

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

**DINÂMICA DE FÓSFORO, ENXOFRE E CARBONO ORGÂNICO TOTAL EM
DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO EM LATOSSOLO DE CERRADO**

MONICA DIENE R. OLIVEIRA

Monografia apresentada ao Curso de
Agronomia, da Universidade Federal de
Uberlândia, para obtenção do grau de
Engenheiro Agrônomo.

Uberlândia – MG
Junho - 2004

**DINÂMICA DE FÓSFORO, ENXOFRE E CARBONO ORGÂNICO TOTAL EM
DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO EM LATOSSOLO DE CERRADO**

APROVADO PELA BANCA EXAMINADORA EM 15/06/2004

Prof. Dr. Elias Nascentes Borges
(Orientador)

Prof^a. Dr^a. Regina Maria Quintão Lana
(Membro da Banca)

Msc. Ricardo Falqueto Jorge
(Membro da Banca)

Uberlândia – MG
Junho - 2004

INDICE

RESUMO -----	03
1. INTRODUÇÃO -----	05
2. REVISÃO DE LITERATURA -----	08
3. MATERIAL E MÉTODOS -----	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO -----	31
5. CONCLUSÕES -----	45
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	47

RESUMO

Em função dos diferentes sistemas de manejo do solo e do uso de corretivos pode-se esperar alterações nos atributos químicos do solo. Assim, esta pesquisa objetivou-se avaliar a dinâmica dos teores de P, S e Carbono Orgânico em solo de cerrado cultivado na sucessão soja/milho sob diferentes sistemas de manejo e correção do solo (Cultivo convencional, cultivo mínimo, plantio direto e ausência de preparo), com e sem gesso agrícola associado ao calcário. O experimento foi conduzido na Fazenda experimental do Glória, Uberlândia- MG, em delineamento de blocos ao acaso com 4 repetições e 7 tratamentos, totalizando 28 parcelas de 11 x 25 m . O solo inicialmente encontrava-se sob pastagem degradada com visíveis sinais de erosão. No ano agrícola 2000/2001 após caracterização química e física, procedeu a aplicação dos tratamentos com calcário e calcário+gesso incorporado ou não conforme os tratamentos de manejo do solo propostos (Preparo Convencional com duas gradagens, preparo mínimo com escarificador, ausência de preparo, e sistema em PD). No ano agrícola de 2002/2003 coletou-se amostras de solo nas profundidades de 0-5, 5-15 e 15-30 cm na época da seca (julho) e das águas (Janeiro), antes e após o cultivo do milho. A presença do gesso contribuiu significativamente para aumentar o teor de P no Cultivo Convencional em relação ao demais sistemas de manejo. A quantidade de P presente no solo foi significativamente maior no período seco em relação ao período chuvoso. A quantidade de P disponível foi significativamente menor na camada de 15-30 cm nos sistemas conservacionistas como PD e AP , sendo que a máxima a quantidade de P foi observado no período da seca. O gesso foi efetivo em agregar o S-

SO_4^{2-} em todo período das águas nas camadas estudadas, mas, com maiores quantidades nos sistemas de manejo CM e AP. A quantidade de S recuperado foi maior no período das águas quando comparado ao período seco. Os teores de COT foram menores na época de janeiro (período das águas), comparado ao período seco. Na Segunda época os teores de COT, independente da profundidade, foram maior nos sistemas conservacionistas PD e AP em relação ao CC. A produtividade do milho foi maior no cultivo convencional, enquanto o sistema de ausência de preparo do solo apresentou a menor.

1 - INTRODUÇÃO

O preparo do solo pode ser definido como sua mobilização física, química (aplicação e incorporação de calcário) e biológica, objetivando otimizar todas as condições para germinação das sementes e desenvolvimento das plantas.

Os tipos de preparos como os modelos de implementos evoluíram objetivando o controle de plantas daninhas, incorporação de calcário e às vezes até de adubos, destinados à construção da fertilidade do solo.

Conquanto possa proporcionar, ao menos temporariamente, condições favoráveis ao crescimento e à produção agrícola, o preparo intensivo do solo e a movimentação de veículos e de máquinas, geralmente pesados, nas áreas de uso agrícolas intensivo, tem contribuído para formação de camadas compactadas no solo, constituindo fator negativo à produção e favorável a erosão (Alvarenga, 1993; Carvalho Júnior 1995 e Borges et al., 1999).

Devido ao alto grau de intemperismo virtual, ausência de minerais primários facilmente intemperizáveis e predominância de argila com baixa atividade, incapazes

de suprirem a necessidades das plantas (Lopes, 1984), à adoção de sistemas de preparo e de manejo do solo econômicos, ecologicamente sustentáveis e que preservem tanto a cobertura como os teores de matéria orgânica, nos latossolos de cerrado, é vital, sobretudo, para prevenir contra as alterações físicas desfavoráveis, observados quando o solo é colocado em produção, como a formação de uma camada compactada subsuperficial (Alvarenga, 1993 e Carvalho Júnior, 1995).

Nestes solos, práticas agrícolas que minimizem a mobilização do solo e preserve os teores de matéria orgânica, responsáveis pela maior atividade do solo, são fundamentais não só para a sustentabilidade do ecossistema, mas também pela sua influência direta e indireta nos processos químicos, físicos, físico-químicos e biológicos.

O plantio direto destaca-se como um sistema de manejo efetivo para o controle das perdas de solo e água sob as condições climáticas do Brasil. Nos solos com baixa fertilidade natural a exigência da correção da acidez superficial e subsuperficial e construção da fertilidade constituem a principal limitação para a implantação definitiva do plantio direto a partir da abertura da área.

O princípio do cultivo mínimo é a manipulação mínima dos solos destinada à produção. Com o cultivo mínimo existe menor possibilidade de compactação do solo e maior capacidade de percolação de água.

Segundo Tormenta e Roloff (1996), Bauder et al (1981), a incorporação de calcário mediante aração e gradagens irá provocar pulverização e compactação do solo pelo tráfego dos tratores e implementos. A impedância mecânica resultante dessa compactação interfere no ambiente de crescimento das raízes, reduzindo a produtividade e acelerando os processos erosivos.

Aplicação superficial de calcário, sem incorporação, em solos de textura média, em sistema de plantio direto, com utilização de gramíneas de sistema radicular profundo e que ainda adicionam ao solo grandes teores de matéria orgânica, além de proporcionar cobertura do solo no inverno, poderá criar condições para uma possível movimentação do calcário em profundidade.

A formação e estabilização dos agregados, essencial em qualquer sistema de agricultura para reduzir as perdas por erosão e proporcionar ainda melhoria na qualidade do ambiente do solo para o adequado crescimento das plantas e microorganismos, são dependentes dos processos químicos, físicos, biológicos e da existência de substâncias orgânicas provenientes da ação dos microorganismos e atividade de raízes. Desse modo, o estabelecimento de condições químicas em profundidade, nos latossolos normalmente ácidos e pobres (Lopes, 1984) é condição essencial para que as plantas desenvolvam forte e vigoroso sistema radicular.

O trabalho tem por objetivo avaliar os teores de fósforo, enxofre e carbono orgânico total em quatro sistemas de manejo do solo, nas profundidades 0-5, 5-15 e 15-30 cm, no período das águas e da seca.

2 - REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultivo Convencional

Há uma crença, entre a maioria dos agricultores, que condições ótimas a germinação e desenvolvimento das plantas somente serão obtidas com a total inversão e nivelamento do solo. Desse modo, os métodos e os implementos de preparos evoluíram exigindo para seu tracionamento tratores possantes e pesados (Castro, 1989). Esta evolução, longe de estar promovendo aumentos na produção de alimentos com qualidade e preservando o meio ambiente, está, ao contrário, promovendo drásticas alterações no ecossistema, capazes de colocar em risco a sobrevivência de algumas espécies vegetais e animais.

Assim, a adoção de novas técnicas de preparo, que interfira o mínimo possível com o ambiente, que sejam ecologicamente sustentáveis, e capazes de proporcionarem condições químicas, físicas e biológicas ao crescimento das plantas devem ser pesquisadas e adotadas.

O conhecimento dessas alterações, em condições específicas de solo e clima, são importantes no entendimento das potencialidades e limitações dos sistemas de manejo,

em relação à produtividade das culturas, alterações físicas do solo, manejo químico e adoção de práticas que podem contornar possíveis limitações advindas da sua utilização.

A habilidade das plantas em explorar o solo, em busca de fatores de crescimento, depende grandemente da existência e distribuição de raízes no perfil do solo, que por sua vez, são dependentes das condições físicas e químicas, as quais, são passíveis de alterações em função do manejo aplicado (Sidiras et al., 1983; Rosolem et al, 1992).

Canalli e Roloff (1997) afirmam que o crescimento das plantas depende grandemente das condições físicas de um solo, uma vez que estas influenciam a disponibilidade de água, nutriente e oxigênio absorvido pelo sistema radicular. Alguns aspectos estruturais produzidos pelo preparo do solo e plantio das culturas são transitórios, mas sua reorganização estacional progressiva pode alterar as propriedades físicas com reflexo no desenvolvimento da planta. Há necessidade, portanto, de atentar para as condições não só químicas, mas também físicas do solo, visando produções de alimentos de modo econômico e sem degradação da natureza.

Sendo as propriedades do solo funções, que caracterizam seus processos de retenção e transmissão de água, oxigênio e nutrientes, elas podem ser utilizadas como parâmetros para avaliação funcional do efeito das modificações impostas à estrutura do solo pelos diversos sistemas de manejo e preparo do solo atualmente em uso (Canalli e Roloff, 1997).

Castro (1989) afirma que o preparo convencional possibilita a formação de uma crosta superficial compactada em função do impacto das chuvas e desagregação do solo pelo preparo. Esta situação, aliada a presença de camada compactada subsuperficial (Carvalho Júnior, 1995) promove o aceleração de processos erosivos, em grau até maior do que a própria declividade do terreno ou tipo de solo. Machado et al. (1981), verificaram

que o sistema convencional de preparo do solo reduz a porosidade total, a macroporosidade e a percentagem de matéria orgânica, aumentando a microporosidade e a densidade.

2.2 Sistema de Plantio Direto

Entre as diversas técnicas de uso e manejo do solo hoje em uso, o plantio direto tem merecido a atenção dos especialistas do mundo, por interferir o mínimo possível com o meio ambiente e reduzir a níveis insignificantes a erosão do solo.

Segundo Muzilli (1985) o plantio direto é um processo de semeadura em solo não revolvido, no qual a semente é colocada em sulcos ou covas sobre os restos culturais anteriores, sem a movimentação do solo. Esta técnica pressupõe então, para sua utilização, o uso de herbicidas para o controle das ervas daninhas ou de outras plantas destinadas à cobertura do solo.

Dentre os diversos benefícios proporcionados pelo uso do plantio direto, Muzilli (1985) afirma que o maior deles é sem dúvida o controle da erosão. A grande eficiência dessa técnica no controle da erosão está na pressuposição que o solo deve permanecer coberto durante todo ano, evitando o impacto direto da gota de chuva ou irrigação sobre o solo nú, a qual além do efeito compactador tem efeito desagregante.

Vedoato (1985), preconiza que para que o plantio direto seja introduzido com sucesso em uma área são necessários alguns cuidados básicos como: Remoção, caso ocorra, da compactação do solo por meio da subsolagem; promover a erradicação de algumas ervas de difícil controle, como guanxuma, gramíneas perenes; corrigir em profundidade a acidez e a baixa fertilidade do solo; escolha correta das máquinas de plantio; dispor de espécies vegetais adequadas a produção, e cobertura do solo, durante todo ano.

Mazuchowski e Derpsch (1984) afirmam que as operações de preparo do solo devem ser limitadas à eliminação de plantas não desejáveis, obtenção de condições favoráveis à germinação e desenvolvimento da plântula, melhoria e manutenção da fertilidade do solo e da produtividade, as quais devem ser permanentes. Contudo, qualquer que seja o método de preparo este deve preservar os teores de matéria orgânica e os atributos edafoclimáticos indispensáveis à produção agrícola e à redução da erosão e/ou outras formas de degradação a níveis tolerados.

Quanto ao efeito do plantio direto na porosidade do solo, Hill et al. (1985) observaram que a porosidade foi mais favorável ao desenvolvimento radicular na camada de 0 -15 cm, comparado ao convencional. Oliveira et al. (1986) afirmam que no plantio direto pode ser detectada a presença de uma camada mais compactada nos primeiros 7,5 cm, embora esta não constituir impedimento ao desenvolvimento das raízes das plantas.

Segundo Dalal e Mayer (1986 a, b) a utilização de métodos convencionais de preparo do solo, associados a culturas anuais, normalmente provoca redução acentuada nos teores de matéria orgânica total, como resultado do aumento da taxa de decomposição anual ou mesmo da redução da taxa de adição externa. Nessa situação, os teores podem estar aquém do necessário para manter as condições satisfatórias à produtividade das culturas, devido à estreita relação existente entre a matéria orgânica e as demais características do solo, principalmente nas classes dos chamados Latossolos. Por outro lado, sistemas de manejos do solo que não envolvem revolvimentos e que ainda adicionam grandes quantidades de resíduos como é o caso do plantio direto, possibilitam aumentos dos teores de matéria orgânica do solo conforme afirmam Testa et al., (1992). Porém, em vista da ausência de revolvimento do solo, pode ocorrer acúmulo de nutrientes nas camadas

superficiais, o que de certa forma não é desejável por não favorecer o aprofundamento do sistema radicular (Muzilli, 1983; Centurion et al., 1985; Merten e Mielniczuk, 1992).

Almeida (1985) afirma que a quantidade de resíduos vegetais adicionados ao solo no plantio direto não é diferente do convencional. A diferença é que no segundo, a incorporação e a fragmentação dos resíduos favorecem a decomposição. No plantio direto a terra mantém-se compactada e os resíduos à superfície, o que reduz o contato com os microrganismos. Por isso, em igualdades de condições, o teor de matéria orgânica no sistema de plantio direto é superior, pelo menos nas camadas mais superficiais.

Um parâmetro importante a ser observado no manejo do solo é a preservação da estabilidade dos agregados. Agregados estáveis possibilitam menor desagregação pelos impactos das gotas de água, portanto menores são os problemas de selamento superficial.

Diversas pesquisas fazem referência ao aumento de matéria orgânica na camada de 0 a 30 cm do solo no plantio direto em relação ao sistema convencional. Contudo, estudos conduzidos por Muzilli (1983) verificaram aumentos expressivos somente nos 7 primeiros cm do solo. Cabe ressaltar que no sistema convencional, o preparo pelo arado ou mesmo grade pesada, fazem a incorporação dos restos orgânicos o que pode enriquecer os teores de matéria orgânica em profundidade fazendo com que não ocorra diferença nas camadas mais profundas do solo.

Segundo Muzilli (1985) a cobertura morta, mantida sobre a superfície, do solo pelo plantio direto atua como isolante, impedindo oscilações bruscas e acentuadas de temperatura, contribuindo para uma menor evaporação da água do solo, permitindo segundo este pesquisador uma economia de 10 a 20 % de água no solo. Melhor

conservação da água no solo garantirá melhor germinação e crescimento mais rápido, com economia de até 15 % nos gastos com sementes.

Via de regra todo solo quando incorporado ao processo agrícola tem suas condições físicas e químicas modificadas, apresentando normalmente uma tendência a divergir da situação natural com o decorrer do tempo, podendo evoluir para situações positivas ou o que é mais comum para mais negativas ao crescimento das plantas. De todos os componentes do manejo o preparo do solo segundo Vieira (1985) é o que mais interfere no seu comportamento físico e químico, já que esta atua diretamente na sua estrutura.

Almeida (1985) enfatiza que o aumento dos teores de matéria orgânica no solo possibilita um aumento da população macrobiana do solo, os quais movimentaram grande quantidade de terra em busca de alimentos ou para deposição de seus ovos. Nesses percursos abrem galerias contribuindo para aumentar permeabilidade do terreno, permitindo além de uma melhor drenagem com infiltração do excesso de água a descida do calcário e adubos em profundidade.

A presença dos canalículos produzidos por anelídeos, artrópodes, moluscos, nematóides, e até vertebrados além de facilitar a melhor oxigenação do solo com a liberação do gás carbônico do solo facilitam a perfuração das que servem deles para penetrarem o solo. As minhocas, por exemplo, ao cavarem galerias e se alimentarem de terra contribuem para a descompactação do solo, possibilitando não só maior infiltração da água, mas também melhorias nas propriedades físicas do solo. O plantio direto contribui para manutenção de um ambiente propício, por fornecer matéria orgânica, favorecendo assim a população de microorganismos no solo.

Castro et al., (1988) afirmam que a incorporação dos restos culturais ao solo pelo preparo convencional proporciona uma decomposição mais rápida, com perdas dos nutrientes por lixiviação ou enxurradas. Com a manutenção dos restos vegetais na superfície, como ocorre com o plantio direto, reduz-se a decomposição, com acréscimo dos teores de matéria orgânica nas camadas do solo.

2.3 Cultivo mínimo e Ausência de Preparo do solo

Sistemas de manejo do solo que não envolvem revolvimentos e que ainda adicionam grandes quantidades de resíduos sobre o solo, como cultivo mínimo e ausência de preparo do solo, possibilitam aumentos nos teores de matéria orgânica do solo conforme afirmam Testa et al. (1992). Porém em vista da ausência de revolvimento do solo, pode ocorrer acúmulo de nutrientes nas camadas mais superficiais, que de certa forma não é desejável por não favorecer o aprofundamento do sistema radicular (Centurion et al. 1985).

Qualquer que seja o método de preparo este deve preservar os teores de matéria orgânica e os atributos edafoclimáticos indispensáveis à produção agrícola e à redução da erosão e/ou outras formas de degradação a níveis tolerados. Oades (1984) afirma que o controle da erosão nos vários sistemas de preparo conservacionistas depende, dentre outros fatores, da maior ou menor quantidade de resíduos culturais adicionados ao solo.

2.4 Fósforo

O fósforo atua na fotossíntese, na respiração, no armazenamento e na transferência de energia, na divisão celular, no crescimento das células e em vários outros processos da planta.

O fósforo encontra-se no solo em três formas: solúvel, ligado a matéria orgânica e formando compostos inorgânicos com baixa solubilidade.

Segundo Jorge (1983), a fixação do fósforo corresponde à conversão do fósforo solúvel ou disponível em formas insolúveis ou menos solúveis. O fósforo solúvel colocado no solo como fosfato monocálcico, poderá ser fixado de várias maneiras: adsorção pelas argilas; adsorção pelos hidróxidos de Fe e Al; precipitação com Fe, Al ou Mn; formação de compostos de Ca; formação de compostos orgânicos.

Quase todo fósforo movimentado no solo por difusão, um processo lento e de pouca amplitude, que depende da umidade do solo. Condições de seca reduzem drasticamente a difusão (Jorge, 1983).

Em geral, a maior parte do fósforo depende de várias condições: Quantidade de argila, tipo de argila, época de aplicação, aeração, compactação, umidade, nível de fosfato no solo, temperatura, outros nutrientes, cultura e pH do solo.

O uso e manejo do solo alteram a dinâmica do fósforo. O plantio direto tem sido uma importante alternativa para reduzir os riscos de degradação ambiental, sem alterar a produtividade das culturas. No plantio direto os fertilizantes fosfatados são adicionados na superfície sem revolvimento do solo, diminuindo perdas (Muzilli, 1983).

A erosão superficial pode remover partículas de solo contendo fósforo. A erosão e a remoção pelas culturas são as únicas formas significativas de perdas de fósforo do solo.

Em relação à disponibilidade de nutrientes em plantio direto, técnicos e agricultores mencionam a dificuldade de correção dos níveis de fósforo devido à compactação do solo pelo tráfego de maquinaria, sem o posterior revolvimento do solo.

Quanto ao fósforo, segundo Muzilli (1983), foi observado que no plantio direto ocorre um acúmulo superficial de fósforo nos primeiros 5 cm em relação ao convencional. Este maior acúmulo nas camadas superficiais no plantio direto explica-se pela baixa mobilidade do fósforo pelo maior contato entre o solo e os adubos quando o solo é revolvido no plantio convencional.

2.5 Enxofre

A maioria das fontes de enxofre é formada por sulfatos e são moderadamente ou muito solúveis em água. A forma mais importante de enxofre insolúvel em água é o enxofre elementar, que precisa ser oxidado a S-sulfato antes das plantas poderem utilizá-lo.

Os sulfatos solúveis em água são imediatamente disponíveis para as plantas e devem ser utilizados quando o enxofre é necessário com rapidez. Estas fontes são usadas normalmente em fertilizantes sólidos, apesar de soluções de sulfato de amônio também serem comuns.

A preocupação em suprir as necessidades de enxofre para as culturas deve-se ao aumento comprovado de deficiência do mesmo, nos solos brasileiros (Blair, 1979). A deficiência de enxofre em nossas culturas limitando a produção e qualidade é um fato, principalmente em solos sob vegetação de cerrado. A intensidade dessa deficiência tende a aumentar devido à utilização dos adubos chamados "concentrados" em macronutrientes primários e a práticas tais como calagem, fosfatagem e queimadas.

Apesar do gesso (sulfato de cálcio) ser menos solúvel em água do que os outros sulfatos, ele é uma fonte eficiente e econômica de enxofre.

Adubação com enxofre elementar resulta em resposta mais lenta da cultura do que com fontes na forma de sulfato, por causa da sua insolubilidade em água. Para ser eficiente, essa fonte deve ser incorporada ao solo com bastante antecedência às necessidades das culturas. Usado de maneira adequada, entretanto, o enxofre elementar é uma fonte de enxofre agrônômica e economicamente adequada (Jorge, 1983).

2.6 Carbono orgânico

A matéria orgânica do solo constitui o maior reservatório de carbono da superfície terrestre, estima-se que os estoques de carbono no solo estejam entre 1.200 e 1.500 Pg (1015 g), superando, assim, o estoque de C na biota (Anderson, 1995). Mudanças no ambiente do solo, decorrentes de práticas de manejo inadequadas, podem levar a um rápido declínio destes estoques, colaborando para o aumento das emissões de gás carbônico (CO₂) à atmosfera (Lal, 1997). A matéria orgânica do solo se constitui num componente importante da fertilidade do mesmo exercendo múltiplos efeitos sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas do terreno, alterando-lhe, para melhor, o nível de fertilidade e produtividade. Entende-se por matéria orgânica todos os materiais de origem vegetal ou animal que se encontram no solo.

A característica física mais influenciada pela presença de matéria orgânica nos solos é a capacidade de retenção de água e não se verificam mudanças bruscas de temperatura quando com proteção de cobertura morta. Devem ressaltar os efeitos benéficos da matéria orgânica no desenvolvimento dos organismos do solo, especialmente das bactérias fixadoras do N atmosférico.

A distribuição da matéria orgânica no perfil do solo depende principalmente do modo pelo qual se adiciona o material orgânico. Em solos que suportam gramíneas a contribuição das raízes é grande e muitas dessas plantas têm sistema radicular profundo. E, como elas apresentam ciclo relativamente curto, há uma contínua adição de restos orgânicos ao solo devido à morte das raízes e, conseqüentemente, o teor de matéria orgânica decresce menos bruscamente com a profundidade. E qualquer caso, contudo, há maior acúmulo de matéria orgânica nos terrenos mal drenados que nos bem drenados (Muzilli,1985).

Os solos cultivados recebem adubos orgânicos, adubos verdes, restos de cultura na superfície. Há, pois maior teor de matéria orgânica na camada arável que nos horizontes mais profundos. Esse fato é mais notável em solos de textura fina; nos solos arenosos, a distribuição da matéria orgânica é mais uniforme ao longo do perfil.

2.7 Calagem

A calagem se faz necessária para melhorar as condições químicas do solo, tais como: a elevação de pH devido à liberação de hidroxilas (Equação 1), elevação dos teores de cálcio e (Equação 1), a diminuição dos níveis de alumínio trocável (Equação 4) devido à precipitação deste na forma de hidroxilas (Equação 4), disponibilidade de nutrientes (N, P, K, S) devido à elevação do pH do solo promovendo aumento da atividade biológica do solo (Raij, 1988).



Segundo Malavolta (1989), o calcário possui uma baixa capacidade de movimentação no solo, corrigindo apenas onde foi incorporado. O íon carbonato (CO_3^{2-}) que acompanha o cálcio, depois de neutralizar a acidez é convertido em CO_2 e escapa para atmosfera. O cálcio fica ligado nas cargas negativas das argilas.

A correção da acidez em profundidade, mediante aplicação de calcário superficial em doses maiores do que as recomendadas causarão desbalanceamento nutricional na superfície e será inconveniente, já que a movimentação de bases poderá ser lenta e incerta, dependendo da quantidade de água, do calcário aplicado e do tipo de solo (Pavan et al., 1984 e Soprano, 1986).

Os ânions, como cloretos, sulfatos, nitratos, silicatos liberados da decomposição de restos vegetais na superfície contribuem para a movimentação de cálcio e magnésio em profundidade, e em menor grau de outros cátions (Caires et al., 1999; Rheinheimer et al., 2000).

Castro (1988) afirma que a calagem em plantio direto é ainda uma questão polêmica. Embora se recomende calagem com incorporação profunda antes de iniciar o plantio direto, com o passar dos anos há uma redução nos valores de pH e, em alguns casos problemas com o Al^{3+} . Alguns produtores têm feito aplicação de doses mais leves de calagem sem incorporação. Aplicação de doses pesadas de corretivos na superfície pode elevar excessivamente o pH com prejuízos para absorção de nutrientes principalmente de micronutrientes. Contudo, pesquisas mais recentes visando equacionar este problema estão sendo desenvolvidas. Sá (1993) trabalhando solos dos Campos Gerais, município de Ponta Grossa PR, com plantio direto a partir do primeiro ano com aplicação de calcário sobre a vegetação de gramíneas original sem incorporação, não constataram queda de produção da

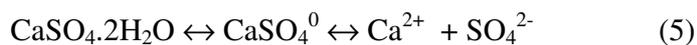
soja em relação a outras áreas previamente corrigidas e adubadas em profundidades. Este pesquisador observou ainda que a aplicação superficial do calcário corrigiu a acidez e adicionou bases em profundidades. Isto foi possível, graças aos canalículos produzidos pelo sistema radicular em decomposição e à atividade dos microorganismos e pedofauna.

2.8. Gessagem

O gesso agrícola é um subproduto da produção de ácido fosfórico. Quando a rocha fosfática é atacada com ácido sulfúrico resulta de um lado o ácido fosfórico e por outro lado o sulfato de cálcio diidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), que possui 30% de CaO e 17% de enxofre (Malavolta, 1989).

O gesso agrícola constitui uma importante fonte de S para as plantas. De acordo com Malavolta (1989), o uso de gesso como fonte de S é recomendado sempre que o solo apresentar teores muito baixos ($5 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) ou baixos ($6-10 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) de S disponível e não forem empregadas outras fontes do elemento, como sulfato de amônio e fosfato super simples.

Dada a característica de alta mobilidade do gesso no perfil do solo (Equação 5), carregando consigo bases de interesse nutricional e imobilizando o alumínio tóxico (Equação 6), este poderá melhorar o padrão de fertilidade em profundidade em solos submetidos ao plantio direto já no primeiro ano de produção agrícola (Pavan et al., 1984) e (Raij, 1988).



Pesquisadores como Pavan et al. (1984) e Soprano (1986) têm encontrado maior empobrecimento em Ca, Mg e K, na camada superficial do solo, quando o gesso é usado em doses mais elevadas, promovendo, no entanto, aumentos dessas bases na camada mais interna do perfil do solo. Salientam, no entanto, que esta situação pode favorecer maior crescimento radicular em profundidade e com isso aumentar a produção, principalmente em condições de estresse hídrico, quando o solo não apresenta restrição física ao crescimento de raízes.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

O pesquisa de campo teve início no ano agrícola 200/2001, foi instalado na Fazenda Experimental do Glória, pertencente à Universidade Federal de Uberlândia, município de Uberlândia-MG, posição geográfica 18° 58' 0,7" latitude Sul e 48° 12' 24,6" longitude Oeste, altitude de 830 m.

O clima predominante, segundo classificação de Köppen, é o Aw, que se caracteriza como um clima tropical chuvoso (clima de savana), megatérmico, com inverno seco. A temperatura do mês mais frio é superior a 18°C e a precipitação do mês mais seco é inferior a 60 mm. A precipitação pluviométrica média é de 1.550 mm anuais, caracterizada por um período chuvoso de seis meses (outubro a março), sendo que nos meses de janeiro e dezembro a quantidade precipitada pode atingir de 600 a 900 mm. Julho e agosto são os meses mais secos.

O regime de umidade do solo de acordo com a "Soil Taxonomy" é o "ustic", caracterizado por apresentar a diferença entre as temperaturas médias do verão e do inverno inferior a 5°C e o número de dias acumulados secos, superior a 90 e inferior a 180 dias. A

temperatura média do solo a 50 cm de profundidade está em torno de 22°C, sendo classificado pela "Soil Taxonomy" como "Isohyperthermic" (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, 1982). A unidade principal de solo é o Latossolo Vermelho distrófico típico (EMBRAPA, 1999).

O experimento foi instalado em solo originalmente sob vegetação de cerrado, mas sob uso de pastagem com sinais visíveis de degradação. Após definição da área, o solo foi amostrado e caracterizado na camada de 0-20 cm (Quadro 1) para definição da necessidade de calagem, gessagem e adubação química com base na 5ª aproximação da Comissão de Fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais - CFSEMG, (1999).

Quadro 1 – Análise química e textural de material de solo coletado na profundidade 0-20 cm de um Latossolo Vermelho, na Fazenda Experimental do Glória, Uberlândia-MG, 2000.

PH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	V	M.O.	Areia	Silte	Argila
	mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³					%	g kg ⁻¹		
5,2	1,0	31	0,2	0,1	0,6	4,0	8	2,1	550	30	420

PH em água (1:2,5); P e K método de extração Mehlich-1; Ca, Mg e Al método de extração KCL 1N; H+AL método de determinação Ca(Oac)₂ pH 7,5; Matéria Orgânica método Yeomans e Bremner; Areia, silte e argila método NaOH 0,1 N.

As parcelas experimentais com área de 275 m², (11x25 m), foram dispostas em um delineamento de blocos casualizados com quatro repetições, as quais receberam seguintes modos de aplicação de calcário e/ou gesso com e/ou sem mecanização para incorporação do(s) condicionadores químicos :

- 1) Sistema de Manejo em Cultivo Convencional, com duas gradagens pesadas e duas niveladas básicas com aplicação de calcário + gesso agrícola incorporados (CCCG);

- 2) Sistema de Manejo em Cultivo Convencional, com duas gradagens pesadas e duas niveladas básicas com calcário incorporado (CCC);
- 3) Sistema de Manejo com Ausência de Preparo do Solo e calcário+gesso agrícola aplicado na superfície, sem incorporação (APCG);
- 4) Sistema de Manejo em Cultivo Mínimo, com a utilização de escarificador com hastes de molas espaçadas de 0,5 cm, mobilizando de 0-10 cm no perfil do solo, com calcário parcialmente incorporado (CMC);
- 5) Sistema de Manejo em Cultivo Mínimo, com a utilização de escarificador com dentes de molas espaçadas de 0,5 cm, mobilizando de 0-10 cm no perfil do solo, com calcário+ gesso agrícola parcialmente incorporado (CMCG);
- 6) Sistema de Manejo com Ausência de Preparo do Solo e calcário aplicado na superfície, sem incorporação, (APC);
- 7) Sistema de Manejo em Plantio Direto com calcário+gesso agrícola incorporado com grade no primeiro ano agrícola e sem revolvimento do solo a partir do 2º ano de pesquisa (PDCG).

A seqüência de uso e manejo da área experimental para condução da pesquisa foi a seguinte:

3.1. Cultura do milho, ano agrícola 2000/2001

Com base nos resultados da análise de solo (Quadro 1), calculou-se a quantidade de calcário dolomítico a ser aplicada pelo método de neutralização do Al^{3+} e da elevação dos teores de $Ca^{2+} + Mg^{2+}$, (CFSEMG, 1999) que correspondeu a 120 Kg parcela⁻¹ (4,4 t ha⁻¹) para as parcelas a serem instalados os sistemas de manejo em cultivo convencional e do

plantio direto para os próximos anos e, de 30 Kg parcela⁻¹ (1,1 t ha⁻¹) para os sistemas de cultivo mínimo e ausência de preparo do solo.

A quantidade de gesso agrícola foi calculada com base na textura do solo, (CFSEMG, 1999), na profundidade de 0-20 cm (Quadro 2), que correspondeu a 25,5 Kg parcela⁻¹ (0,9 t ha⁻¹) para os sistemas de manejo cultivo convencional e plantio direto e de 12,76 Kg parcela⁻¹ (0,46 t ha⁻¹) para os sistemas de manejo de cultivo mínimo e ausência de preparo do solo. As diferenças nas doses de aplicação de calcário e gesso agrícola foram devidas às diferenças de incorporação do corretivo, de 0-20 cm de profundidade para os sistemas de manejo de cultivo convencional e plantio direto e de 0-10 cm de profundidade para os sistemas de manejo de cultivo mínimo e ausência de preparo do solo.

Nas parcelas com ausência de preparo e cultivo mínimo, aplicou-se herbicida Glifosato Nortox (Glyphosate, 480 g L⁻¹), na dosagem de 4,5L ha⁻¹, para dessecação da braquiária.

A semeadura do milho (híbrido C-911 da Dekalb), foi realizada com semeadora-adubadora de plantio direto SHM 17, espaçamento entre linhas de 0,80 m e 5 plantas de milho por metro linear. A adubação de semeadura foi de 366 Kg do formulado 04-30-16 por hectare, a qual correspondeu à aplicação de 110 Kg ha⁻¹ de P₂O₅, 59 Kg ha⁻¹ de K₂O e 16 Kg ha⁻¹ de N.

3.2. Cultura da soja, ano agrícola 2001/2002.

A amostragem de solo das parcelas para este ano agrícola foi feita em agosto de 2001, nas profundidades de 0-10 cm, para as parcelas de cultivo mínimo e ausência de preparo do solo, e 0-20 cm, para o cultivo convencional e plantio direto (Quadro 2). A

partir deste ano agrícola teve início as avaliações das parcelas no sistema de plantio direto, devido à sua maior fertilidade e suas melhorias físicas proporcionada pela incorporação profunda no ano anterior.

Quadro 2 – Quantidade de calcário e gesso agrícola aplicado nas parcelas experimentais, em Latossolo Vermelho, em Uberlândia-MG, para elevar a saturação por base (V) a 50% nas parcelas, ano agrícola 2001/2002.

Tratamentos	V(%)	Calcário dolomítico – Kg	Gesso agrícola - Kg
CCCG	38,31	15,52	25,52
CCC	33,50	24,14	-----
APCG	16,06	26,29	12,76
CMC	15,79	29,09	-----
CMCG	21,63	22,41	12,76
APC	20,85	26,29	-----
PDCG	33,62	11,64	12,76

Para estudo da dinâmica dos teores de fósforo, enxofre e carbono orgânico da área experimental, a coleta foi realizada nas profundidades de 0-5, 5-15 e 15-30 cm.

As amostras de solo, após preparo em laboratório, foram submetidas as seguintes determinações: Fósforo por colorimetria, após extração com Mehlich-1; Enxofre extração com fosfato de cálcio monobásico 0,01 mol L⁻¹ e determinação no espectrofotômetro UV-visível, utilizando o método do cloreto de bário e carbono orgânico total - COT, oxidação da matéria orgânica, via úmida, utilizando-se solução de dicromato de potássio em meio ácido, de acordo com metodologia proposta por Yeomans e Bremner (1988).

Antecedendo a semeadura da soja, procedeu-se a roçagem da braquiária nas parcelas de cultivo mínimo, ausência de preparo e plantio direto. Em seguida foi aplicado calcário dolomítico e o gesso agrícola com incorporação total e parcial na profundidade de 0 – 20 cm nos sistemas de manejo convencional e cultivo mínimo e sem incorporação (superficial) nos sistema plantio direto e ausência de preparo. Para estes dois últimos sistemas de manejo do solo adotou-se a profundidade de 0 – 10 cm para cálculo da necessidade de corretivos químicos.

A quantidade de gesso agrícola foi calculada com base na textura do solo, (CFSEMG, 1999), na profundidade de 0-20 cm (Quadro 2), que correspondeu a 25,5 kg parcela⁻¹ (0,9 t ha⁻¹) para os sistemas de manejo de cultivo convencional e plantio direto e de 12,76 kg parcela⁻¹ (0,46 t ha⁻¹) para os sistemas de manejo de cultivo mínimo e ausência de preparo do solo.

As sementes de soja receberam antes da semeadura os seguintes tratamentos: fungicida (Carboxin 200 g L⁻¹ e Thiram 200 g L⁻¹), na dose de 250 mL 100 kg⁻¹ de sementes; peletização com Nutrioxi CoMo 10 , como fonte de cobalto e molibdênio, na dose de 200 mL 100 kg⁻¹ de sementes e inoculante turfoso em pó Nital Urbana (*Bradyrhizobium japonicum* – Semia 587 e Semia 5019), na dose de 275 g 100 kg⁻¹ de sementes.

A semeadura da soja, cultivar MSOY 8001, foi realizada utilizando semeadora de plantio direto SHM 17, com espaçamento de 0,45 m e 18 plantas por metro linear e adubação de 400 kg ha⁻¹ do formulado 0 – 30 - 15. Foi realizada uma adubação em cobertura aos 30 dias após a semeadura da soja com 60 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio.

A segunda coleta de solo, para avaliação da disponibilidade de fósforo, enxofre e carbono orgânico total, no ano agrícola de 2001/02, nas profundidades de 0-5, 5-15 e 15-30 cm, foi realizada 70 dias após a semeadura da soja, ou seja, no período das águas. Nesta época, a soja encontrava-se no estágio R5, ou seja, no enchimento de vagens.

Além dos resultados analíticos do solo, referentes a duas coletas, avaliaram-se também o rendimento de grãos de soja para os diferentes sistemas de preparo e manejo do solo associado à aplicação de corretivo. Após a colheita da soja foi mantida uma cobertura de inverno (*Brachiaria decumbens*) com o intuito de fornecer palhada superficial para os cultivos de plantio direto, cultivo mínimo e ausência de preparo do solo.

3.3. Cultivo do milho, ano agrícola 2002/2003.

No mês de setembro de 2002, coletou-se amostras de solo na profundidade de 0-20 cm em todas as parcelas experimentais exceto nas parcelas submetidas ao sistema de manejo cultivo mínimo onde as amostras coletadas foram de 0-10 cm para (Quadro 3) fins de avaliação da necessidade de calagem, gessagem e adubação química, visando o cultivo do milho no ano agrícola 2002/2003.

Quadro 3 – Quantidade de calcário e gesso agrícola aplicado nas parcelas experimentais, em Latossolo Vermelho, em Uberlândia-MG, para elevar a saturação por base (V) a 60% nas parcelas, ano agrícola 2002/2003.

Tratamentos	V(%)	Calcário dolomítico – Kg	Gesso agrícola - Kg
CCCG	60,94	---	25,52
CCC	57,89	3,00	-----
APCG	36,92	35,60	12,76
CMC	36,58	36,49	-----
CMCG	34,90	38,71	12,76
APC	31,21	50,77	-----
PDCG	48,11	17,33	12,76

Neste mês, procedeu-se a roçagem da braquiária nas parcelas de cultivo mínimo, ausência de preparo e plantio direto, visando maior eficiência do Glyphosate, 480 g L⁻¹, aplicado na dosagem de 4L ha⁻¹. Em seguida aplicou-se o calcário dolomítico nas parcelas experimentais (Quadro 3) visando atingir 50% da saturação por bases em todos os tratamentos, baseado nos resultados analíticos (Quadro 3).

A incorporação do calcário e calcário + gesso agrícola foi realizada com grade pesada e escarificador, respectivamente, para as parcelas de cultivo convencional e cultivo mínimo. Nas parcelas de ausência de preparo e plantio direto os(s) corretivos(s) não foram incorporados.

A terceira época de coleta de solo nas profundidades de 0-5, 5-15 e 15-30 cm para avaliação dos teores de fósforo, enxofre e carbono orgânico total foi realizado no período seco, 20 dias antes da semeadura do milho.

Em novembro de 2002 realizou-se a semeadura do milho híbrido NB-7240 – HE da empresa Syngenta, utilizando semeadora de plantio direto SHM 17, com espaçamento entre linhas de 0,90 m e 6 plantas de milho por metro linear. A adubação de semeadura foi de 400 kg ha⁻¹ do formulado 04-30-16 + 0,2 Zn, correspondendo à aplicação de 16 kg ha⁻¹ de N, 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 64 kg ha⁻¹ de K₂O e 0,8 kg ha⁻¹ de Zn.

Na adubação de cobertura aplicou-se 19,25 kg parcela⁻¹ de sulfato de amônio, o que corresponde a 140 kg ha⁻¹ de N.

Oitenta e cinco dias após a semeadura do milho, ou seja, no período das águas, foi realizado a quarta e a última coleta de solo na profundidade de 0-5, 5-15 e 15-30 cm. O milho se encontrava no estágio R2, ou seja, grãos leitosos.

Além dos resultados analíticos do solo, referente a duas coletas, avaliou-se também o rendimento de grãos de milho para os diferentes sistemas de preparo e manejo do solo associado à aplicação de corretivo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Teores de fósforo

4.1.1. Teores de fósforo no solo em janeiro, período de crescimento vegetativo do milho.

Nas profundidades de 0-5 e 5 – 15 cm, na época das chuvas, ou seja, no crescimento vegetativo das plantas (Janeiro/2002), verifica-se (Tabela 1) que os teores de fósforo não diferem significativamente entre os sistemas de manejo do solo, independente da associação do gesso agrícola ao calcário, com exceção do sistema de manejo em cultivo mínimo com aplicação isolada de calcário (Figura 1), onde a quantidade de fósforo disponível foi a menor.

Para a profundidade de 5 a 15 cm tanto os tratamentos de manejo do solo como os de aplicação de corretivos com e sem gesso agrícola não diferiram entre si, percebe-se que o sistema de manejo convencional apresentou praticamente a metade dos teores verificado para o sistema ausência de preparo. Esta drástica redução no sistema que implica em revolvimento do solo deve-se a melhor homogeneização do fertilizante, onde pode tornar-se mais efetivo o processo de fixação e adsorção de fósforo.

Embora não tenha ocorrido estatisticamente diferença significativa em janeiro profundidade 5-15 cm quanto aos valores de fósforo entre os tratamentos de manejo do solo (Tabela 1), vários autores têm mostrado que os sistema de manejo do solo pode influenciar significativamente os teores disponíveis (Muzilli,1983).

Para a profundidade de 15 a 30 cm, conquanto não seja observado (Tabela 1) diferenças significativas para tratamentos de manejo do solo e modo de aplicação do corretivo (com e sem gesso agrícola), verifica-se teores significativamente menores do que os verificados nas camadas de 0 a 5 e 5 a 15 cm, evidenciando além da aplicação e mineralização superficial a baixa mobilidade do fósforo no solo, como amplamente descrito na literatura (Jorge, 1983).

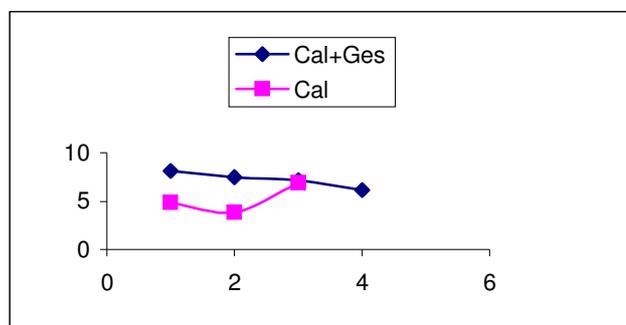


FIGURA 1- Teores médios de fósforo em janeiro, profundidade 0-5 cm, Fazenda Experimental do Glória, UFU, em diferentes sistemas de manejo e aplicação de corretivos. Ano agrícola 2002/2003

4.1.2. Teores de fósforo no solo em julho, período de entressafra e seco

Na profundidade de 0 - 5 cm a Tabela 1 evidencia que o sistema de cultivo convencional com correção do solo com calcário isolado foi o tratamento que proporcionou a menor quantidade de fósforo disponível para este período, enquanto que o sistema em plantio direto e correção do solo com calcário associado o gesso foi o que apresentou a maior quantidade. O revolvimento do solo, promovido no plantio convencional, permite maior contato desse nutriente com o solo, implicando em maior fixação e conseqüentemente em menores teores na camada superficial, em relação aos manejos que não revolvem o solo, uma vez que a fixação de fósforo é intensificada naquele sistema de manejo conforme enfatizado por Sá, 1999. Situação semelhante pode também ser visualizada na camada de 5-15 cm, onde o revolvimento do solo pode estar influenciando os níveis de fósforo, porém, em menor intensidade.

Na profundidade de 5-15 cm, quando aplicou-se calcário associado ao gesso agrícola os maiores teores de fósforo foram encontrados nos sistemas conservacionistas: ausência de preparo, plantio direto e cultivo mínimo. Quando aplica-se calcário isoladamente os teores não diferem entre si.

Para a profundidade de 15 a 30 cm verifica-se (Tabela 1) que a exemplo do observado para o período das chuvas (janeiro) os teores foram muito baixo e não diferiram entre os tratamentos de manejo do solo e a presença de gesso associado ao calcário.

Fato marcante que pode ser visualizado, na Tabela 1, é que a quantidade de fósforo disponível no solo, no período de entressafra (julho), é significativamente maior do que ao período de maior umidade do solo, embora o déficit hídrico no período seco possa

constituir sérios obstáculos a mineralização da matéria orgânica do solo que é principal fonte natural de fósforo prontamente disponível.

Considerando que no período das águas (janeiro) além da adubação mineral de plantio com 120 Kg ha^{-1} de P_2O_5 a mineralização da matéria orgânica é mais intensa com produção substancial de fósforo pode-se supor que os drenos pela cultura e as condições de adsorção/imobilização pela fração mineral e organismos vivos contribuem de modo significativo para sua baixa disponibilidade no solo no período agrícola.

Teores maiores de fósforo no período seco podem também ser devido aos restos de palhada deixada superficialmente, o que mostra a cultura devolvendo nutrientes ao solo.

Segundo Sá (1993) os níveis de fósforo podem variar em função da época de coleta, do processo de adsorção e em função da absorção tanto da cultura de cobertura (braquiária) como da cultura principal.

Tabela 1 – Teores médios de fósforo, Fazenda Experimental do Glória, UFU, em diferentes sistemas de manejo e aplicação de corretivos. Ano agrícola 2002/2003.

Manejo ⁽¹⁾	0-5 cm		5-15 cm		15-30 cm	
	Corretivo ⁽²⁾		Corretivo ⁽²⁾		Corretivo ⁽²⁾	
	Cal+Ges	Cal	Cal+Ges	Cal	Cal+Ges	Cal
Fósforo Disponível (mg.dm⁻³) Janeiro de 2003, CV (%) = 19.2						
CC	8,1 a	4,9 ab	5,9 ab	7,5 a	1,3 bc	1,1 c
CM	7,5 a	3,9 bc	8,1 a	7,7 a	1,1 c	1,1 bc
AP	7,2 a	6,9 a	10,4 a	7,1 a	1,1 c	1,0 c
PD	6,1 ab		9,5 a		1,5 bc	
Fósforo Disponível (mg.dm⁻³) Julho de 2003, CV (%) = 17.3						
CC	19,0 ab	14,4 b	13,1 b	21,0 ab	2,1d	3,4 cd
CM	22,0 a	16,2 a	20,1 ab	12,8 bc	2,4 d	3,6 cd
AP	20,0 ab	16,2 a	26,7 ab	16,2 b	3,4 cd	2,2 d
PD	22,3 a		20,3 ab		2,5 d	

⁽¹⁾ CC: Cultivo Convencional; CM: Cultivo Mínimo; AP: Ausência de Preparo do Solo; PD: Plantio Direto. ⁽²⁾ Cal: Calcário; Cal+Ges; Calcário+Gesso. Médias seguidas de letras iguais na horizontal e na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%. OBS: Médias originais, com análise estatística e dados transformados pela $\sqrt{x+1}$

4.2. Teores de enxofre

4.2.1. Teores de enxofre no solo em janeiro, período de crescimento vegetativo do milho

Os teores de enxofre não diferem entre si na época das águas para a profundidade de 0 -5 cm, mesmo quando a aplicação de calcário foi associada a aplicação do gesso agrícola (Tabela 2). Neste caso é possível que a quantidade de gesso aplicada não foi suficiente para aumentar os teores de S-SO₄⁻. Soma-se a isso, a absorção de enxofre pela cultura de

cobertura e a baixa precipitação que ocorreu até outubro não contribuindo para formação de um gradiente de teores de enxofre no perfil do solo.

Na profundidade de 5 -15 cm quando associou-se a aplicação de calcário ao gesso agrícola o maior valor de $S-SO_4^-$ foi encontrado no sistema ausência de preparo que não diferiu de cultivo mínimo (Figura 2). Observa-se que o sistema em cultivo convencional e o plantio direto também não diferiram entre si e proporcionaram o menor teor de enxofre nesta profundidade (Figura 2).

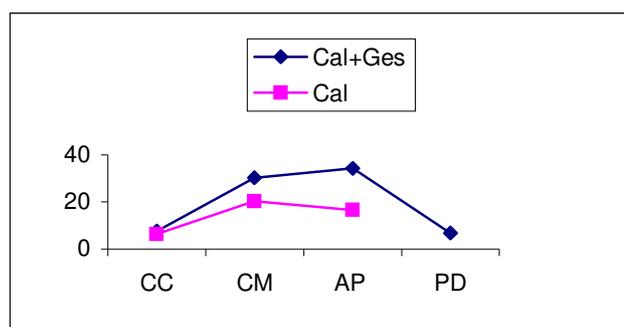


FIGURA – 2 Teores médios de enxofre em janeiro, profundidade 5-15cm, Fazenda Experimental do Glória, UFU, em diferentes sistemas de manejo e aplicação de corretivos. Ano agrícola 2002/2003.

Para a profundidade de 15 - 30 cm os sistemas de cultivos mínimo convencional e plantio direto não diferem entre si tanto na condição de calcário como de calcário+gesso agrícola e produziram teores no solo significativamente maiores do que o sistema ausência de preparo do solo (Figura 3).

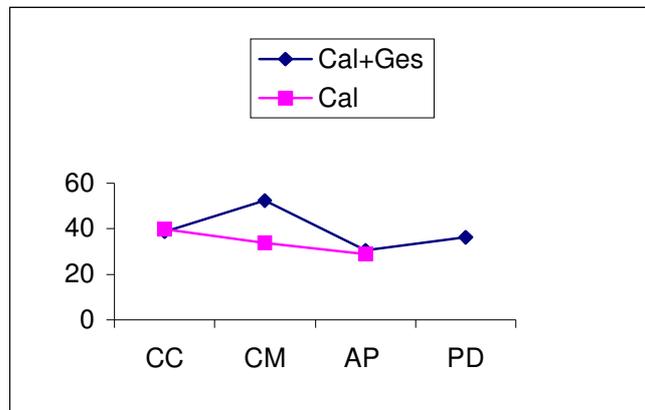


FIGURA - 3 Teores médios de enxofre em janeiro, profundidade 15-30cm, Fazenda Experimental do Glória, UFU, em diferentes sistemas de manejo e aplicação de corretivos. Ano agrícola 2002/2003.

Os dados da Tabela 2 permitem identificar, ainda, que os teores de enxofre no período das águas (janeiro) foram significativamente crescentes com a profundidade, independente da aplicação ou não de gesso agrícola. Esta constatação parece evidenciar que o enxofre proveniente da decomposição da matéria orgânica ou do adubo mineral de plantio ou de cobertura apresentou certa facilidade em movimentar-se no perfil do solo.

Os menores valores de enxofre encontrados na profundidade de 0 - 15 cm podem ser devido a matéria orgânica estar em maior quantidade na superfície do solo e possuir cargas negativas, que em contato com o íon $S-SO_4^-$, também possui cargas negativas, se repelem induzindo assim ao $S-SO_4^-$, maior mobilidade no solo, indo para as camadas mais profundas onde fica adsorvido nas argilas.

4.2.2. Enxofre no solo em julho, período de entressafra e seco

Na época da seca (julho), quando associa-se calcário ao gesso agrícola ou mesmo com aplicação somente de calcário, percebe-se que para a profundidade de 0 - 5 cm não há diferença significativa entre os sistemas de manejo, embora perceba-se que o sistema de cultivo ausência de preparo tende a favorecer maiores teores no solo e o sistema de manejo convencional o menor (Tabela 2). A ausência de revolvimento do solo no sistema ausência de preparo, provavelmente promoveu uma maior concentração do gesso na região superficial, e já o cultivo convencional permitiu uma melhor distribuição no perfil intensificando o processo de movimentação do ânion sulfato no solo.

Na camada de 5 -15 cm os cultivos que proporcionaram menor movimentação de solo foram também os que obtiveram valores superiores de $S-SO_4^-$, principalmente em relação ao cultivo convencional (Figura 4).

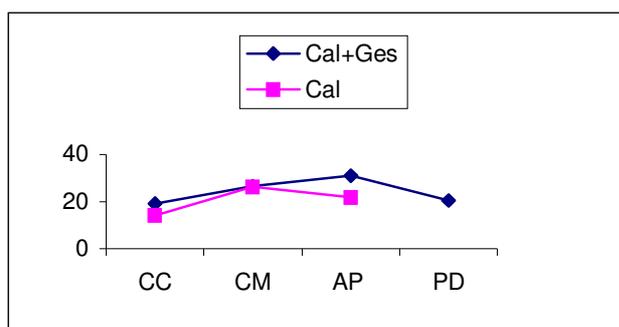


FIGURA – 4 Teores médios de enxofre em julho, profundidade 5-15 cm, Fazenda Experimental do Glória, UFU, em diferentes sistemas de manejo e aplicação de corretivos. Ano agrícola 2002/2003.

Para a profundidade de 5-15 cm o maior teor de $S-SO_4^-$ foi encontrado no sistema ausência de preparo que por sua vez não difere de cultivo mínimo quando associa-se a aplicação de calcário ao gesso agrícola. Quando aplica-se apenas calcário, percebe-se que os diferentes sistemas de manejo não diferem entre si (Tabela 2).

Na profundidade de 15-30 cm percebe-se (Tabela 2) independente da associação ou não do gesso agrícola ao calcário os teores de $S-SO_4^-$ não diferiram entre os sistemas de manejo estudados, com exceção do sistema convencional que apresentou teores significativamente menores (Figura 5).

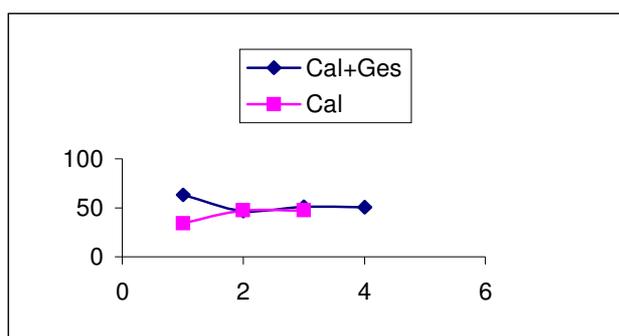


Figura – 5 Teores médios de enxofre em julho, profundidade 15-30 cm, Fazenda Experimental do Glória, UFU, em diferentes sistemas de manejo e aplicação de corretivos. Ano agrícola 2002/2003.

Teores menores no solo nesta profundidade, vem evidenciar a importância da correção da acidez e da fertilização na promoção do crescimento radicular em profundidade, levando a melhor absorção do $S-SO_4^-$. Deve-se considerar, também, que na camada de 15-30 cm ocorreu menor influência dos sistemas de manejo, uma vez que implementos como arado de disco e grade aradora atingem em média a profundidade de 20

cm, não havendo diferença significativa entre os sistemas de manejo; pois a mobilidade do $S-SO_4^-$ no solo é influenciada principalmente por sua concentração na solução, reações com a fase sólida e pela quantidade de água percolada no perfil (Soprano,1986).

Percebe-se, ainda, pela Tabela 2, que diferentemente do que ocorreu com os teores de fósforo (Tabela 1) a quantidade de $S-SO_4^-$ disponível não aumentou no período da seca (julho) em relação ao período das águas. Este fato provavelmente esteja relacionado com a menor atividade microbiológica para o período, principal fonte que disponibiliza enxofre.

Tabela 2 – Teores médios de enxofre, Fazenda Experimental do Glória, UFU, em diferentes sistemas de manejo e aplicação de corretivos. Ano agrícola 2002/2003.

Manejo ⁽¹⁾	0-5 cm		5-15 cm		15-30 cm	
	Corretivo ⁽²⁾		Corretivo ⁽²⁾		Corretivo ⁽²⁾	
	Cal+Ges	Cal	Cal+Ges	Cal	Cal+Ges	Cal
S-SO₄ (mg.dm⁻³) Janeiro de 2003, CV (%) =13.8						
CC	6,9 ed	2,3 e	7,7 de	6,3 e	38,8 a	39,8 a
CM	7,4 ed	4,4 e	30,2 bc	20,2 c	52,2 a	33,8 ab
AP	6,6 ed	4,3 e	34,3 ab	16,7 cd	30,7 bc	29,0 bc
PD	6,8 e		6,8 de		36,2 a	
S-SO₄ (mg.dm⁻³) Julho de 2003, CV (%) = 14						
CC	4,5 d	4,3 cd	19,1 c	14,1 cd	63,4 a	34,2 b
CM	11,2 d	6,4 d	26,5 bc	26,4 bc	46,7 ab	47,2 ab
AP	12,2 d	17,5 cd	31,1 b	22,0 c	51,2 a	47,7 ab
PD	7,4 d		20,4 c		50,7 a	

⁽¹⁾ CC: Cultivo Convencional; CM: Cultivo Mínimo; AP: Ausência de Preparo do Solo; PD: Plantio Direto. ⁽²⁾ Cal: Calcário; Cal+Ges; Calcário+Gesso. Médias seguidas de letras iguais na horizontal e na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%. OBS: Médias originais, com análise estatística e dados transformados pela $\sqrt{x+1}$

4.3. Teores de carbono orgânico

4.3.1. Carbono orgânico no solo em janeiro, período de crescimento vegetativo do milho

Na profundidade de 0 – 5 cm, percebe-se, no período das águas, com a cultura em fase de máxima absorção, os tratamentos que apresentaram maiores valores de carbono orgânico total com associação calcário + gesso foram cultivo mínimo e o menor teor foi encontrado no plantio direto (Tabela 3). Quando aplicou-se calcário isoladamente o maior valor de carbono ocorreu no cultivo convencional.

Para a profundidade de 15-30 cm tanto com a aplicação de calcário isoladamente quanto calcário associado ao gesso agrícola os teores de carbono foram maiores no cultivo convencional . O mesmo comportamento foi observado para a profundidade 15-30 cm.

O menor teor de carbono encontrado no sistema plantio direto em todas as profundidades, no período das águas, está relacionado com o revolvimento do solo praticado para construção da fertilidade em profundidade por ocasião da implantação da pesquisa. Esta incorporação bem como a melhor fertilidade pode ter provocado maior atividade dos organismos decompositores. O mesmo comportamento foi observado para a profundidade 15-30 cm.

4.3.2. Teores de carbono orgânico no solo em julho, período de entressafra e seco

Para a coleta de julho 2003, ou seja, no período seco e resteva sobre a superfície do solo, observa-se que na profundidade de 0-5cm os maiores teores foram encontrados no tratamento cultivo mínimo com calcário + gesso. Quando aplicou-se calcário isoladamente não se observa diferença estatística entre os tratamentos.

Já, para a profundidade 5-15 e de 15 a 30 cm, os maiores valores de carbono orgânico total foram encontrados no tratamento cultivo convencional com calcário. Esta predominância de maiores teores de carbono orgânico total ao longo do perfil em sistemas de cultivos com revolvimento de solo pode ser justificada pelo efeito do maior aporte de matéria orgânica proveniente do maior desenvolvimento tanto radicular em profundidade como da parte aérea.

O aumento significativo dos teores de carbono orgânico total na segunda época de amostragem deve-se ao fato de que em janeiro de 2003 a oferta de água e os drenos dos nutrientes produzidos pela decomposição da matéria orgânica, favorecem o seu esgotamento, o mesmo não ocorrendo no período seco, quando o déficit hídrico, a baixa temperatura, resto da cultura do milho e a presença da cobertura de braquiária ambos com alta relação C/N favorecem o acúmulo de matéria orgânica. Conclui-se que em condições de temperatura e umidade do solo (janeiro) o cultivo convencional favorece maior acúmulo de carbono orgânico total e o plantio direto o menor. A cobertura de braquiária, a baixa temperatura e atividade dos microorganismos favoreceu o maior acúmulo de carbono orgânico total no período seco.

Tabela 3 - Teores médios de COT, Fazenda Experimental do Glória, UFU, em diferentes sistemas de manejo e aplicação de corretivos. Ano agrícola 2002/2003

Manejo ⁽¹⁾	0-5 cm		5-15 cm		15-30 cm	
	Corretivo ⁽²⁾		Corretivo ⁽²⁾		Corretivo ⁽²⁾	
	Cal+Ges	Cal	Cal+Ges	Cal	Cal+Ges	Cal
COT (g Kg⁻¹) Janeiro de 2003, CV (%) = 10.8						
CC	17,2 bc	17,6 ab	19,3 a	19,0 ab	19,6 a	19,5 a
CM	20,3 a	13,3 cde	12,0 de	14,3 cd	13,9 cd	13,3 de
AP	14,2 dc	10,9de	15,0 bc	10,5 de	9,6 e	11,2 de
PD	10,0 e		11,5 de		11,1 de	
COT (g Kg⁻¹) Julho de 2003, CV (%) = 12.8						
CC	18,8 b	26,1 a	21,7 ab	27,3 a	22,4 ab	28,8 a
CM	27,1 a	21,5 ab	22,4 ab	18,8 b	24,1 ab	18,1 b
AP	23,4 ab	23,2 ab	23,7 ab	21,8ab	23,1ab	23,1 ab
PD	23,8 ab		25,6 ab		23,1 ab	

⁽¹⁾ CC: Cultivo Convencional; CM: Cultivo Mínimo; AP: Ausência de Preparo do Solo; PD: Plantio Direto. ⁽²⁾ Cal: Calcário; Cal+Ges; Calcário+Gesso. Médias seguidas de letras iguais na horizontal e na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%. OBS: Médias originais, com análise estatística e dados transformados pela $\sqrt{x+1}$

4.4. Produtividade do milho

Os melhores resultados de produtividade de grãos de milho foi obtido no sistema de manejo cultivo convencional (Figura 1). O sistema de ausência de preparo apresentou-se sendo o menos produtivo. Os sistemas plantio direto e cultivo mínimo obtiveram produtividade medianas, não diferenciando estatisticamente entre si. A aplicação conjunta

calcário + gesso agrícola mostrou-se mais eficaz no incremento da produtividade do milho em relação a utilização apenas de calcário (Figura 2).

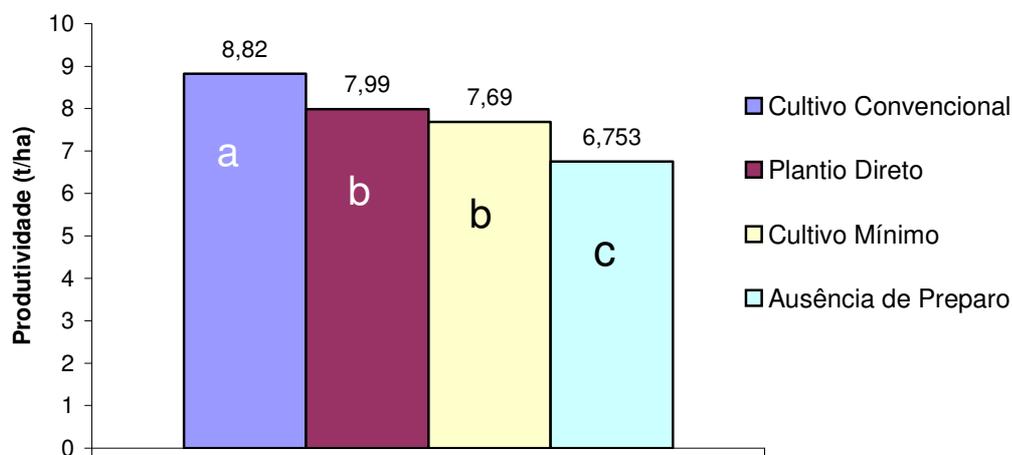


FIGURA 6 – Influência dos sistemas de preparo do solo sobre a produção de grãos de milho. Fazenda Experimental do Glória, UFU-MG. Ano Agrícola 2002/2003. Colunas com as mesmas letras não diferem entre si (Tukey 5%).

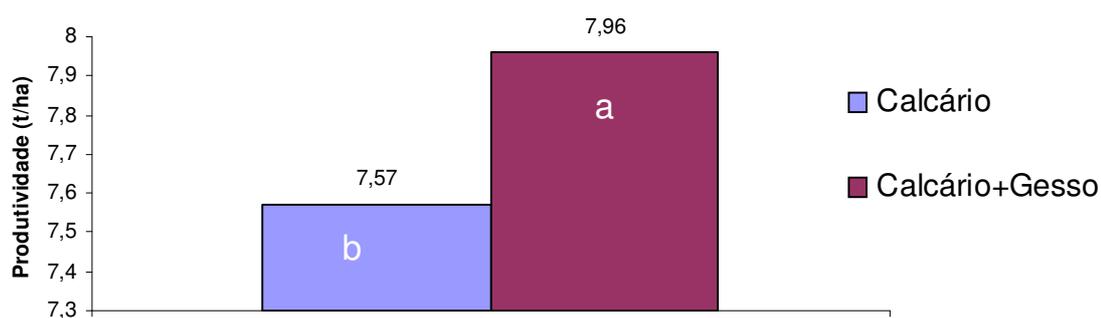


FIGURA 7 – Influência do uso de calcário e calcário + gesso sobre a produção de grãos Milho. Fazenda Experimental do Glória, UFU, MG. Ano agrícola 2002/03. Colunas com as mesmas letras não diferem entre si (Tukey 5%).

5. CONCLUSÕES

O sistema de manejo convencional pode favorecer tanto a absorção quanto a fixação, apresentando menores teores em relação aos outros sistemas de manejo.

A quantidade de fósforo disponível foi significativamente menor na camada de 15-30 cm nos sistemas conservacionistas como plantio direto e ausência de preparo, sendo que a máxima quantidade de fósforo foi observado no período da seca.

O gesso foi efetivo em agregar o $S-SO_4^-$ em todo período das águas nas camadas estudadas, mas, com maiores quantidades nos sistemas de manejo cultivo mínimo e ausência de preparo. A quantidade de enxofre recuperado foi maior no período das águas quando comparado ao período seco (julho).

Em condições de temperatura e umidade do solo (janeiro) o cultivo convencional favorece maior acúmulo de carbono orgânico total e o plantio direto o menor. A cobertura de braquiária, a baixa temperatura e atividade dos microorganismos favoreceu o maior acúmulo de carbono orgânico total no período seco.

A produtividade do milho foi maior no cultivo convencional, enquanto o sistema de ausência de preparo do solo apresentou a menor. Quando associou-se a aplicação de calcário ao gesso agrícola a produtividade do milho apresentou-se superior.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F.S. de ; RODRIGUES, B.N. **Guia de herbicidas: recomendações para o uso adequado em plantio direto e convencional.** Londrina: IAPAR, 1985, 482p.

ALVARENGA, C.R. **Potencialidade de adubos verdes para conservação e recuperação de solos.** Viçosa, Minas Gerais, UFV 1993. 112p. Dissertação (Tese de Doutorado).

ANDERSON, D. W. **Decomposition of organic matter and carbon emission from soils.** In: Lal, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E. STEWART, B. A., eds. Soils and global change. Boca Raton, CRC Press, 1995. p.165-175.

BAUDER, J.W.; RANDAL, G.W. ; SWAN, J.B. Effect of four continuous tillage system on mechanical impedance of a clay loam soil. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, 45, p.802-806, 1981.

BLAIR, G.J. **Sulfur in the tropics.** Sulphur Institute and International Fertilizer Development Center: Muscle Shoals, Alabama, U.S.A., 1979. 69p. (Technical Bulletin IFDC-T-12).

BORGES, E.N.; LOMBARDI NETO, F.; CORREA, G.F. ; COSTA, L.M. Misturas de gesso e matéria orgânica alterando atributos físicos de um latossolo com compactação simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.315-327,1999.

CAIRES, F.E.; FONSECA, A.F.; MENDES, J.; CHVEIRI, A.W.; MADRUGA, F.F.; FIGUEIREDO, A. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações de características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.315-327, 1999.

CANALLI, L.B. ; ROLOFF, G. Influência do preparo e da correção do solo na condição hídrica de um latossolo vermelho-escuro sob plantio direto. **Rev. bras. Ci. Solo**, Campinas, 21, p.99-104, 1997.

CARVALHO, Jr. I. **Estimativas de parâmetros sedimentológicos para estudo de camadas compactadas e/ou adensadas em latossolo de textura média, sob diferentes usos**. Viçosa- MG: UFV , 1995, 83p. Dissertação (Tese de Mestrado).

CASTRO, O.M. de. **Preparo do solo para a cultura do milho**. Campinas, 1989. 41p. (Serie técnica, 3)

CENTURION, J.F.; DEMATTE, J.L.I. ; FERNANDES, F.M. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades químicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. **Rev. bras. Ci. Solo**, Campinas, 9, p.267-270, 1985.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5º Aproximação. Viçosa, 1999. 359p.

DALAL, R.C. ; MAYER, R.J. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in Southern Queensland. I. Overall changes in soil properties and trends in winter cereal yields. *Aust. J. Soil Res.*, Melbourne, 24, p.265-279, 1986a.

DALAL, R.C. ; MAYER, R.J. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in Southern Queensland. II. Total organic carbon and its rate of loss from the soil profile.. *Aust. J. Soil Res.*, Melbourne, 24, p.281-292, 1986b.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do Triângulo Mineiro**. Rio de Janeiro, 1982, 526p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação, Rio de Janeiro: Embrapa solos, 1999. 412p.

JORGE, J. A. **Solo: manejo e adubação: Compêndio de edafologia**. 2º ed São Paulo: Nobel, 1983. p. 307.

HILL, R.L.; HORTON, R. ; CRUSE, R.M. Tillage effects on soil water retention and pore size distribution of two Mollisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 49, p.1264-1270, 1985.

LAL, R. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂ enrichment. *Soil Till. Res.*, 43:81-107,1997.

LOPES, A.S. **Solos sob “cerrado”, Características, propriedades e manejo**. Piracicaba, Instituto Internacional de Potassa, 1984. 162p.

MACHADO, J.A. ; BRUM, A.C.R. Efeito de sistemas de cultivo em algumas propriedades físicas do solo. **Rev. bras. Ci. Solo**, Campinas,. 2, p.81-4, 1981.

MALAVOLTA, E. **ABC da adubação**. 5º ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1989. 292p.

MAZUCHOWSKI, J.Z. ; DERPSCH, R. **Guia de preparo do solo para culturas anuais mecanizadas**. Curitiba: ACARPA, 1984. 68p.

MERTEN, G.H. ; MIELNICZUK, J. Distribuição do sistema radicular e dos nutrientes em latossolo roxo sob dois sistemas de preparo de solo. **Rev. bras. Ci. Solo**, Campinas, 15, p.369-374, 1992.

MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional , sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Rev. bras. Ci. Solo**, Campinas,. 7, p.95-102, 1983.

MUZILLI,O. Fertilidade do sistema de plantio direto. In: FANCELLI, L; TORRADO, P.V. ; MACHADO, J., (Ed.). **Atualização em plantio direto**. Campinas, Fundação Cargill, 1985.p. 147-160.

OADES, J.M. Soil organic matter and structural stability mechanisms and implication for management. **Plant Soil**, Dordrecht, 76, p.319-337, 1984.

OLIVEIRA, I.P.; KLUTHCOUSKI, J.; REYNIER, F.N. Efeito do fosfogesso na produção de feijão e arroz e no comportamento de alguns nutrientes. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DE FOSFOGESSO NA AGRICULTURA,1, Brasília. **Anais...** Brasília, EMBRAPA-DDT, 1986. p. 45-59.

PAVAN, M.A. ; BINGHAM, F.T. PRATT, P.F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium and aluminium following lime or gypsum application to a brazilian oxisol. **Soil Science Society America Journal**, Madison, 48, p.33-38, 1984.

RAIJ, B.V. **Gesso agrícola na melhoria do ambiente radicular no subsolo**. São Paulo, Associação Nacional para Difusão de adubos e Corretivos Agrícolas. 1988, 88p.

RHEINHEIMER, D.S.; SANTOS, E.J.S.; KAMINSKY, J.; BORTULIZZI, E.C.; GATIBONI, L.C. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.797-805,2000.

ROSOLEM, C.A.; FULANI Jr., E.; BICUDO, S.J.; MOURA, E.G. ; BULHOES, L.H. Preparo do solo e sistema radicular do trigo. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas,. 16, p.115- 120, 1992.

SÁ, J.C. de M. Manejo da fertilidade do solo no sistema de plantio direto. In: PLANTIO DIRETO NO BRASIL. Passo Fundo: Aldeia Norte/EMBRAPA-CNPT/FUNDACEP-FECOTRIGO/FUNFAÇÃO-ABC, 1993. P.37-60.

SÁ, J.C.M. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: SIQUEIRA, J.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S., e ds. Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas. Lavras, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999.

SIDIRAS, N.; DERPSCH, R. ; MONDARDO, A. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo na variação da umidade e rendimento da soja, em Latossolo Roxo distrófico (Oxisol) . **Rev. bras. Ci. Solo**, Campinas,, 7, p.103-106, 1983.

SOPRANO, E. **Movimentação de íons e crescimento de café em função da aplicação de sais de Cálcio em colunas de solo**. Viçosa: UFV, 1986, 92p. (Tese, mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

TESTA, V.M.; TEIXEIRA, L.A.J. ; MIELNICZUK, J. Características químicas de um podzólico vermelho-escuro afetadas por sistemas de culturas. **Rev. bras. Ci. Solo**, Campinas, 16, p.107-114, 1992.

TORMENTA, C.A. ; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 20, p.333-339, 1996.

VEDOATO, R.A. Princípios básicos de plantio direto. In: FANCELLI, A.L.; TORRADO, P.V. ; MACHADO, J. (Ed). Atualização em plantio direto. Campinas, Fundação Cargill, 1985. p.18-30.

VIEIRA, M.J. Comportamento físico do solo em plantio direto.. In: FANCELLI, A.L.; TORRADO, P.V. ; MACHADO, J., eds. Atualização em plantio direto. Campinas, Fundação Cargill, 1985. p.163-179.

YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of carbon in soil. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 19:1467-1476, 1988.