.437-442, 1976.
- 92 MAGID, J. e NIELSEN, N. E. Seasonal variation in organic and inorganic phosphorus fractions of temperature-climate sandy soils. Plant and Soil, The Hague, v.144, p.155-165, 1992.
- 93 MALAVOLTA, E.; REICHARD, K.; BITTENCOURT, V.C.; STEWART, J.G.W. e SARRUGE, J.R. Manual de Química Agrícola: nutrição mineral de plantas e fertilidade do solo. Piracicaba, Editora Agranômica Ceres, 528p. 1976.
- 94 MANSELL, R. S.; SELIM, H. M. e FISKELL, J. G. A. Simulated transformations and transport of phosphorus soil. Soil Sci., Baltimore, v.124, n. 2, p. 102-109, 1976.
- 95 MATTINGLY, G.E.G. Labile phosphate in soils. Soil Sci., Baltimore, v.119, n. 5, p.369-375, 1974.
- 96 MCGILL, W. B. e COLE, C. V. Comparative aspects of cycling of organic C, N, Sand P through soil organic matter. Geoderma, Amsterdam, v. 26, p. 267-286, 1981.
- 97 MCKENZIE, R.H.; STEWART, J.W.B.; DOR MAAR, J.F. e SCHAALJE, G.B. Long - term crop relation and fertilizer effects on phosphorus transformations: I. In a chernozemic soil. Can. J. Soil Sci., Ottawa, v.72, p.569-579, nov. 1992.
- 98 MCKENZIE, R.H.; STEWART, J.W.B.; DORMAAR, J.F. e SCHAALJE, G.B. Long term crop. rotation and fertilizer effects on phosphorus transformations: II. In a luvisolic soil. Can. J. Soil Sci., Ottawa, v.72, p. 581-589, nov. 1992.
- 99 McLAUGHLIN, J.R.; RYDEN, J.C. e SYERS, J.K. Development and evaluation of a Kinetic model to describe phosphate sorption by hydrous ferric oxide gel. Geoderma, Amsterdam, v.18, p.295-307, 1977.

- 100 McLAUGHLIN, M. J.; ALSTON, A. M. e MARTIN, J. K. Phosphorus cycling in wheat-pasture rotations. II. The role of the microbial biomass in phosphorus cycling. Aust. J. Soil Res., v. 26, p. 323-331, 1988a.
- 101 McLAUGHLIN, M. J.; ALSTON, A. M. e MARTIN, J. K. Phosphorus cycling in wheat-pasture rotations. I. The source of phosphorus taken up by wheat. Aust. J. Soil Res., v. 26, p. 323-331, 1988b.
- 102 McLAUGHLIN, M. J.; ALSTON, A. M. e MARTIN, J. K. Phosphorus cycling in wheat-pasture rotations. III. Organic phosphorus turnover and phosphorus cycling. Aust. J. Soil Res., v. 26, p. 343-353, 1988c.
- 103 McLAUGHLIN, M.J.; BAKER, T.G. e JAMES, T.R. Distribution and forms of phosphorus and aluminium in acidic topsoils under pastures in south-eastern Australia. Aust. J. Soil Res., v.28, p.371-385, 1990.
- 104 McMAHON, M.A. e THOMAS, G.W. Anion leaching in kentucky soils under conventional and killed-sod mulch. Agron. J., Madison, v.68, p.437-442, 1976.
- 105 MEHTA, N. C.; LEGG, J. O.; GORING, C. A. I. e BLACK, C. A. Determination of organic phosphorus in soils: I. Extraction method, Soil Sci. Soc.Am.Proc., Madison, v.18, p. 443-449, 1954.
- 106 MEENTEMEYER, V. Macroclimate and lignin control of litter decomposition rates. Ecology, New York, v.59, p.465-472, 1978.
- 107 MELLILO, J.M.; ABER, J.D. e MURATORE, J.F. Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. Ecology, New York, v.63, p.621-626, 1982.
- 108 MENGEL, K. e KIRKBY, E.A. Phosphorus. In: Principles of Plant Nutrition, 4ed., International Potash Institute, P.O. Box, ch-3048, worblanfen-Bern/Switzerland. 687p. 1987. p.403-426.
- 109 MONDARDO, A. Resultados de pesquisa. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2, Passo Fundo, 1978. Anais..., Passo Fundo, EMBRAPA-CNPTrigo, p.249-252, 1978.
- 110 MOODY, J.E.; SHEAR, G.M. e JONES Jr., J.N. Growing corn without tillage. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, Madison, v.6, p.516-517, 1961.

- 111 MOSCHLER, W.W.; SHEAR, G.M.; MARTENS, D.C.; JONES, G.D. e WILMOUTH, R.R. Comparative yield and fertilizer efficiency of no-tillage and conventionally tilled corn. Agron. J., Madison, v.64, p.229-231, 1972.
- 112 MUZZILLI, O. Manejo da fertilidade do solo. In: FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRÔNOMICO DO PARANÁ, Londrina, Paraná, Plantio direto no Paraná, circular n.23, 243p. IAPAR, 1981. p.43-57.
- 113 MUZZILLI, O. Princípios e perspectivas de expansão. In: FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRÔNOMICO DO PARANÁ, Londrina, Paraná, plantio direto no Paraná, circular n.23, 243p. Iapar, 1981. p.11-17.
- 114 MUZZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional sobre a fertilidade da camada arável do solo. R.bras. Ci. Solo, Campinas, v.7, p.95-102, 1983.
- 115 MUZZILLI, O. Fertilidade do solo em plantio direto. In: FUNDAÇÃO CARGILL, Campinas, S.P. Atualização em plantio direto. 1985. p.147-160.
- 116 MUZZILLI, O. O plantio direto com alternativa no manejo e conservação do solo. In: CURSO BÁSICO PARA INSTRUTORES EM MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO, Fundação Instituto Agrônômico do Paraná, Londrina, 1991. 20p.
- 117 MUZZILLI, O. et al., Análise de solos, interpretação e recomendação de calagem e adubação para o Estado do Paraná. Londrina, Fundação Instituto Agrônômico do Paraná, (Circular IAPAR, 9), 1978, 49p.
- 118 MUNNS, D.N. e FOX, R.L. The slow reaction which continues after phosphate adsorption: Kinetics and Equilibrium in some tropical soils. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, v. 40, p. 46-51, 1976.
- 119 NAHAS, E. Ciclo do fósforo: transformações microbianas. Jaboticabal: FUNEP, 1991.
- 120 OADES, J.M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. Plant and Soil, The Hague, v.76, p.319-337, 1984.
- 121 OBIHARA, C.H. e RUSSEL, E.W. Specific adsorption of silicate and phosphate by soils. J. Soil Sci., Oxford, v.23, n.1, p.105-107, 1972.
- 122 OMOTOSO, T.I. e WILD, A. Content of inositol phosphates in some english and nigerian soils. J. Soil Sci., Oxford, v. 21, n. 2 p. 216-223, 1970.

- 123 OMOTOSO, T.I. e WILD, A. Occurrence of inositol phosphates and other organic phosphate components in an organic complex., J. Soil Sci., Oxford, v. 21, n. 2, p. 224-232, 1970.
- 124 ONIANI, O.G.; CHATER, M. e MATTINGLY, G.E.G. Some effects of fertilizers and faryard manure on the organic phosphorus in soils. J. Soil Sci., Oxford, v.24, p.1-9, 1973.
- 125 PARFTTT, R.L.; ATKINSON, R.J.; SMART, R.ST.C. The mechanism of phosphate fixation by iron oxides. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, v.39, n.5, p.837-841, 1975.
- 126 PEARSON, R.W. , SPRY, R. e PIERRE, W.H. The vertical distribution of total and dilute acid-soluble phosphorus in twelve Iowa soil profiles. J. Am. Soc. Agron., Madison, v.32, p.683-696, 1940.
- 127 PHILLIPS, S.H. Introduction to no-tillage. In: PHILLIPS, R.E. e PHILLIPS, S.H.(eds.), No-tillage Agriculture-Principles and Practices. Wan Nostrand Reinhold Company Inc., New York, 1984. p.1-9.
- 128 PRATT, P. F. Organic phosphorus in some lacustrine and alluvial soils of California. Soil Sci., Oxford, v. 96, p. 289-291, 1963.
- 129 RAIJ, B.Van e DIEST, B. Van. Phosphate supplying power of rock phosphate in an oxisol. Plant and Soil, Hague, v.55, n.1, p.97-104, 1980.
- 130 RAIJ, B. VAN. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. In: Instituto Agronomico de Campinas, 1983. (boletim técnico), 31p.
- 131 RAIJ, B. Van ; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S. e BATAGLIA, O.C. Análise química do solo para fins de fertilidade. Campinas, Fundação Cargill, 1987. 170p.
- 132 RAIJ, B. Van. Fósforo. In: ED. AGRONÔMICA CERES, Campinas, S.P, POTAFÓS, Piracicaba, FERTILIDADE DO SOLO E ADUBAÇÃO, 343p. 1991. p.181-204.
- 133 RAJAN, S.S.S.; PERROT, K.W. e SUNDEERS, W.M.H. Identification of phosphate reactive constant pH values. J. Soil Sci., Oxford, v.25, p.438-447, 1974.
- 134 RAMOS, M. Sistemas de preparo mínimo do solo: técnicas e perspectivas para o Paraná. Ponta Grossa, EMBRAPA, Repr. Estadual do Paraná, comunicado técnico n.01, 1976. 23p.

- 135 REEVE, N.G. e SUMNER, M.E. Effects of aluminum, toxicity and phosphorus fixation on crop growth on oxisols in Natal. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, v.34, n.2, p.263-267, 1970.
- 136 ROBERTS, T.L.; BETTANY, J.R. e STEWART, J.W.B. A hierarchical approach to the study of organic C,N,P and S in western Canadian soils. Can. J. Soil Sci., Ottawa, v.69, p.739-749, 1989.
- 137 RYDEN, J.C.; MCLAUGHLIN, J.R. e SYERS, J.K. Mechanisms of phosphate sorption by soils and hydrous ferric oxide gel. J. Soil Sci., Oxford, v. 28, p. 72-92, 1977.
- 138 SÁ, J.C.M. Manejo da fertilidade do solo no plantio direto. In: FUNDAÇÃO ABC, Castro-Paraná, 1993a. 96p.
- 139 SÁ, J.C.M. Sistema de produção de milho visando alta produtividade na região dos Campos Gerais, no Centro-Sul do Paraná. In: BULL, L.T. e CANTARELLA, H. (ed.), Piracicaba, Potafós, 301p. 1993b. p.249-280.
- 140 SAUNDERS, W. M. H. e WILLIAMS, E. G. Observation on the determination of total organic phosphorus in soils. J. Soil Sci., Oxford, v. 6, n. 2, 1955.
- 141 SELLES, F.; ZENTNER, R.P.; KOCHHAN, R.A.; FAGANELLO, A. e DENARDIN, J.E. Effects of tillage on the forms and distribution of P in Oxisol in Southern Brazil. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON CONSERVATION TILLAGE SYSTEMS. Proc. Canadian International Development Agency/Centro Nacional de Pesquisa de Trigo - EMBRAPA, 19-21 Nov., Passo Fundo, R.S, p.86-95, 1990.
- 142 SHARPLEY, A.N. e SYERS, J.K. Potential role of earthworm casts for the phosphorus enrichment of run-off waters. Soil Biol. Biochem., Oxford, v.8, 341-346, 1976.
- 143 SHARPLEY, A.N. e SYERS, J.K. Seasonal variation in casting activity and in the amounts and release to solution of forms in earthworms casts. Soil Biol. Biochem., Oxford, v.9, 227-231, 1977.
- 144 SHARPLEY, A.N.; SYERS, J.K. e SPRINGETT, J.A. Effect of surface-casting earthworms on the transport of phosphorus and nitrogen in surface runoff from pasture. Soil Biol. Biochem., Oxford, v.11, 459-462, 1979.
- 145 SHARPLEY, A.N. Phosphorus cycling in unfertilized and fertilized agricultural soils. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, v.49, p.905-911, 1985.

- 146 SHARPLEY, A. N.; TIESSEN, H. e COLE, C. V. Soil phosphorus forms extracted soil tests as a function of pedogenesis. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, v. 51, p. 362-365, 1987.
- 147 SHEAR, G.M. e MOSCHLER, W.W. Continuous corn by the no-tillage and conventional tillage methods: a six year comparison. Agron. J., Madison, v.61, p. 524-526, 1969.
- 148 SIDIRAS, N. e PAVAN, M.A. Influencia do sistema de manejo no seu nível de fertilidade. R. bras. Ci. Solo, Campinas, v.9, p.249-254,1985.
- 149 SINGH, T.A.; THOMAS, G.W.; MOSCHLER, W.W. e MARTENS, D.C. Phosphorus uptake by corn (*Zea mays* L.) under no-tillage and conventional practices. Agron. J., Madison, v.58, p.147-148, 1966.
- 150 SMECK, N.E. Phosphorus: an indicator of pedogenic weathering process. Soil Sci., Baltimore, v.115, p.199-205, 1973.
- 151 SOLTANPOUR, P. N.; FOX, R. L. e JONES, R. C. A quick method to extract organic phosphorus from soils. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, v.51, p. 255-256, 1986.
- 152 SOUZA, L.F.S. Calagem e adubação fosfatada em latossolos sob cerrado. Rio de Janeiro, UFRRJ, 85p. (tese de mestrado).
- 153 SPIERS, G.A. e MCGILL, W.B. Effects of phosphorus addition and energy supply on acid phosphatase production and activity in soils. Soil Biochem., Oxford, v.11, p.3-8, 1979.
- 154 SMITH, T.J. e SANCHEZ, P.A. Effects of lime silicate and phosphorus applications to an oxisol on phosphorus sorption and ion retention. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, v.44, p.500-505, 1980.
- 155 STEWARD, J.H. e OADES, J.M. The determination of organic phosphorus in soils. J. Soil Sci., Oxford, v.23, n. 1, p. 38-49, 1972.
- 156 STEWART, J.W.B.; MACKERCHER, R.B. Phosphorus cycle. In: BURNS, R.G.; SLATER, J.H. (ed.), Experimental Microbial Ecology, Oxford, Blackwells, 1982. p.221-228.
- 157 STEWART, J.W.B.; SHARPLEY, A.N. Controls on dynamics of soil and fertilizer phosphorus and sulfur. In: FOLLET, R.F.; STEWART, J.W.B. ; COLE, C.V.(ed.), Soil Fertility and organic matter as critical components of production system, Am. Soc. Agron. J., Madison, p.101-121, 1987.

- 158 STEWART, J.W.B.; TIESSEN, H. Dynamics of soil organic phosphorus. Biogeochemistry, Netherlands, v.4, p.41-60, 1987.
- 159 SWIFT, R.S. e POSNER, A.M. Nitrogen, phosphorus e sulfur contents of humic acids fractionated with respect to molecular weight. J. Soil Sci., Baltimore, v.23, p.50-57, 1972.
- 160 SYERS, J.K. e SPRINGETT, J.A. The earthworms and soil fertility. Plant and Soil, The Hague, v.76, p.93-104, 1984.
- 161 TATE, K. R. The biological transformation of P in soil, Plant and Soil, The Hague, v.76, p. 245-256, 1984.
- 162 TIESSEN, H.; STEWART, J. W. B. e COLE, C. V. Pathways of phosphorus transformations in soils of differing pedogenesis. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, v.48, p. 853-858, 1984.
- 163 TIESSEN, H.; STEWART, J.W.B. e MOIR, J.O. Changes in organic and inorganic phosphorus composition of two grassland soils and their particle size fractions during 60-90 years of cultivation. J. Soil Sci., Oxford, v. 34, p. 815-823, 1983.
- 164 TINKER, P.B. The role of microorganisms in mediating and facilitating the uptake of plant nutrients from soil. Plant and Soil, Ottawa, v.76, p.77-91, 1984.
- 165 THOMPSON, L.M.; BLACK, C.A. e ZOELLNER, J.H. Occurrence and mineralization of organic phosphorus in soils, with particular reference to associations with carbon, nitrogen, and pH. Soil Sci., Baltimore, v.77, p.185-196.
- 166 THOMAS, G.W.; BLEVINS, R.L.; PHILLIPS,R.E. e McMAHON, M.A. Nitrate nitrogen in killed corn sod. Agron. J., Madison, v.65, p.736-739,1973.
- 167 TRIPLETT, G.B.Jr.; VAN DOREN, Jr. e SCHMIDT, B.L. Effect of corn (*Zea mays L.*) stover mulch on no-tillage corn yield and water infiltration. Agron. J., Madison, v.60, p.236-239, 1968.
- 168 TRIPLETT, G.B.Jr.; VAN DOREN, Jr. Nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization on no-tillage maize. Agron. J., Madison, v.61, p.637-639, 1969.
- 169 UDO, E.J. e UZU, F.O. Characteristics of phosphorus adsorption by some Nigerian soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, v.36, n.6, p.879-883, 1972.
- 170 WALKER, T. W. e ADAMS, A. F. R. Studies of soil organic matter: Influence of phosphorus content of parent materials on accumulations of carbon, nitrogen,

- sulfur, and organic phosphorus in grassland soils. Soil Sci., Oxford, v. 85, p. 307-318, 1958.
- 171 WALKER, T.W. e SYERS, J.K. The fate of phosphorus during pedogenesis. Geoderma, Amsterdam, v.15, p.1-19, 1976.
- 172 WALTERS, D. T.; AVLAKH, M. S. e DORAN, J. W. Effects of soil aeration, legume, residue, and soil texture on transformations of macro and micronutrients in soils. Soil Sci., Oxford, v. 153, n. 2, p. 100-107, Fev. 1992.
- 173 WHITE, R. E. e AYOUB, A. T. Decomposition of plant residues of variable c/ P ratio and the effect on soil phosphate availability. Plant and Soil, The Hague, v. 74, p. 163-173, 1983.
- 174 WILLIAMS, C.H.; WILLIAMS, E.G. e SCOTT, N.M. Carbon, nitrogen, sulphur and phosphorus in some scottish soils. J. Soil Sci., Oxford, v.11, n.2, p. 334-343, 1960.
- 175 WILLIAMS, J. D. H.; SYERS, J. K.; WALKER, T. W. e REX, R. W. A comparison of methods for determination of soil organic phosphorus. Soil Sci., Oxford, v.100, n.1, p. 13-18, 1970.
- 176 WILLIAMS, J.D.H.; SYERS, J.K. e WALKER, T.W. Fractionation of soil organic phosphate by a modification of Chang and Jackson's procedure. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, v.31, 736-739, 1967.
- 177 WERNER, M.R. e DINDAL, D.L. Earthworm community dynamics in conventional and low-input agroecosystems. Rev. Écol. Biol. Sol., v.26, n.4, p.427-437, 1989.
- 178 WESTERNACHER, E. e GRAFF, O. Orientation behaviour of earthworms (Lumbricidae) towards different crops. Biol. Fertil. Soils, v.3, p.131-133, 1987.
- 179 WUNCHE, W.A. e DENARDIN, J.E. Perdas de solo escorrimento de água sob chuva natural em latossolo vermelho escuro nas culturas de trigo e soja. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2, Passo Fundo, 1978, Anais..., Passo fundo, EMBRAPA/CNPTrigo, p.289-96, 1978.