

UNIOESTE – UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
NÍVEL MESTRADO

ROBERTO SIQUEIRA FILHO

**PRODUTIVIDADE DO MILHO “SAFRINHA” EM SISTEMA PLANTIO
DIRETO EM FUNÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE ESPÉCIES DE COBERTURA E
APLICAÇÃO DE CALCÁRIO EM SUPERFÍCIE**

MARECHAL CÂNDIDO RONDON

JUNHO / 2005

ROBERTO SIQUEIRA FILHO

**PRODUTIVIDADE DO MILHO “SAFRINHA” EM SISTEMA PLANTIO
DIRETO EM FUNÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE ESPÉCIES DE COBERTURA E
APLICAÇÃO DE CALCÁRIO EM SUPERFÍCIE**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Nível Mestrado – para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. MARCELO ANDREOTTI

MARECHAL CÂNDIDO RONDON

JUNHO / 2005



UNIOESTE - UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
NÍVEL MESTRADO

Ata da reunião da Comissão Julgadora da Defesa de Dissertação do **Eng. Agr. ROBERTO SIQUEIRA FILHO**. Aos catorze dias do mês de junho do ano de 2005, às 14 horas, sob a presidência do **Prof. Dr. MARCELO ANDREOTTI**, em sessão pública reuniu-se a Comissão Julgadora da defesa da Dissertação do Eng. Agr. Roberto Siqueira Filho, aluno do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Nível Mestrado – com área de concentração em **“PRODUÇÃO VEGETAL”**, visando à obtenção do título de **“MESTRE EM AGRONOMIA”**, constituída pelos membros: Prof. Dr. Morel de Passos e Carvalho (UNESP); Prof. Dr. Marcelo Andreotti (Orientador - UNESP) e Prof. Dr. Vandeir Francisco Guimarães (UNIOESTE).

Iniciados os trabalhos, o candidato submeteu-se à defesa de sua Dissertação, intitulada: **“PRODUTIVIDADE DO MILHO ‘SAFRINHA’ EM SISTEMA PLANTIO DIRETO EM FUNÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE ESPÉCIES DE COBERTURA E APLICAÇÃO DE CALCÁRIO EM SUPERFÍCIE”**. Terminada a defesa, procedeu-se ao julgamento dessa prova, cujo resultado foi o seguinte, observada a ordem de arguição:

Prof. Dr. Morel de Passos e Carvalho.....APROVADO
Prof. Dr. Vandeir Francisco Guimarães.....APROVADO
Prof. Dr. Marcelo Andreotti (Orientador).....APROVADO

Apurados os resultados, verificou-se que o candidato foi habilitado, fazendo jus, portanto, ao título de **“MESTRE EM AGRONOMIA”**, área de concentração: **“PRODUÇÃO VEGETAL”**. Do que, para constar, lavrou-se a presente ata, que vai assinada pelos senhores membros da Comissão Julgadora e por mim, Secretária.

Marechal Cândido Rondon, 14 de Junho de 2005.

Prof. Dr. Morel de Passos e Carvalho

Prof. Dr. Vandeir Francisco Guimarães

Prof. Dr. Marcelo Andreotti (Orientador)

Noili Batschke – Secretária

*“A verdadeira viagem de descobrimento não consiste em procurar novas paisagens,
mas em ter novos olhos”.*

Marcel Proust

DEDICATÓRIA

Ofereço a todos aqueles que se dedicam à busca pelo conhecimento.

Dedico à minha esposa e ao meu filho que me motivam a encontrar, no conhecimento, novos meios para tornar o mundo um lugar cada vez melhor, não só para mim e para eles, mas também para todos os que verdadeiramente amam a vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por ter chegado até aqui;

À minha mãe Gatzza, por ter me ensinado a amar e a respeitar;

Ao meu pai Roberto, pelas oportunidades de compreender a importância de amar, respeitar e perdoar e, mais do que tudo, de estar sempre presente;

Às minhas irmãs Carina e Stella e ao meu irmão Marcos, que desde o meu primeiro passo rumo à pós-graduação me apoiaram, compartilhando comigo suas alegrias por minhas vitórias;

Aos meus sogros Mauro e Jandira e ao meu cunhado Marcelo, pelo conforto e pela segurança nos momentos em que a inexperiência criava falsas dificuldades;

À Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Estado do Paraná – SEAB, em especial aos ex e atuais Diretores, Norberto Anacleto Ortigara e Newton Pohl Ribas, aos ex e atuais Chefes do Departamento de Fiscalização e Defesa Agropecuária – DEFIS, Luis Carlos Hatschbach e Felisberto Queiroz Baptista e aos ex e atuais Chefes da Divisão de Defesa Sanitária Vegetal – DDSV, Hamilton Antonio Keller e

Carlos Alberto Salvador, pela liberação concedida e por todas as condições propiciadas para que eu pudesse concluir o curso;

Ao Instituto Agrônômico do Paraná – IAPAR, em especial ao Sr. Antonio Costa, diretor técnico-científico, pela pronta disponibilização da área, ao pesquisador Eng. Agr. Elir de Oliveira, pelas orientações, e ao Téc. Agríc. Valdir Luiz Guerini, administrador da estação, pela disponibilização das sementes das espécies utilizadas como cobertura vegetal e dos equipamentos necessários para o desenvolvimento deste projeto na Estação Experimental de Palotina;

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, *campus* de Marechal Cândido Rondon, pelo excelente curso de pós-graduação oferecido;

Ao Prof. Dr. Marcelo Andreotti, pela orientação e, mais do que isso, pelo exemplo de postura e de iniciativa como professor e como pesquisador;

À Prof^a. Dr^a. Maria do Carmo Lana, pela pronta disposição em me atender e pela grande compreensão demonstrada nos momentos mais cruciais desta caminhada;

Ao Prof. Dr. Vandeir Francisco Guimarães, que desde o início deu importantes contribuições para o bom desenvolvimento deste projeto, sempre atencioso e didático em suas explicações;

Aos demais professores do Centro de Ciências Agrárias, pelo conhecimento e pela experiência transmitidos, ensinando-nos a fazer ciência;

Aos funcionários da UNIOESTE, por sempre buscar proporcionar a melhor estrutura possível para o aprendizado e para o desenvolvimento de nossos projetos;

Aos meus colegas de pós-graduação, pelos conhecimentos compartilhados, pelo convívio e pela amizade;

Aos estudantes do curso de Agronomia Rafael Giovanni Mocellin e Rafael Zanini, pelos bons momentos vividos durante a execução deste projeto, compartilhando seus conhecimentos e suas experiências, suas dúvidas e descobertas e, ao final, suas alegrias e satisfações pelo trabalho concluído e

Especialmente, à minha esposa Márcia, minha razão de querer seguir sempre em frente, e ao meu filho João Pedro que, concebido e nascido durante o curso, me fez ver que a razão maior deve sempre ser a de tornar o mundo um lugar melhor, para todos.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	18
1 REVISÃO DE LITERATURA	21
1.1 CALAGEM E ADUBAÇÃO DO SOLO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO.....	21
1.2 ADUBOS VERDES EM SISTEMA PLANTIO DIRETO.....	31
1.2.1 Calagem Superficial.....	31
1.2.2 Manejo de Resíduos Vegetais.....	32
2 MATERIAL E MÉTODOS	41
2.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL.....	41
2.1.1 Solo.....	41
2.1.2 Clima.....	42
2.2 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	45
2.3 CARACTERIZAÇÃO DAS ESPÉCIES DE COBERTURA VEGETAL.....	46
2.4 CARACTERIZAÇÃO DA CULTURA PRINCIPAL.....	47
2.5 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	48
2.5.1 Calagem.....	48

2.5.2 Instalação e condução das coberturas vegetais.....	48
2.5.3 Instalação e condução da cultura principal.....	49
2.6 AVALIAÇÕES.....	51
2.6.1 Análises químicas do solo	51
2.6.2 Produção e decomposição de biomassa das espécies utilizadas como cobertura vegetal	51
2.6.3 Produção da cultura principal	52
2.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	52
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
3.1 PRODUÇÃO E DECOMPOSIÇÃO DE BIOMASSA DAS ESPÉCIES UTILIZADAS COMO COBERTURA VEGETAL.....	54
3.2 ALTERAÇÕES QUÍMICAS NO SOLO.....	59
3.3 PRODUÇÃO DA CULTURA PRINCIPAL.....	67
4 CONCLUSÕES.....	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** – Caracterização química do solo utilizado no experimento, nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm, antes da calagem em superfície. Palotina – PR.....59
- Tabela 2** – Valores médios de temperatura máxima e mínima do ar e de umidade relativa do ar e total mensal médio de precipitação registrados na Estação Experimental de Palotina, entre os anos de 1993 e 2003 (IAPAR, 2004b).....43
- Tabela 3** – Temperaturas médias máxima e mínima (°C), médias de precipitação (mm) e de umidade relativa do ar (%) durante a realização do experimento, nos meses de outubro de 2003 a outubro de 2004 (IAPAR, 2004a).....44
- Tabela 4** – Análise de variância da produção de biomassa seca das espécies vegetais em diferentes épocas (na dessecação e 15, 30 e 45 dias após). Palotina - PR (2004)..55
- Tabela 5** – Comparação de médias de produção de matéria seca (kg ha^{-1}) por espécie vegetal de cobertura e redução percentual em relação ao tempo zero e por época de amostragem (dias após dessecação). Palotina - PR (2004).....56
- Tabela 6** – Resumo da análise de variância dos atributos químicos de solo, nas profundidades de 0 -10 cm e 10 -20 cm em função da calagem e espécies vegetais de cobertura. Palotina - PR (2004)61
- Tabela 7** – Média de valores dos atributos químicos do solo na profundidade de 0 a 10 cm em função da calagem e espécies vegetais de cobertura. Palotina - PR (2004).....62
- Tabela 8** – Média de valores dos atributos químicos do solo na profundidade de 10 a 20 cm em função da calagem e espécies vegetais de cobertura. Palotina - PR (2004).65

- Tabela 9** – Comparação de médias dos teores de P e Al e da saturação por Al (m) na interação calagem X espécie vegetal de cobertura, na profundidade de 10 a 20 cm. Palotina - PR (2004).....64
- Tabela 10** – Análise de variância para os componentes da produção e produtividade do milho em função da calagem e espécie vegetal de cobertura. Palotina - PR (2004)67
- Tabela 11** – Médias da massa da espiga (g), número de grãos por espiga, massa de 100 grãos e produtividade (Kg ha^{-1}) de milho em função da calagem e espécies vegetais de cobertura. Palotina - PR (2004)69

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Reações de aumento de pH e de neutralização e complexação do Al^{3+} por complexos orgânicos formados por ácidos orgânicos e cátions polivalentes.....31
- Figura 2** – Linhas de tendência da decomposição da matéria seca das espécies utilizadas como cobertura vegetal.58

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito de diferentes espécies de cobertura vegetal e da aplicação superficial de calcário em sistema plantio direto, determinando o teor de biomassa seca que cada uma das espécies produziu e o efeito da calagem sobre as propriedades químicas do solo e seu conseqüente efeito nos componentes da produção e na produtividade do milho “safrinha”. O experimento foi conduzido no período 2003/2004, na fazenda experimental do IAPAR (Instituto Agrônômico do Paraná), em um solo classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico, no município de Palotina - PR. Os tratamentos foram constituídos de cinco espécies de cobertura vegetal (milheto, guandú, capim moha, associação de guandú com milheto e pousio) em combinações com e sem calagem em superfície. Foram aplicadas 3,2 t ha⁻¹ de calcário dolomítico em superfície nas parcelas pré-determinadas, sem incorporação. A dessecação dos adubos verdes foi realizada quando as espécies estavam no estágio de emissão de vagens e de panículas. No momento da dessecação das parcelas iniciaram-se as coletas de biomassa para determinação da produção e da velocidade de decomposição de cada uma das espécies, repetindo-se essa amostragem 15, 30 e 45 dias após à primeira. Também foram coletadas amostras estratificadas de solo (0-10 e 0,10 – 0,20 m) em cada parcela, na linha de semeadura da espécie, para determinação de pH, teores de P, M.O., H + Al, K, Ca e Mg e valores

de SB, CTC, V% e m%. A cultivar de milho utilizada foi o híbrido simples modificado AG-9010. Conduziu-se o experimento no campo até ser realizada a colheita das parcelas e determinada a produtividade. Também foi realizada a determinação dos componentes da produção (número de grãos por espiga, massa dos grãos por espiga e massa de 100 grãos) em função das espécies vegetais e aplicação ou não de calcário em cada parcela. Concluiu-se que a calagem em superfície, independentemente da espécie de cobertura, foi eficaz na correção da acidez do solo, proporcionando o aumento de pH e dos teores de cálcio e magnésio na camada de 0 – 0,10 m. Na presença de guandú ocorreu aumento do teor de fósforo do solo na profundidade de 0,10 – 0,20 m, entretanto, esse fato deve estar associado à calagem, uma vez que esta espécie apresenta grande capacidade de acidificar o solo. O milheto apresentou maior produção de biomassa seca e também maior taxa de decomposição, seguida pela associação de milheto e guandú e apenas guandú. O capim moha apresentou menor produção de resíduo e também menor taxa de decomposição durante o período de 45 dias. A combinação de calagem mais cultivo de guandú como espécie de cobertura de solo antes do milho safrinha resultou em ganhos na massa da espiga e massa de 100 grãos, com reflexos positivos na produtividade.

Palavras-chave: Sistema Plantio Direto; Calagem Superficial; Cobertura Vegetal.

ABSTRACT

The present work had for objective to evaluate the effect of different covering crops and the surface liming in no-tillage system, determining the content of dry biomass produced by each one of these species and the effect of the liming on the chemical properties of the soil and its consequent effect in the yield components and the productivity of the winter maize crop. The experiment was lead in period 2003/2004, in the experimental farm of the IAPAR (Paraná State Agronomic Institute), in one soil classified as Eutroferric Red Latosol, in the city of Palotina - PR. The treatments had been constituted of five vegetal covering species (millet, guandu, foxtail millet, association of guandu with millet and pousio), in combinations with and without surface liming. 3,2 t ha⁻¹ of dolomitic limestone had been applied in surface in certain plots, without incorporation. It was determined that the desiccation of green fertilizers would be carried through when the species emitted string beans or panicle. At the moment of the desiccation of the plots the collections of biomass for determination of the production and the speed of decomposition of each one of the species had been initiated, happening again themselves this sampling 15, 30 and 45 days after. Also stratified soil samples had been collected (0 – 0,10 and 0,10 – 0,20 m) in each plot, in the line of sowing of the species, for determination of pH, levels of P, M.O., H + Al, K, Ca and Mg and values of SB, CTC, V% and m%. The sowed maize were the simple

modified hybrid AG-9010. The experiment in the field was conducted until being carried through the harvest of the plots and determined the productivity. Also the determination of the components of the production (number of grains for spike, mass of the grains for spike and mass of 100 grains) in function of the vegetal species and application or not of limestone in each plot was carried through. One concluded that, independently of the species of covering, the surface liming is efficient in the correction of the acidity of the soil and increase of pH and levels of calcium and magnesium in the 0 – 0,10 m layer. At guandu plots occurred increase of the level of phosphorus of the soil in the depth of 0,10 – 0,20 m, however this fact must be associated to the liming, a time that this species presents great capacity to acidify of the soil. The Millet presented greater production of dry matter and bigger tax of decomposition, followed for the association of millet with guandu and guandu. Grass mills also presented minor residue production and lesser tax of decomposition during the period of 45 days. The combination of liming more guandu as species of soil covering before the winter maize crop, results in profits in the mass of the spike and mass of 100 grains, with positive consequences in the productivity.

Key-words: No-tillage System; Surface Liming; Plant Cover.

INTRODUÇÃO

O sistema plantio direto é um processo de semeadura em solo não revolvido e devidamente protegido por resíduos vegetais de culturas anteriores, no qual, as sementes são colocadas em sulcos ou em covas, com largura e profundidade suficientes para a adequada cobertura e contato das mesmas com a terra. Para ser viabilizado técnica e economicamente, o sistema não deve ser enfocado apenas como um método alternativo de semeadura ou manejo do solo. Necessita ser tratado como um sistema de produção, abrangendo um complexo ordenado de práticas agrícolas inter-relacionadas e interdependentes que incluem, além do não revolvimento do solo, a rotação diversificada de culturas, o uso de plantas de cobertura para formar e manter a palhada sobre o terreno e, mais recentemente, a integração lavoura-pecuária (Muzilli, 2000).

Desenvolvido em razão da necessidade de se conter a rápida degradação do solo causada pelo seu cultivo intensivo, o sistema plantio direto revelou-se mais do que uma simples técnica agronômica, levando a uma grande mudança de hábitos e comportamentos por parte dos agricultores. Mas, por envolver mudanças em

praticamente todas as fases do cultivo, inúmeros estudos se tornaram imprescindíveis para o aprimoramento do sistema, sempre objetivando alcançar maiores produtividades com o menor impacto possível, viabilizando a técnica e preservando o solo e o meio ambiente. As primeiras informações geradas pela pesquisa sobre este sistema foram em relação à sua eficiência no controle da erosão. Entretanto, com a sua crescente adoção, vários problemas surgiram sem que a pesquisa tivesse informações para solucioná-los. Entre os problemas identificados estava a necessidade do desenvolvimento de formas alternativas de se promover à correção da acidez do solo.

Problemas da maioria dos solos agricultáveis no Brasil, a acidez potencial, a toxidez por Al e os baixos teores de Ca e Mg têm sido corrigidos por meio da aplicação e incorporação de corretivos – entre eles o calcário – prática que, por revolver o solo, torna-se inadequada em áreas de plantio direto. Além disso, a aplicação de altas doses de calcário em superfície, mesmo que em intervalos de períodos longos, se revela como uma operação onerosa e pouco eficiente, em razão da baixa solubilidade dos produtos utilizados como corretivos, concentrando sua ação nas camadas mais superficiais e, portanto, não atingindo os seus objetivos nas camadas mais profundas.

Tem-se também, como característica básica do plantio direto, a necessidade da manutenção de uma camada de cobertura vegetal, o que se revela como um problema em regiões mais quentes, devido à rápida decomposição da palhada obtida. Soma-se, então, aos benefícios da rotação de culturas e da adubação verde na reciclagem dos nutrientes, a grande capacidade que algumas espécies demonstram em promover

melhorias nas características físicas e de auxiliar no processo de neutralização da acidez do solo.

Sendo assim surge, então, como hipótese, a possibilidade de se corrigir a acidez potencial, a toxidez por Al e os baixos teores de Ca e Mg dos solos sob plantio direto por meio da aplicação de corretivos em superfície somado ao cultivo de espécies vegetais com grande capacidade de reciclagem de nutrientes (lixiviados para as camadas mais profundas), de melhoria das características físicas e de auxílio na correção da acidez do solo pela ação de compostos orgânicos resultantes da sua decomposição, embora a eficiência da associação dessas duas técnicas tenha sido motivo de grande divergência entre os pesquisadores.

Dessa forma, este estudo objetivou avaliar a eficiência da aplicação superficial de calcário em um Latossolo Vermelho Eutroférico sob sistema plantio direto associada à utilização de espécies de cobertura vegetal sobre a produtividade de milho safrinha.

1 REVISÃO DE LITERATURA

1.1 CALAGEM E ADUBAÇÃO DO SOLO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

Segundo Lima (2001), a calagem é uma prática cultural essencial para a neutralização e correção da acidez dos solos em regiões de clima tropical onde, predominantemente, observam-se baixos valores de pH, de bases trocáveis e de P e teores elevados de H + Al.

Uma calagem bem feita irá neutralizar o Al do solo e fornecer Ca e Mg como nutrientes. Além disso, promove o aumento da disponibilidade do fósforo e de outros nutrientes, assim como da CTC efetiva e da atividade microbiana, entre outros benefícios (Sousa & Lobato, 2002). Além de adicionar os cátions Ca e Mg à solução do solo, também promove o aumento da mineralização da matéria orgânica e da CTC, contribuindo para o aumento da concentração dos ânions em solução (Lima, 1993).

A redução da capacidade de troca catiônica (CTC) efetiva decorre do menor número de cargas negativas em razão da redução do teor de matéria orgânica nos solos. Petreire & Anghinoni (2001) verificaram que a redução do valor desses atributos quando da não aplicação de calcário é ainda acompanhada da diminuição dos valores

de pH, de Ca e de Mg trocável e do aumento nos valores de Al trocável, quando comparados aos obtidos em campo nativo.

No sistema plantio direto a aplicação superficial do corretivo da acidez do solo permite que as partículas finas aprofundem-se no seu perfil, em razão de uma melhor estruturação. Assim, ocorre aumento do pH e neutralização do Al monomérico na subsuperfície (Amaral et al., 2001). Gatiboni et al. (2003), citando Haynes et al. (2001) explicaram que os bioporos também podem se tornar caminhos preferenciais para a movimentação descendente da solução do solo e de partículas finas.

Caires (2000a) relatou os mecanismos que podem estar envolvidos na correção da acidez de subsolos, em sistema plantio direto, pela calagem na superfície. O primeiro ocorre devido à formação e migração de $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ e $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ para camadas mais profundas. Já o segundo, pelo deslocamento mecânico de partículas de calcário por meio de canais formados por raízes mortas, mantidos intactos em razão da ausência de preparo do solo. O terceiro, finalmente, ocorre pela movimentação de Ca + Mg trocáveis do solo e a redução do Al trocável no subsolo relacionadas à lixiviação por meio de complexos orgânicos hidrossolúveis presentes na resteva.

Caires et al. (1999) chegaram a recomendar o estabelecimento de critérios específicos para a recomendação de calagem para o sistema plantio direto, ao constatarem que os critérios utilizados para a recomendação em sistema convencional não satisfaziam às necessidades quando extrapolados para o novo sistema. Fato este importante, pois a migração de bases por efeito da calagem em profundidade está relacionada, principalmente, à dose de corretivo, ao tempo de avaliação, aos atributos do solo, especialmente os teores de colóides, à macroporosidade e ao regime hídrico e,

secundariamente, à presença de ânions inorgânicos, como nitratos, sulfatos, cloretos e silicatos e ânions orgânicos liberados durante a decomposição da cobertura vegetal manejada no sistema plantio direto.

A viabilidade da aplicação do calcário em superfície no sistema plantio direto, dada pelo aumento na produção de grãos de milho, foi demonstrada por Moschler et al. (1973). Também, Blevins et al. (1978) verificaram a eficiência da calagem superficial na neutralização da acidez do solo, causada pela adubação nitrogenada do milho cultivado no sistema plantio direto.

Quanto ao tempo de reação do calcário, Caires (2000b) constatou que, na camada de 0 – 0,05 m, os acréscimos no pH, Ca + Mg e saturação por bases e a redução na acidez potencial ocorreram com maior intensidade entre 28 e 30 meses após a sua aplicação ao solo, relativamente semelhante ao obtido por Camargo et al. (1982) e Oliveira et al. (1997). Assim, em áreas sob plantio direto ou sob culturas perenes tem-se verificado que a aplicação de calcário na superfície do solo, associada ao manejo de resíduos vegetais, tem proporcionado a elevação do pH e dos valores de Ca e Mg e a redução de Al trocável nas camadas localizadas abaixo do local de aplicação, (Caires et al., 1999; Oliveira & Pavan, 1996; Pavan, 1994). Vários estudos realizados no Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) também mostraram a eficiência de extratos vegetais sobre a neutralização da acidez da camada subsuperficial do solo (Franchini et al., 1999a e 1999b; Meda et al., 1999; Cassiolato et al., 1999).

Quanto maior a força iônica da solução, maior o seu poder de redução do pH, o que se explicaria pela reação de troca de cátions, deslocando íons H^+ da superfície

dos colóides do solo e os substituindo pelos cátions adicionados na solução, o que foi evidenciado no trabalho conduzido por Takachi & Pavan (1995), quando obtiveram como resultado a seguinte ordem para o efeito do tipo de cátion na acidez e no seu deslocamento para a solução do solo: $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$.

Sá (1995), na região dos Campos Gerais, Paraná, estudando o efeito de métodos de calagem em solos de diferentes texturas, comparou os resultados obtidos pela aplicação de calcário em superfície e concluiu que a alteração do pH se deu, significativamente, a até 0,10 m de profundidade, sendo maior no solo mais arenoso em razão do seu menor poder tampão, influenciado pelo menor conteúdo de argila e de matéria orgânica.

Estudando as alterações nos atributos químicos do solo em função da granulometria e das doses de calcário em sistema plantio direto e convencional, Mello et al. (2003) concluíram que a aplicação de calcário em superfície na instalação do sistema plantio direto, independentemente da granulometria e da dose do material corretivo, alterou positivamente os atributos químicos do solo (pH, H^+ , Al, Ca^{2+} e Mg^{2+}) das camadas superficiais (0 – 0,05 e 0,05 – 0,10 m) aos 12 meses após a calagem.

Paiva et al. (1996), após 7 anos consecutivos de ensaio, constataram que, sob plantio direto, não houve diferença na correção do pH do solo quando comparado ao plantio convencional, havendo, entretanto, um aumento do seu poder tampão.

Oliveira et al. (1997), estudando a resposta do milho à calagem em um Latossolo Vermelho-Escuro álico, obtiveram aumentos significativos do pH, Ca e Mg e redução significativa no Al trocável nas duas profundidades estudadas (0 – 0,20 e

0,20 – 0,40 m). Resultado semelhante obtiveram Mendes et al. (2003), os quais estudaram as alterações de características químicas do solo pela calagem e gessagem superficiais sob cultivo de café, e Pádua et al. (2003), que avaliaram o crescimento do algodoeiro sob influência de sistemas de incorporação de calcário e de uso de latossolo.

Caires et al. (1998) obtiveram elevação do pH e redução do Al trocável em função da calagem à profundidade de até 0,10 m e em camadas subsuperficiais, indicando que a ação do calcário aplicado em superfície, em áreas com cultivos já estabelecidos, pode atingir camadas mais profundas de solo. Aos 24 meses após a aplicação de gesso em superfície, recuperaram 40% do S-SO₄ e 60% do Ca aplicado, sendo que 90% do S-SO₄ e 75% do Ca recuperados encontravam-se na camada de 20-0,80 m de profundidade, tendo promovido uma grande lixiviação de bases, principalmente de Mg.

Franchini et al. (1999a) obtiveram redução dos teores de Al trocável pela adição de resíduos vegetais ao solo e, com a redução da acidez total e trocável, aumento da CTC efetiva (CTCe) em razão dos aumentos nos teores de Ca, Mg e K (cátions básicos) no solo.

Caires et al. (2000c), verificaram a eficiência da aplicação superficial de calcário nas condições de sistema plantio direto no aumento do pH de camadas superficiais do solo e do subsolo, na redução da acidez potencial, no aumento da saturação por bases e no aumento dos teores de Ca + Mg trocáveis a até 0,60 m de profundidade, inclusive com o aumento da produção acumulada de grãos nas quatro safras em que durou o experimento (1995 a 1998). Ressaltaram, porém, que a calagem

somente deve ser recomendada para solo com pH (CaCl₂) inferior a 5,6 ou saturação por bases inferior a 65%, na camada de 0 – 0,05 m.

Caires et al. (2001), estudando a absorção de nutrientes pela soja cultivada no sistema plantio direto em função da calagem na superfície em um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico, em experimento conduzido em Ponta Grossa, Paraná, entre os anos de 1993 e 1997, constataram aumento no pH, nos teores de Ca e Mg trocáveis, na saturação por bases e redução nos teores de Al trocável do solo até a profundidade de 0,10 – 0,20 m.

Ernani et al. (2001b) constataram que a aplicação superficial de corretivos da acidez não alterou nenhum parâmetro químico da fase líquida e alterou a composição química da fase sólida somente na camada superficial de 0 – 0,02 m, e não na camada de 0,02 – 0,30 m, atribuindo o resultado positivo sobre a elevação do pH encontrado por outros autores ao tamponamento dos solos.

Avaliando as alterações químicas promovidas no solo aos 68 meses após a aplicação superficial de calcário, Caires et al. (2001) constataram aumentos significativos no pH, Ca e Mg trocáveis e saturação por bases e redução nos teores de Al trocável e acidez potencial nas cinco profundidades estudadas (0 – 0,05, 0,05 – 0,10, 0,10 – 0,20, 0,20 – 0,40 e 0,40 – 0,60 m).

Moreira et al. (2001) concluíram que, com o avanço do tempo de cultivo sob sistema plantio direto, a distribuição de Ca, Mg e Al, o pH e a saturação de bases tenderam à condições mais homogêneas ao longo do perfil do solo. Entretanto, Soratto et al. (2003), estudando a nutrição de cultivares de arroz, concluíram que “a calagem

proporcionou maior absorção de Ca e Mg pelas plantas de arroz, mesmo tratando-se de aplicação superficial na implantação do sistema plantio direto”.

Santos et al. (2003) concluíram que, após sete anos, a aplicação de 25% da dose de calcário para 1 SMP mostrou-se igual à testemunha, sem aplicação de calcário, em relação a pH, teor de Al, Ca e Mg, nas três profundidades estudadas (0 – 0,05, 0,05 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m). Entretanto, as doses de 100% incorporado e em superfície se equivaleram na redução do teor de Al até a profundidade de 0 – 0,05 m, no aumento do teor de Mg até 0,05 – 0,10 m e no teor de Ca até 0,10 – 0,20 m. Em relação ao pH, a dose de 50% em superfície se equivaliu à de 100% incorporado na camada de 0 – 0,05 m e à de 100% em superfície na camada de 0,10 – 0,20 m.

Crusciol et al. (2003), ao estudarem a lixiviação de bases em função da adubação nitrogenada e da calagem superficial em plantio direto, concluíram que houve incremento dos teores de Ca e Mg no perfil do solo, lixiviados em decorrência da aplicação do nitrogênio inorgânico, além do que também houve elevação dos valores do pH, mesmo em profundidades abaixo de 0,20 m.

Ernani et al. (2003), estudando a mobilidade de nutrientes em Latossolo Bruno, constataram aumento da lixiviação de Ca e Mg e diminuição da lixiviação de K, em função da calagem, quando da aplicação de cloreto de potássio, porém sem comprometer a absorção desse último pelas plantas, verificando que o potássio apresentou boa mobilidade. No caso do Ca e do Mg, a percolação desses dois elementos ocorreu em razão da substituição destes pelo K aplicado, tendo sido deslocados das cargas elétricas negativas onde estavam e podendo, com isso, aumentar

temporariamente a sua disposição para as plantas, uma vez que coincide com o seu período inicial de desenvolvimento.

Caires et al. (2003) descreveram que a elevação do pH do solo gera cargas elétricas variáveis negativas e, com isso, aumenta a retenção de cátions, dificultando a ação de neutralização da acidez do subsolo pelo calcário, sendo que os ânions resultantes da dissolução do corretivo são consumidos em reações com outros cátions ácidos (Al^{3+} , Mn^{2+} e Fe^{2+}). O aumento do pH, no entanto, aceleraria a velocidade de movimentação do HCO_3^- para o subsolo onde, acompanhado por Ca e Mg, reagiria com a acidez.

Gasparoto et al. (2003) verificaram que a calagem em superfície, além dos benefícios para a cultura principal, aumentou a produção de matéria seca do milheto, com maior quantidade de palhada residual. Isto tem certa relevância, pois a influência da espécie e quantidade dos resíduos vegetais, e da calagem superficial é mais expressiva no plantio direto (SPD) em sistemas estabelecidos há mais de 5 anos do que na implantação do sistema (Barella et al., 2003).

A baixa mobilidade do carbonato na ausência de íons inorgânicos e orgânicos, o aumento do pH e do teor de Ca e a redução do teor de Al em profundidade de até, aproximadamente, 0,20 m quando a calagem foi associada à aplicação de extratos de aveia e nabo foram constatados por Franchini et al. (2001a).

A calagem em superfície promoveu o aumento da produção de matéria seca de 6 espécies de cobertura vegetal utilizadas por Ernani et al. (2001a) nos dois solos estudados (Latosolo e Cambissolo), estando, entre elas, a *Crotalaria juncea* e o guandú.

Pires et al. (2003), estudando modalidades de calagem em plantio direto e seus efeitos sobre atributos químicos do solo e estado nutricional e características agronômicas de plantas de milho concluíram que, embora tenha tido o seu efeito restringido à camada de até 0,05 m, a aplicação de calcário em superfície não diferiu das outras modalidades de aplicação avaliadas sobre o estado nutricional dos cultivares de milho estudados e nem sobre as suas características agronômicas.

Outra variável a ser levada em consideração quando da aplicação superficial de calcário em sistema plantio direto é a granulometria do material utilizado, uma vez que, por ser mais reativo, o material mais finamente moído poderia reduzir os problemas decorrentes da sua não-incorporação e da menor mineralização da matéria orgânica. Já o material de granulometria maior poderia proporcionar um efeito residual mais prolongado. Assim, Mello et al. (2003) avaliaram, entre outros fatores, os efeitos da granulometria do calcário na implantação do sistema plantio direto, concluindo não haver variação significativa entre os resultados obtidos, o que poderia ser explicado, em parte, pela aplicação de uma maior dose do material mais grosseiro em razão do seu menor poder de neutralização (PRNT).

Extratos de plantas associados à calagem superficial proporcionaram grande aumento da lixiviação de Ca quando comparados à calagem sem extrato, indicando a baixa mobilidade desse elemento na ausência de ânions acompanhantes, como os ligantes orgânicos (Meda et al., 2002).

A oxidação da matéria orgânica permite a passagem do Al, nela complexado, para formas mais reativas, liberando-o para a solução do solo, o que poderia permitir sua lixiviação e a ampliação do seu ciclo biológico, como constatou Mendonça (1995).

Anghinoni & Nicolodi (2004) citaram que os prováveis mecanismos que levariam os produtos da dissolução do calcário atuarem na subsuperfície dos solos podem estar relacionados aos tipos de resíduos vegetais das plantas de cobertura utilizadas no SPD, o que possibilitaria modificações positivas nos atributos químicos do perfil do solo e, conseqüentemente, alterações na nutrição das culturas.

De acordo com Miyazawa et al. (2003), o sistema plantio direto favorece o acúmulo do K, proveniente dos fertilizantes, na camada superficial do solo e elevada mobilidade de Ca e Mg no perfil do solo. As reações que permitiriam aos complexos orgânicos formados entre os ácidos orgânicos e cátions polivalentes aumentar o pH e neutralizar o Al^{3+} ao atingirem a camada subsuperficial do solo são aquelas demonstradas na Figura 1.

Ciotta et al. (2004) concluíram que a aplicação de calcário ao solo sem incorporação foi eficiente na elevação do pH, na camada de 0 - 0,15 m, assim como dos teores de Ca e Mg e da saturação por bases, bem como na diminuição da saturação de Al trocável, na camada de 0 - 0,20 m.

Mas os resultados quanto à eficiência da calagem na neutralização da acidez dos solos ainda são variáveis. Pöttker & Ben (1998), avaliando a calagem para rotação de culturas durante 3 anos, constataram baixa mobilidade do calcário aplicado sem incorporação ao solo, no sistema plantio direto, embora não tenham avaliado os efeitos da calagem na correção da acidez do subsolo, evidenciando, assim, a necessidade de novos estudos nesta área.

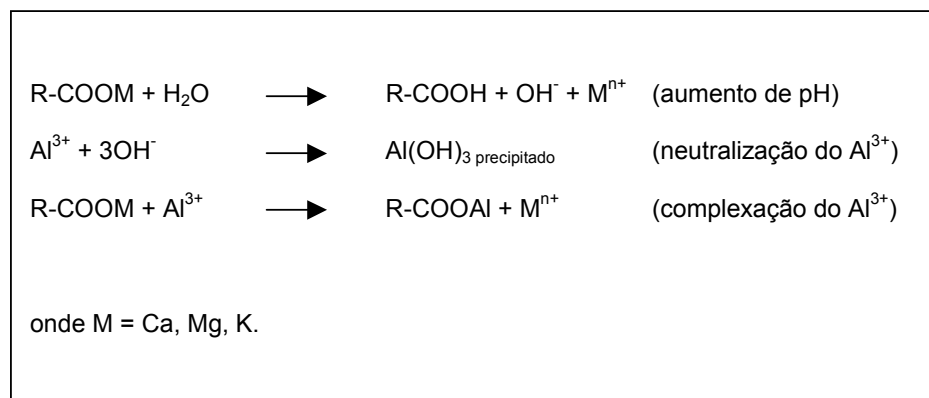


Figura 1 – Reações de aumento do pH e de neutralização e complexação do Al^{3+} por complexos orgânicos formados por ácidos orgânicos e cátions polivalentes.

1.2 ADUBOS VERDES EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

1.2.1 Resposta à calagem superficial

Peixoto (1995) relatou as quatro principais características estruturais das substâncias húmicas que influenciam suas reatividades químicas: a polifuncionalidade (o que indicaria a existência de uma variedade de grupos funcionais), a carga macromolecular (desenvolvimento de carga aniônica), a hidrofiliabilidade (tendência de formar ligações de hidrogênio fortes com moléculas de água, solvatando grupos funcionais polares como $COOH^-$ e OH^-) e a flexibilidade estrutural (capacidade de associação intermolecular e de mudar de configuração em resposta às mudanças do pH, condições redox, concentração de eletrólitos e ligação de grupos funcionais).

Rheinheimer et al. (1998) constataram que o sistema plantio direto apresentou teores mais elevados de ácidos húmicos (nas camadas de 0 - 0,05 e 0,05 - 0,10 m) e

fúlvicos (0 – 0,05 m) e menores de huminas e ácidos fúlvicos (0,10 – 0,20 e 0,20 – 0,40 m) quando comparados ao sistema de cultivo convencional, devido à manutenção dos resíduos vegetais na superfície do solo no primeiro sistema que, durante a decomposição e ressíntese, produzem tais compostos. Esses ácidos migram no perfil do solo e são responsáveis pela maior acidez potencial e, conseqüentemente, pela maior formação de cargas negativas.

A calagem pode proporcionar desequilíbrios nutricionais de cátions na planta de milho, principalmente entre Mg e K, como obtiveram Caires et al. (2002) que, citando Loué (1963), indicam uma relação ótima como sendo entre 60-28-12 e 68-22-10 (K-Ca-Mg, em %) no tecido foliar. Mas, como concluíram Pöttker & Ben (1998) em trabalho sobre calagem para uma rotação de culturas no sistema plantio direto, “a correção da acidez somente na camada superficial de solo, causada pela não-incorporação do calcário, aparentemente não apresenta dificuldades para o cultivo de espécies anuais em áreas anteriormente calcariadas pelo sistema convencional e que apresentam nível adequado de nutrientes”.

Estudando a resposta do milho à calagem superficial, Caires et al. (2004) concluíram que a calagem na superfície com ou sem parcelamento, ou com incorporação, ocasionou aumento na produção de milho da ordem de 13 %.

1.2.2 Manejo de resíduos vegetais

No Brasil, a adubação verde já esteve muito mais implementada do que nos dias atuais. Com o advento da adubação mineral, aliada à elevação dos preços das

terras agricultáveis, a prática da adubação verde foi reduzida. Contudo, o uso inadequado das terras ao longo do tempo, expondo o solo à ação da erosão, levou a uma diminuição dos níveis de matéria orgânica, tendo como consequência queda na produtividade. Pela necessidade da aplicação nas áreas agrícolas de alternativas tecnológicas que possibilitem a racionalização de insumos modernos e, principalmente, a elevação da produtividade da agricultura brasileira, ressurgiu como uma das possíveis formas a adubação verde (Muzilli, 1986). Segundo o autor, o emprego de adubos verdes em rotação, como melhoradoras do solo ou como plantas de cobertura, vem crescendo significativamente pela melhor aceitação dos agricultores em usá-las no período de outono/inverno, principalmente por não concorrer com a cultura comercial de verão e pela intensificação da prática do sistema plantio direto.

Embora se considere como adubação verde a incorporação ao solo de espécies vegetais gramíneas ou outras, naturais ou cultivadas, a maioria dos autores que trata sobre o assunto enfatiza que as leguminosas são as plantas que mais se adequam a essa prática. A preferência por elas recai em razão de suas características de grandes produtoras de massa verde, sistema radicular robusto e profundo, riqueza em nutrientes e, sobretudo, pela capacidade de fixar nitrogênio por intermédio da simbiose com bactérias.

Buckman & Brady (1996) ressaltaram que a adubação verde com leguminosas é mais vantajosa, tanto pelo nitrogênio acumulado no solo após incorporação, como pelas atividades orgânicas nele desenvolvidas. Citaram as leguminosas como as plantas mais adequadas para adubação verde, por terem um rendimento elevado de massa verde por área e serem ricas em nutrientes, já que o seu sistema radicular,

bastante ramificado e profundo, permite extrair os nutrientes que foram lixiviados para camadas mais profundas do solo.

De modo genérico, porém sob mesmas condições, as leguminosas podem apresentar teores de nitrogênio (variáveis entre 2,0 a 4,0%) cerca de duas a três vezes superiores aos das gramíneas, sendo os teores dos demais nutrientes iguais ou, quase sempre, também mais elevados nestas espécies (Muzilli, 1986). Conforme o autor, os efeitos benéficos da adubação verde sobre a fertilidade do solo e melhoria da sua produtividade seriam: a) enriquecimento do solo em nitrogênio oriundo da massa vegetal decomposta e da fixação biológica do N atmosférico pelas leguminosas; b) reciclagem e mobilização de nutrientes lixiviados ou pouco solúveis, que se encontram em baixas concentrações na solução ou em camadas mais profundas do solo; c) melhoria da eficiência de aproveitamento dos nutrientes pela cultura, decorrente de efeitos sobre propriedades físicas do solo; d) aumento do teor de matéria orgânica, tanto pela massa verde incorporada ao solo, como pelas raízes após decomposição; e) aumento do teor de matéria orgânica, da capacidade de troca de cátions e da disponibilidade de macro e micronutrientes; f) formação e estabilização de agregados, melhoria da infiltração de água e aeração e g) controle dos nematóides.

Dados da EMBRAPA Cerrados, em trabalhos conduzidos por Djalma (2003), demonstram que a matéria orgânica pode aumentar a eficiência de uso do P, pois para produzir 3 t ha⁻¹ de soja em um Latossolo muito argiloso foram necessários teores de P extraível de 3 e 6 mg dm⁻³, quando os teores médios de matéria orgânica eram de 37,3 e 28,4 g kg⁻¹, respectivamente. O solo com maior teor de matéria orgânica resultou do cultivo de pastagem integrada com culturas anuais, enquanto que o de menor teor só

foi cultivado com culturas anuais.

Objetivando avaliar os efeitos de adubos verdes de outono-inverno, na produção do milho, sob dois sistemas de manejo da fitomassa, Lima et al. (2003) verificaram, em experimento realizado na FCA/UNESP de Botucatu, maiores produções com a incorporação dos resíduos a 0,20 m de profundidade, sendo que os melhores valores foram obtidos nos tratamentos que empregaram tremoço branco, chícharo e girassol.

Observação feita em propriedade agrícola indicou incremento de até 10% no teor de matéria orgânica do solo na profundidade de 0 – 0,20 m em uma área com 7 anos de adoção do sistema plantio direto em relação a dois anos no mesmo sistema. Em avaliações feitas em trincheiras, nessas mesmas condições, verificou se um aumento de 25 % no teor da matéria orgânica da camada de 0 – 0,05 m (Djalma, 2003). Sendo assim, concluiu-se que as produtividades das culturas nessa propriedade foram de, em média, 2,94 t ha⁻¹ de grãos de soja e 9,06 t ha⁻¹ de grãos de milho. Pode-se inferir que o incremento do teor de matéria orgânica na camada de 0 – 0,20 m, no sistema plantio direto, é lento mesmo com bom retorno de palhada ao solo, devido às boas produtividades das culturas. Entretanto, esses pequenos aumentos trouxeram grandes benefícios, tais como: redução no processo erosivo do solo, melhores condições para armazenamento de água, maior taxa de infiltração de água, temperaturas mais amenas nas camadas superficiais do solo e maior disponibilidade de nutrientes às plantas.

Nesse contexto, um fator determinante para o sucesso do SPD é a seleção das espécies de cobertura, havendo a possibilidade do uso dessas plantas no período de

primavera-verão, antecedendo as culturas principais ou de “safrinha”, pois os ácidos orgânicos liberados na decomposição da palhada podem formar complexos estáveis com cátions polivalentes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , Mn^{2+}), solúveis em água, o que aumenta a mobilidade de tais cátions no perfil do solo (Franchini et al., 2001b; Meda et al., 2001). Além disso, estes complexos, ao atingirem a camada subsuperficial do solo, podem aumentar o pH e neutralizar o Al^{3+} .

Vários experimentos de laboratório e em casa de vegetação demonstraram que a aplicação de resíduos de adubos verdes, tais como o nabo forrageiro, a aveia preta, a mucuna cinza e o amendoim cavalo, na superfície do solo, aumentaram os valores de pH, Ca^{2+} e Mg^{2+} e reduziram o Al^{3+} no perfil do solo. Por outro lado, os efeitos dos resíduos de culturas comerciais (soja, trigo, milho, arroz) foram mínimos para o aumento do pH e do teor de Ca e Mg, assim como para a diminuição da acidez potencial ($\text{H} + \text{Al}$) e trocável (Al^{3+}) nas camadas localizadas abaixo do local de aplicação (Franchini et al., 1999a e 1999b; Meda et al., 2001).

A análise cromatográfica dos extratos aquosos de adubos verdes demonstrou que os teores de ácidos orgânicos (cítrico, oxálico, tartárico, málico, malônico, salicílico, succínico, aconítico, gálico, ftálico, p-benzóico) foram muito maiores nos adubos verdes (nabo forrageiro, aveia preta, mucuna cinza e amendoim cavalo) do que nos restos culturais do milho (Franchini et al., 2001a).

Em experimento realizado em um Latossolo Vermelho de textura média, no município de Mauá da Serra – PR, Miyazawa et al. (2003) avaliaram algumas características químicas e físicas do solo e constataram que a reação de neutralização

da acidez no perfil do solo, no sistema plantio direto, foi completa aos 12 meses após a aplicação de calcário dolomítico.

Extratos de plantas associados à calagem superficial proporcionaram grande aumento da lixiviação de Ca^{2+} , quando comparados à calagem sem extrato, indicando a baixa mobilidade desse elemento na ausência de ânions acompanhantes, como os ligantes orgânicos (Meda et al., 2002).

Apesar do milheto não ser muito empregado na adubação verde, é uma das espécies com maior capacidade de extrair Ca^{2+} do solo (Lima, 2001), uma vez que, conforme constatado, esta espécie produziu a maior quantidade de matéria seca (3,1 t ha^{-1}) entre todas aquelas utilizadas e, conseqüentemente, pode ter proporcionado a maior extração (acúmulo) desse nutriente, acarretando maior teor solúvel tanto do Ca quanto de Mg para a cultura do milho. Entretanto, nesses dois casos, o teor de Mg trocável encontrava-se abaixo do adequado para a cultura do milho quando cultivado em seqüência ao milheto. Menor teor de S foi constatado no resíduo de painço (capim moha), pois essa espécie é excelente extratora desse elemento. Contudo, possui palhada com elevada relação C/N, apresentando baixa velocidade de decomposição e, conseqüentemente, baixa liberação do S, o que pode explicar o resultado obtido. Quanto ao Zn, os teores não apresentaram valores adequados, sendo o milheto aquele resíduo onde o maior teor foi verificado no milho.

A aplicação de calcário na superfície do solo, associada ao manejo de resíduos vegetais, promove a elevação do pH, redução de Al trocável e aumento nos valores de Ca^{2+} e Mg^{2+} , até a camada subsuperficial (0,40 m) (Pavan, 1994; Oliveira & Pavan, 1996). Vários estudos realizados no Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) também

mostraram a eficiência de extratos vegetais na neutralização da acidez da camada subsuperficial do solo (Franchini et al., 1999a e 1999b; Meda et al., 1999; Cassiolato et al., 1999).

As influências dos resíduos vegetais e da calagem superficial são mais expressivas no SPD em sistemas estabelecidos há mais de 5 anos do que na sua implantação (Barella et al., 2003), isto porque o solo deve passar por um período de adaptação, principalmente pela microbiota responsável pela ciclagem de nutrientes e decomposição dos resíduos vegetais.

A calagem superficial do solo promoveu aumento da produção de matéria seca de 8 espécies de cobertura vegetal (mucuna anã, mucuna cinza, mucuna preta, feijão-de-porco, guandu anão, *Crotalaria juncea*, *Crotalaria retusa* e *Crotalaria spectabilis*) utilizadas por Ernani et al. (2001a) nos dois solos estudados (Latossolo e Cambissolo).

O baixo peso molecular dos ácidos orgânicos de resíduos de plantas causa um grande efeito na química de solos ácidos: aumento do pH do solo e do Ca, Mg e K trocáveis, e decréscimo do Al (Meda et al., 2001). Embora seja considerado que esses ácidos orgânicos possuem vida curta no solo, a sua produção ininterrupta faz com que seus ânions se tornem importantes na química do solo devido à alta contribuição nos sistemas agrícolas no Brasil (Calegari et al., 1993; Chaves et al., 1997).

A decomposição dos resíduos vegetais gera compostos orgânicos hidrossolúveis, apontados como responsáveis pela complexação de Ca^{2+} nas camadas superficiais, que migraria no perfil do solo, sendo que, de acordo com Miyazawa et al. (2000), esses ácidos orgânicos apresentam diferentes capacidades de neutralização da toxidez de Al, sendo mais eficientes aqueles que formam complexos estáveis.

Miyazawa et al. (1993) e Franchini et al. (1999a), estudando o efeito do material vegetal na acidez do solo e citando outros autores, descreveram quatro principais mecanismos envolvidos na reação do material orgânico: a) adsorção de H^+ e Al^{3+} na superfície do material (Hoyt & Turner, 1975), b) precipitação de Al pelo aumento do pH devido às reações de troca entre os ânions orgânicos e hidróxidos terminais dos óxidos de Fe e Al (Hue, 1992), c) associação de ânions orgânicos com o H^+ no solo (Ritchie & Dolling, 1985) e d) complexação do Al com ácidos orgânicos (Hue et al., 1986).

Já Amaral et al. (2004), estudando os efeitos dos resíduos de plantas de cobertura, concluíram que os resíduos vegetais não tiveram efeito sobre a correção da acidez do solo em profundidade, tendo seus efeitos se restringido à camada de 0 – 0,025 m.

Os resíduos de adubos verdes em geral (aveia preta, nabo forrageiro, tremoço, leucena, mucuna cinza e crotalária) apresentam altas quantidades de cátions no tecido (Miyazawa et al., 2000), sendo que a capacidade neutralizadora da acidez do solo pelos resíduos vegetais está relacionada com a quantidade de cátions (Ca, Mg e K) e, conseqüentemente, de ânions orgânicos, devido à necessidade de manter a eletroneutralidade na planta. No entanto, a capacidade da neutralização de H^+ do resíduo vegetal reduz com o avanço da idade da planta, em razão da mobilização de Ca, Mg, K e de compostos orgânicos hidrossolúveis para as estruturas de propagação, atingindo o máximo na fase de pleno florescimento (Franchini et al., 1999b).

As plantas de cobertura são cultivadas isoladas ou em associações com outras, visto que o consórcio de gramíneas e leguminosas, além de apresentar um importante

efeito melhorador das características físicas do solo (agregação, estruturação), produz um resíduo de relação C/N intermediário, que favorecerá uma mineralização progressiva do nitrogênio, além de promover, ao longo dos anos, um maior equilíbrio e acúmulo de carbono no perfil do solo. No caso de decomposição dos resíduos de gramíneas mescladas com resíduos de leguminosas, em geral, não há problemas com imobilização do nitrogênio (Calegari, 2002).

Ciotta et al. (2002), estudando a acidificação de um Latossolo sob plantio direto, avaliaram as produtividades alcançadas por 39 safras no período 1978-2000, e constataram aumentos na ordem de 22% para a cultura do milho e de até 42% para a cultura da soja conduzidos sob esse sistema quando comparados às mesmas culturas conduzidas em plantio convencional. Concluíram que a acidificação da camada superficial do solo sob plantio direto é minimizada pelas maiores concentrações de Ca, Mg, K e de P na fase sólida e na solução do solo e pelos maiores teores de C orgânico total e solúvel.

Garbuio et al. (2003) concluíram que a cobertura vegetal de aveia preta não exerceu qualquer influência na correção da acidez e na movimentação de cátions polivalentes para o subsolo tendo, entretanto, influenciado a resposta do milho à aplicação superficial de calcário que, em presença da cobertura, necessitou de $3,1 \text{ t ha}^{-1}$ do corretivo para alcançar o seu melhor rendimento, enquanto que, nas parcelas onde não havia cobertura vegetal, a dose de corretivo necessária para se obter o mesmo efeito sobre a produtividade do milho foi de $7,5 \text{ t ha}^{-1}$.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL

O experimento foi instalado no dia 11 de novembro de 2003 na área previamente selecionada e delimitada do lote rural nº 2 da Gleba nº 12, imóvel rural Rio Azul Piqueroby, na linha São Roque, no município de Palotina - PR, de propriedade do IAPAR (Instituto Agrônômico do Paraná), com latitude S 24°18' e longitude W 53°55', a 310 metros de altitude.

2.1.1 Solo

O experimento foi instalado sobre LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico (EMBRAPA, 1999), sob sistema plantio direto há 5 anos e com cobertura anterior de soja. Para a sua caracterização química, antes da instalação do experimento foram retiradas 40 amostras simples estratificadas de solo da área (0 – 0,10 m e 0,10 – 0,20 m

de profundidade) para formar duas amostras compostas, realizando-se a análise química de rotina pelo Laboratório de Química Agrícola e Ambiental da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE.

2.1.2 Clima

O clima que caracteriza a região é do tipo subtropical quente e úmido – Cfa, segundo a classificação de Köeppen (temperatura média no mês mais frio inferior a 18°C (mesotérmico) e temperatura média no mês mais quente acima de 22°C, com verões quentes, geadas pouco freqüentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida) (IAPAR, 2004a), com temperatura média anual de 24° C, sendo a mínima de 2° C e a máxima de 42° C. Na Tabela 1 são apresentadas as médias mensais de precipitação, temperatura máxima e mínima e umidade relativa do ar registradas entre os anos de 1993 e 2003 no local (IAPAR, 2004b).

As médias de temperatura máxima e mínima, precipitação e umidade relativa do ar registradas nos meses de condução do experimento (outubro de 2003 a outubro de 2004) se encontram relacionadas na Tabela 2.

Tabela 1 – Valores médios de temperatura máxima e mínima do ar e de umidade relativa do ar e total mensal médio de precipitação registrados na Estação Experimental de Palotina, entre os anos de 1993 e 2003 (IAPAR, 2004b)

Mês	Temperatura (°C)		Precipitação (mm)	Umidade Relativa do Ar (%)
	Máxima	Mínima		
Janeiro	32,1	20,5	169,6	79
Fevereiro	31,8	20,2	157,6	79
Março	31,6	19,4	113,4	77
Abril	29,2	16,7	135,8	77
Mai	25,4	13,3	157,4	80
Junho	23,7	11,6	115,8	81
Julho	24,2	10,6	84,9	78
Agosto	26,1	12	81,1	73
Setembro	27,1	14,1	141,3	71
Outubro	29,5	16,8	162,3	72
Novembro	30,9	18,1	161,6	71
Dezembro	31,4	19,6	172,6	77

Tabela 2 – Temperaturas médias máxima e mínima (°C), médias de precipitação (mm) e de umidade relativa do ar (%) durante a realização do experimento, nos meses de outubro de 2003 a outubro de 2004 (IAPAR, 2004a)

Ano	Mês	Temperatura (°C)		Precipitação (mm)	Umidade Relativa do Ar (%)
		Máxima	Mínima		
2003	Outubro	30,77	15,95	124,60	71,67
	Novembro	31,45	16,74	176,40	70,07
	Dezembro	30,83	18,95	236,20	85,56
2004	Janeiro	32,36	19,59	86,80	81,33
	Fevereiro	32,88	18,12	63,60	73,83
	Março	32,82	16,97	85,00	73,29
	Abril	29,73	18,65	160,00	84,93
	Mai	21,59	11,65	225,40	91,75
	Junho	23,35	11,60	90,20	87,63
	Julho	22,75	11,60	92,20	84,07
	Agosto	27,23	9,76	22,00	72,32
	Setembro	30,93	14,74	49,00	70,22
	Outubro	28,99	15,65	267,00	72,43

2.2 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental foi de blocos casualizados em esquema fatorial 5x2, com 4 repetições. (Figura 2). Os tratamentos foram constituídos de cinco coberturas vegetais em combinação com e sem calagem em superfície.

21	guandu s/	mix c/	20
22	moha s/	milheto s/	19
23	pousio s/	guandu c/	18
24	mix s/	moha c/	17
25	milheto c/	pousio c/	16
26	pousio c/	mix s/	15
27	guandu s/	milheto s/	14
28	mix c/	moha c/	13
29	moha s/	pousio s/	12
30	milheto c/	guandu c/	11
31	guandu s/	moha s/	10
32	milheto c/	pousio c/	9
33	mix s/	guandu c/	8
34	moha c/	milheto s/	7
35	pousio s/	mix c/	6
36	milheto c/	mix s/	5
37	guandu s/	guandu c/	4
38	moha c/	pousio s/	3
39	pousio c/	milheto s/	2
40	mix c/	moha s/	1

Figura 2 – delineamento experimental

As parcelas tinham 5,80 m de largura por 5,00 m de comprimento, com 29,00 m² cada, onde foram semeadas 6 linhas de milho com 0,90 m entre linhas. Como

parcela útil utilizaram-se as 2 linhas centrais, desprezando-se 1,50 m das extremidades como bordadura. A área total do experimento foi de 1.160,00 m².

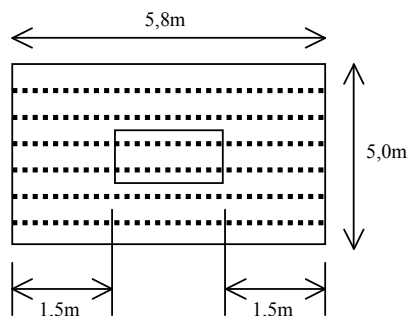


Figura 3 – Representação esquemática das parcelas e das parcelas úteis

2.3 CARACTERIZAÇÃO DAS ESPÉCIES DE COBERTURA VEGETAL

As espécies utilizadas para a formação da cobertura vegetal foram o milheto (*Pennisetum glaucum*), espaçado de 0,40 m entre linhas e com densidade de 6 a 8 plantas m⁻¹, o capim moha (*Setaria italica*), espaçada de 0,20 m entre linhas e com densidade de 12 a 15 plantas m⁻¹ e o guandú (*Cajanus cajan*), espaçado de 0,40 m entre linhas e com densidade de 6 a 8 plantas m⁻¹. Também foi avaliada uma associação de milheto e guandú (mix), semeados em linhas intercaladas e espaçadas de 0,40 m nas entrelinhas, com densidade de 6 a 8 plantas m⁻¹, além de uma última área em que foi praticado o pousio, tendo sido utilizado como cobertura a vegetação

espontânea de plantas daninhas, onde predominaram o picão-preto (*Bidens pilosa*), a trapoeraba (*Commelina benghalensis*) e leiteiro (*Euphorbia heterophylla*).

2.4 CARACTERIZAÇÃO DA CULTURA PRINCIPAL

Para a instalação da cultura principal foi utilizada a cultivar de milho híbrido simples modificado AG 9010, cuja principal característica é o ciclo superprecoce, levando no máximo 53 dias para florescer e 115 dias para atingir a maturação fisiológica dos grãos após a emergência. De estatura baixa, apresenta uma altura média de plantas de 1,90 m e uma altura média de inserção da espiga de 0,80 m. Com alta resistência ao acamamento e ao quebramento e com folhas eretas, permite o adensamento na semeadura e a obtenção de uma população final de até 60.000 plantas ha⁻¹. Seus grãos são duros e alaranjados, com bom empalhamento da espiga e com um potencial produtivo de até 8.000 kg ha⁻¹ no período de inverno. Quanto à tolerância à doenças e pragas, a cultivar apresenta susceptibilidade à *Puccinia sorghi*, moderada susceptibilidade à *Physopela zea*, moderada resistência ao *corn stunt* e à *Phaeospheria maydis* e resistência ao *Helminthosporium turcicum* e à *Puccinia polysora*, sendo ainda moderadamente resistente a doenças do grão e resistente a doenças do colmo (Sementes Agrocere, 2004; UNICAMP, 2005).

2.5 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

2.5.1 Calagem

A necessidade de calagem foi calculada com base na fórmula de saturação por bases (Raij et al., 1991) a partir da caracterização química inicial de 0 –0,20 m do solo realizada em outubro de 2003 (Tabela 5), tendo sido determinado que a dose a ser aplicada seria de 3.200 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT = 70%) para elevar a saturação por bases a 70%. O calcário foi aplicado na superfície do solo, em área total das parcelas pré-definidas no dia 11 de novembro de 2003, tendo sido distribuído manualmente sem incorporação. Após tal aplicação, foi realizada a semeadura dos adubos verdes nas respectivas parcelas.

2.5.2 Instalação e condução das coberturas vegetais

A implantação dos adubos verdes coincidiu com o dia da calagem, tendo sido semeadas com uma semeadora de parcelas. Devido a um período de estiagem na época de semeadura das coberturas vegetais (Tabela 3) verificou-se um retardo na germinação e emergência dos mesmos, porém sem prejuízo para a formação do estande final de plantas.

Os materiais de cobertura foram conduzidos durante aproximadamente quatro meses quando, no dia 19 de fevereiro de 2004, foi realizada a dessecação pela aplicação de herbicida cujo ingrediente ativo é o glyphosate, numa dosagem de 4 L do

p.c. ha^{-1} . Tendo sido estipulada inicialmente para quando cada espécie atingisse a floração (momento em que 50% ou mais plantas estavam com estruturas florais visíveis), esta operação teve que ser adiada pela falta de umidade, sendo realizada na emissão de vagens ou de panículas. A aplicação foi realizada com pulverizador tratorizado de barras, com bicos do tipo leque (11002) espaçados em 0,50 m, utilizando-se um volume de calda de 200 L ha^{-1} .

A primeira coleta de palha foi efetuada no 4º dia após a sua dessecação (DAD), retirando-se uma amostra de biomassa de todas as parcelas para avaliação de matéria seca produzida. A retirada da amostra foi efetuada numa área de $0,25 \text{ m}^2$, aleatoriamente estabelecida na área da parcela. As demais amostras para avaliação da decomposição de biomassa seca foram coletadas posteriormente, nos dias 17 de março de 2004, 05 de abril de 2004 e 26 de abril de 2004. Essas coletas corresponderam àquelas previstas para serem tomadas aos 15, 30 e 45 DAD.

As amostras foram levadas para o Laboratório de Química Agrícola e Ambiental da UNIOESTE, onde permaneceram em estufa de circulação forçada de ar até atingirem massa constante, a uma temperatura de 65°C , sendo posteriormente determinada a biomassa seca com o auxílio de uma balança de precisão.

2.5.3 Instalação e condução da cultura principal

O milho foi semeado com o auxílio de uma semeadora/adubadora para sistema plantio direto, 42 DAD, com uma densidade de 5 a 6 plantas m^{-1} na linha de semeadura, em espaçamento de 0,90 m entre linhas, com 6 linhas de 5,00 m de

comprimento por parcela. O híbrido utilizado foi o AG-9010, tendo-se tratado as sementes com thiodicarb, na dosagem de 0,02 L do pc kg⁻¹ de sementes. O período de intensa estiagem que ocorreu nos 3 meses que antecederam a semeadura da cultura, referido na Tabela 3, foi determinante no atraso do processo de germinação e emergência das plântulas, o que só ocorreu por completo 15 dias após a semeadura (DAS).

Como adubação de semeadura foram aplicados 190 kg ha⁻¹ da formulação 08-20-20, quantidade definida em razão da análise de solo realizada quando da instalação do experimento, de acordo com as recomendações técnicas do IAPAR e da EMBRAPA/CNPSM (1997). Posteriormente, 25 dias após a emergência (DAE), foi efetuada uma aplicação de uréia em cobertura (80 kg ha⁻¹ de N), no dia de ocorrência do estágio E 2,0 (8 folhas).

Durante a condução da cultura do milho foram realizadas 2 aplicações de inseticidas químicos, um cujo ingrediente ativo é o paration metílico, na dosagem de 0,6 L do p.c. ha⁻¹, e outro a base de clorpirifos, na dosagem de 0,6 L do p.c. ha⁻¹, para o controle da lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*). Foram também efetuadas uma aplicação de atrazine, na dosagem de 2,5 L do p.c. ha⁻¹, e uma capina manual para o controle de plantas daninhas.

A colheita manual da área útil da parcela, para a avaliação da produtividade, foi realizada aos 160 DAE, ocasião em que também foram separadas 5 espigas por parcela para determinação dos componentes da produção (número de grãos por espiga, massa dos grãos por espiga e massa de 100 grãos), em função das espécies vegetais e

da aplicação, ou não, de calcário. A degrana de todas as espigas de cada parcela foi realizada com auxílio de um debulhador manual.

2.6 AVALIAÇÕES

2.6.1 Análises químicas de rotina do solo para fins de fertilidade

Foram tomadas 2 amostras na área total no início do experimento (0 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m) e 80 amostras no momento do manejo da cobertura vegetal, sendo que em cada uma das 40 parcelas foram tomadas duas amostras, uma de 0 – 0,10 e outra de 0,10 – 0,20 m. Estas últimas foram coletadas aos 26 DAD, na entrelinha de semeadura das espécies, para determinação das alterações químicas no solo (pH, teores de P, M.O., H + Al, K, Ca e Mg e valores de SB, CTC, V% e m%). As análises de rotina foram realizadas no Laboratório de Química Agrícola e Ambiental da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Campus de Marechal Cândido Rondon, seguindo metodologia descrita por Pavan et al. (1992).

2.6.2 Produtividade e decomposição da biomassa das plantas utilizadas como cobertura vegetal

De cada uma das espécies e da associação de espécies de cobertura vegetal estudadas, bem como das áreas de pousio, foram coletadas amostras da palhada, uma 4

DAD e as demais aos 19, 34 e 49 DAD, retirando-se, para compor cada uma delas, o material de cobertura existente em $0,25 \text{ m}^2$, posicionado aleatoriamente na área útil da parcela. Para esse fim foi utilizado um quadro com $0,50 \text{ m}$ de comprimento lateral, arremessado aleatoriamente sobre a parcela. Com isso, pôde-se determinar a produtividade de matéria seca e o seu tempo de decomposição.

2.6.3 Produtividade da cultura principal

A avaliação da cultura principal por meio da produtividade de grãos foi efetuada, em cada uma das 40 parcelas, coletando-se os grãos das plantas das duas fileiras centrais, descartando-se aquelas localizadas a até $1,50 \text{ m}$ de cada extremidade delas. A produção colhida foi pesada, determinando-se, para cada parcela, a umidade dos grãos, a qual foi corrigida para 13% (base úmida) e o resultado obtido extrapolado para valores equivalentes em kg ha^{-1} . Também foram separadas 5 espigas por parcela para determinação dos componentes da produção (número de grãos por espiga, massa dos grãos por espiga e massa de 100 grãos).

2.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados médios de produção de biomassa seca das espécies vegetais, de produtividade de grãos, número de grãos por espiga, massa dos grãos por espiga e massa de 100 grãos, bem como das propriedades químicas do solo (0 – 0,10 e 0,10 –

0,20 m) foram submetidos à análise da variância, posteriormente aplicando-se o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. O efeito de época foi avaliado pela análise de regressão. Todos os cálculos foram efetuados utilizando-se o programa de computador SAEG[®] (Euclides, 1993, e Ribeiro Jr, 2001).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 PRODUÇÃO E DECOMPOSIÇÃO DE BIOMASSA DAS ESPÉCIES UTILIZADAS COMO COBERTURA VEGETAL

Pela análise dos resultados de biomassa seca dos resíduos das plantas de cobertura (Tabela 3) verificou-se que houve efeito significativo entre as espécies, época de coleta e também da interação entre época e espécies.

Tabela 3 – Análise da variância da produção de biomassa seca das espécies vegetais em diferentes épocas (na dessecação e 15, 30 e 45 dias após). Palotina - PR (2004)

Fontes de Variação	GL	QM	F	
Bloco	3	31081770	1,87	ns
Época	(3)	1184073000	71,22	**
Espécie	(4)	526151000	31,65	**
Calagem	1	5996470	0,36	ns
Época x Espécie	(12)	151455300	9,11	**
Pousio				
linear	1	35492660	2,13	ns
quadrática	1	18489890	1,11	ns
cúbica	1	38023080	2,28	ns
Milheto				
linear	1	2397331000	144,18	**
quadrática	1	668192300	40,18	**
cúbica	1	280797100	16,88	**
Capim Moha				
linear	1	61846260	3,71	ns
quadrática	1	13030010	0,78	ns
cúbica	1	27576830	1,65	ns
Guandú				
linear	1	374512200	22,52	**
quadrática	1	21388410	1,28	ns
cúbica	1	85812620	5,16	*
Milheto + Guandú				
linear	1	1255446000	75,50	**
quadrática	1	74839020	6,06	*
cúbica	1	16902440	1,01	ns
Espécies / 0 DAM	3	100189400	6,03	**
Espécies / 15 DAM	3	26424220	1,59	ns
Espécies / 30 DAM	3	6775248	0,41	ns
Espécies / 45 DAM	3	11308850	0,68	ns
Época x Calagem	3	36698030		ns
Espécie x Calagem	4	28898400		ns
Época x Espécie x Calagem	12	20593850		ns
Resíduo	117	16626630		
Total	159			

*, **: significativo pelo teste F, respectivamente a 5 e 1% de probabilidade
 ns: não significativo, pelo teste F a 5% de probabilidade
 DAM: dias após o manejo das coberturas vegetais

Entre as espécies coletadas após a dessecação, verificou-se que o milheto apresentou maior produção de matéria seca. O tratamento contendo mix (milheto e guandú) e guandú apresentaram valores intermediários ao pousio. E ao capim moha, que apresentaram os menores valores uma vez que o capim moha apresentou ciclo mais curto (ao redor de 75 dias) (Tabela 4).

Tabela 4 – Comparação de médias de produção de matéria seca (kg ha^{-1}) por espécie vegetal de cobertura e redução percentual em relação ao tempo zero e por época de amostragem (dias após dessecação). Palotina - PR (2004)

Espécie	Época (dias após a dessecação)			
	4	19	34	49
	----- kg ha^{-1} -----			
Milheto	32523,55 a	10343,70 ab	10550,60 ab	6649,05 a
Milheto + Guandú	24062,55 b	14101,55 a	10449,35 ab	6605,50 a
Guandú	18826,30 b	11201,95 ab	12536,15 a	8182,00 a
Capim Moha	9809,89 c	5629,60 bc	6877,10 b	5249,25 a
Pousio	8963,65 c	4551,45 c	6534,40 b	5162,75 a

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Após 15 dias, devido à decomposição da palhada, o milheto apresentou uma redução de 67 % na biomassa seca enquanto o mix apresentou uma decomposição mais lenta (41%) e deste modo apresentou valores superiores às demais espécies,

porém ainda semelhantes ao guandú e ao milheto. O pousio e o capim moha apresentaram menores valores de matéria seca produzida em relação às demais espécies, entretanto, com decomposição mais lenta no período de avaliação, visto que pelo ciclo mais curto tanto das plantas daninhas como do capim moha, quando dessecados, estavam em final de ciclo e, provavelmente, com maior relação C/N (Tabela 4).

Após 30 dias constatou-se a mesma tendência de decomposição dos resíduos, o guandú foi superior às demais espécies, o capim moha e pousio apresentaram os menores valores, o milheto e mix apresentaram os valores semelhantes. Isso ocorreu porque, como o guandú foi apenas dessecado e não rolado, o lenho dos ramos se decompôs mais lentamente, em contrapartida, pela maior produção de MS do milheto e predomínio desta espécie no mix, houve este resultado de maior residual de palhada (Tabela 4).

Aos 45 dias não houve diferenças significativas entre as espécies, devido ao estágio avançado de decomposição dos resíduos vegetais (Tabelas 4 e 5).

Analisando a decomposição de cada espécie, ao longo do período de 45 dias (Figura 4), verifica-se que não houve efeito significativo na taxa de decomposição dos resíduos em capim moha e também para o pousio, mantendo a média de 6891,46 e 6303,81 kg ha⁻¹, respectivamente.

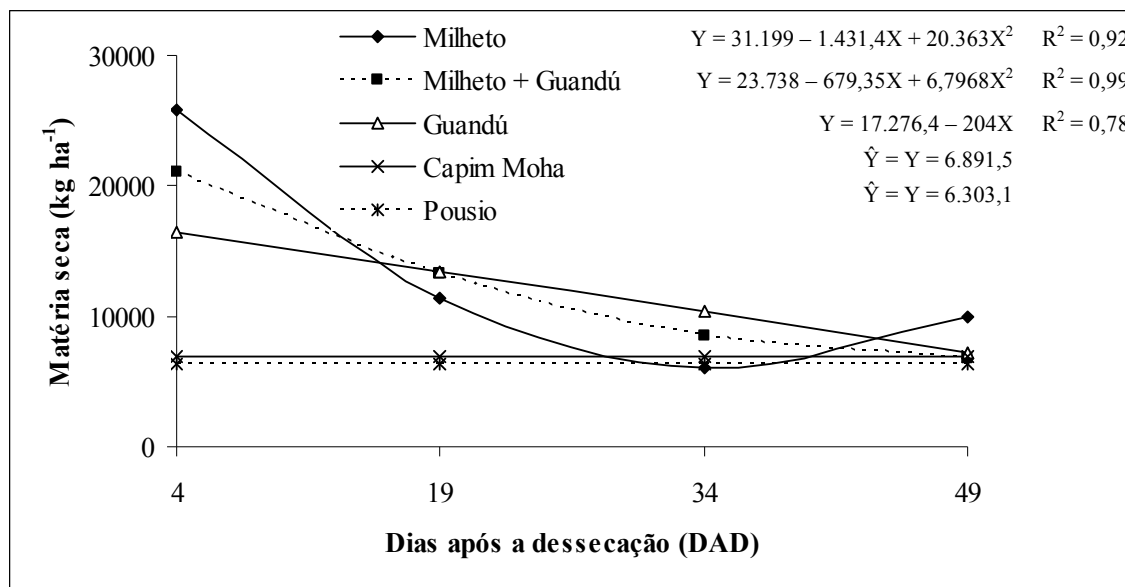


Figura 4 – Decomposição da matéria seca das espécies utilizadas como cobertura vegetal.

As decomposições dos resíduos de milho e do consórcio (milho e guandú) decresceram de forma quadrática em função do tempo apresentando acelerada redução após 15 dias, cerca de 67% do milho e Mix com 41,4%. Já os resíduos de guandú decompuseram de forma linear ao longo do período, apresentando uma taxa de decomposição de 41% em relação ao valor inicial. As leguminosas por possuírem baixa relação C/N, disponibilizando mais nutrientes (principalmente N) refletiram nesse resultado, uma vez que, o predomínio de gramíneas apresenta maior relação C/N.

3.2 ALTERAÇÕES QUÍMICAS NO SOLO

As avaliações efetuadas demonstraram que, no momento da coleta das amostras, tanto na camada de 0 – 0,10 m quanto na camada de 0,10 – 0,20 m, o teor de umidade do solo encontrava-se em 0,20 kg kg⁻¹ de solo. A Tabela 5 apresenta os valores obtidos na análise química de rotina das amostras obtidas.

Tabela 5 – Caracterização química do solo utilizado no experimento, nas camadas de 0 – 0,10 m e 0,10 – 0,20 m, antes da calagem em superfície. Palotina – PR

Profundidade (m)	Características Analisadas											
	P	MO	pH CaCl ₂	H ⁺ +Al ³⁺	Al ³⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	CTC	V	m
	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	0,01 mol L ⁻¹	----- cmol _c dm ⁻³			-----			----- %	-----	
0 – 0,10	12,48	21,87	4,50	6,21	0,30	0,75	4,44	1,28	6,47	12,68	51,0	4,43
0,10 – 0,20	23,00	25,29	4,68	6,21	0,15	0,91	5,01	1,60	7,52	13,73	54,7	1,96

Pelo resultado da análise da variância para atributos químicos do solo na camada de 0-10 e 10-20 (Tabela 6), verificou-se não ter havido efeito significativo das plantas de cobertura sobre estes na primeira camada, ao contrário dos resultados obtidos na camada mais profunda estudada, tendo a calagem influenciado o pH, os teores de Al³⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, CTC e a saturação por Al (Tabela 6). Houve um acréscimo dos teores de Ca e Mg pela adição de calcário, com conseqüente aumento na CTC e no V%. Esse calcário promoveu o aumento do pH de 4,9 para 5,2 pela insolubilização do Al do solo, reduzindo a saturação por Al de 4,5 para 2,6%.(Tabela 7).

A calagem na superfície apresentou eficiência sobre a elevação do pH e dos teores de Ca e Mg nas camadas superficiais do solo e, dependendo da dose utilizada e do tempo de reação do calcário, também pode alterar os atributos químicos relacionados com a acidez em camadas do subsolo (Caires et al., 2002). Possivelmente, na camada de 0 - 0,10 m, o efeito da calagem em superfície (Tabela 7) foi mais significativo do que as espécies de cobertura em relação ao teor de nutrientes e correção de acidez. O tempo entre a semeadura e o manejo das plantas (dessecação) foi relativamente curto, sendo este afetado diretamente pela baixa precipitação (Tabela 2) durante o período de condução das espécies de cobertura.

Tabela 6 – Resumo da análise de variância dos atributos químicos de solo, nas profundidades de 0 – 0,10 m e 0,10 – 0,20 m em função da calagem e espécies vegetais de cobertura. Palotina - PR (2004)

Fonte de Variação	GL	QM											V	m
		M.O.	pH	H + Al	Al	K	Ca	Mg	SB	CTC				
0 – 0,10 m														
Repetição	3	535,313 ns	0,2202 ns	1,5314 ns	0,0806 ns	0,0909 ns	0,5490 ns	0,0461 ns	1,8798 ns	0,360 ns	66,01 ns	16,19 ns		
Calagem	1	703,417 ns	0,7952 *	0,3423 ns	0,1428 *	0,0302 ns	3,5403 *	1,3068 *	5,6475 ns	5,133 *	125,67 ns	35,96 *		
Espécie	4	326,888 ns	0,0353 ns	0,7200 ns	0,0174 ns	0,0928 ns	0,0243 ns	0,1084 ns	0,5168 ns	0,625 ns	17,92 ns	3,84 ns		
Calagem x Espécie	4	174,313 ns	0,0424 ns	1,4422 ns	0,0334 ns	0,0306 ns	0,7944 ns	0,1707 ns	2,0590 ns	0,495 ns	68,13 ns	6,55 ns		
Resíduo	27	248,554	0,1174	0,9401	0,0309	0,0553	0,5052	0,1120	1,4277	0,691	43,62	6,16		
Total	39													
CV (%)	42,14	16,05	6,78	16,07	67,64	27,88	15,51	16,08	16,08	6,14	11,91	70,02		
0,10 – 0,20 m														
Repetição	3	78,778 ns	0,0552 ns	0,8327 ns	0,0752 ns	0,0497 ns	0,2805 ns	0,1047 ns	0,1047 ns	0,7551 ns	42,1576 ns	25,316 ns		
Calagem	1	3,266 ns	0,0249 ns	1,9228 ns	0,0563 ns	0,2103 ns	0,1588 ns	0,0116 ns	0,0116 ns	0,2739 ns	54,4989 ns	9,8903 ns		
Espécie	4	260,939 *	0,0224 ns	0,3195 ns	0,0216 ns	0,0792 ns	1,1832 ns	0,0785 ns	0,0785 ns	0,7873 ns	20,6643 ns	7,1506 ns		
Calagem x Espécie	4	113,911 **	0,0668 ns	1,0776 ns	0,1347 **	0,0246 ns	2,1701 ns	0,0151 ns	0,0151 ns	1,4451 ns	54,5960 ns	42,229 **		
Resíduo	27	85,3223	0,0647	1,2507	0,0233	0,0518	1,1985	0,0416	0,0416	0,9456	59,2909	6,539		
Total	39													
CV (%)	49,97	19,46	5,34	16,86	42,92	38,10	26,58	12,40	12,40	7,42	15,61	46,94		

ns: não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

*, **: significativo a 5 e a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente

Tabela 7 – Média de valores dos atributos químicos do solo na profundidade de 0 a 0,10 m em função da calagem e espécies vegetais de cobertura. Palotina - PR (2004)

Fonte de Variação	P	MO	pH	H + Al	Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V	m
	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	0,01 mol L ⁻¹				cmol _c dm ⁻³					%
Calagem												
sem calagem	33,61	22,01	4,91 b	6,12	0,32 a	0,85	4,28 b	1,90 b	7,05	13,18 b	53,68	4,49 a
com calagem	41,60	20,74	5,19 a	5,40	0,20 b	0,82	4,88 a	2,26 a	7,80	13,89 a	57,23	2,60 b
Espécie												
pousio	35,97	19,14	5,11	6,05	0,24	0,82	4,50	2,10	7,42	13,46	54,96	3,39
milheto	30,99	21,96	4,94	6,06	0,24	0,75	4,64	2,11	7,13	13,56	55,19	3,21
capim moha	33,06	23,41	5,10	5,53	0,21	0,94	4,57	2,19	7,70	13,23	58,01	2,73
guandú	47,18	21,70	5,05	6,32	0,27	0,97	4,58	2,11	7,67	13,99	55,04	3,82
milheto + guandú	39,83	20,68	5,06	6,20	0,33	0,74	4,61	1,88	7,23	13,43	54,06	4,57

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Na camada de 0,10 – 0,20 m verificou-se uma variação significativa dos valores de P, Al, e m%, onde se pôde constatar o efeito da interação calagem e espécie vegetal de cobertura utilizada (Tabela 6). Pavan (1994), Oliveira & Pavan (1996) e Caires et al. (1999) também verificaram que a aplicação do calcário na superfície do solo, associada ao manejo de resíduos vegetais, proporcionou o aumento do pH e do teor de Ca e de Mg, com diminuição da acidez potencial ($H+Al$) e trocável (Al^{3+}) nas camadas localizadas abaixo do local de aplicação, sendo este efeito, em alguns casos, constatado até 0,60 m de profundidade.

Quando se comparou a disponibilização de P proporcionada pelas diferentes espécies (Tabela 9), verificou-se que os tratamentos com guandú foram significativamente superiores aos demais tratamentos, inclusive com mix (milheto + guandú). Os resultados estão de acordo com os obtidos por Carneiro (1999), o qual constatou que o guandú favoreceu a ocorrência de fungos solubilizadores de fosfato e bactérias solubilizadoras de fosfatol, sugerindo que esta forma de mineralização do fósforo orgânico seja um importante processo de disponibilização deste elemento para as plantas neste ecossistema.

Isso também pode ser justificado pela capacidade de acidificação do entorno da rizosfera pelo guandú, por ação de bactérias nitrificadoras na simbiose *Rhizobium*/raíz e pela ação dos fungos solubilizadores de fosfato e bactérias solubilizadoras de fosfatol, que mineralizam o fósforo como constatado por Carneiro (1999). As raízes excretam grandes quantidades de ácido cítrico que solubiliza o P fixado (Gardner et al., 1983), aumentando a absorção de P pelas plantas. Da mesma forma, raízes de guandú excretam ácido picídico, malônico e oxálico, que parece ser o

mecanismo pelo qual esta espécie é capaz de liberar o P dos fosfatos de alumínio e ferro (Otani et al; 1996).

Tabela 8 – Comparação de médias dos teores de P e Al e da saturação por Al (m) na interação calagem X espécie vegetal de cobertura, na profundidade de 0,10 a 0,20 m. Palotina - PR (2004).

Espécie	P		Al		m	
	mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³		%	
	sem calagem	com calagem	sem calagem	com calagem	sem calagem	com calagem
Pousio	15,8300 Aa	19,9750 Aab	0,3250 Ab	0,4375 Aa	4,9350 Ab	6,7025 Aa
Milheto	19,6225 Aa	11,7525 Ab	0,3500 Aab	0,2875 Aa	4,6925 Ab	4,1100 Aa
Capim Moha	13,5775 Aa	19,9025 Aab	0,2000 Ab	0,3750 Aa	2,5850 Bb	6,4775 Aa
Guandú	24,5500 Aa	32,1050 Aa	0,6625 Aa	0,1750 Ba	10,6950 Aa	2,4850 Ba
Milheto + Guandú	17,4025 Aa	10,1050 Ab	0,4250 Aab	0,3125 Aa	6,8125 Aab	4,9725 Aa

Médias seguidas pelas mesmas letras, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Segundo Barella et al. (2003), acredita-se que os produtos da dissolução do calcário, associados a ligantes orgânicos oriundos de resíduos vegetais, atuam no aumento de pH, e teores de Ca e Mg, e na redução da acidez potencial.

Tabela 9 – Média de valores dos atributos químicos do solo na profundidade de 0,10 a 0,20 m em função da calagem e espécies vegetais de cobertura. Palotina - PR (2004)

Fonte de Variação	P	MO	pH	H + Al	Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V	m
	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	0,01 mol L ⁻¹			cmol _c dm ⁻³						%
Calagem												
sem calagem	18,20 b	19,34	4,76	6,41	0,39 a	0,67	4,06	1,66	6,61	13,02	50,49	5,94 a
com calagem	18,77 a	19,38	4,76	6,85	0,32 b	0,52	4,18	1,63	6,33	13,18	48,16	4,95 b
Espécie												
pousio	17,90	20,67	4,83	6,96	0,38	0,51	4,06	1,67	6,30	13,25	47,68	5,82
milheto	15,69	21,02	4,78	6,60	0,32	0,55	4,47	1,73	6,75	13,35	50,46	4,40
capim moha	16,74	18,88	4,76	6,41	0,29	0,76	4,45	1,71	6,92	13,33	51,47	4,53
guandú	28,33	18,03	4,68	6,60	0,42	0,63	4,08	1,63	6,34	12,95	48,97	6,59
milheto + guandú	13,75	18,20	4,75	6,58	0,37	0,53	3,53	1,48	6,04	12,62	48,06	5,89

* Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

A calagem não proporcionou diferença entre as plantas de cobertura quanto ao teor de Al e também para m% (Tabela 9). Entretanto, na ausência de calagem, o tratamento com o capim moha resultou no menor teor de Al ($0,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), ao passo que o guandú foi a espécie que proporcionou o maior teor ($0,66 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) no solo.

Os resultados citados por Franchini et al. (1999a), Meda et al. (2001) e Franchini et al. (2001a), comprovam que pela decomposição da palhada existe a produção de ácidos orgânicos que promovem uma maior lixiviação de bases e efeito na correção do solo em profundidade.

Maiores produções de massa na parte aérea resultam em grande quantidade de raízes, capazes de melhorar a infiltração de água no solo, com efeito também nos mecanismos de correção, pelos canais radiculares deixados intactos (Caires, 2000c).

Alvarenga (1993), comparando diferentes adubos verdes, concluiu ser o guandú a espécie de maior potencial para penetração de raízes no solo, maior produção de massa seca e maior quantidade de nutrientes imobilizados nas condições por ele estudadas.

O guandú foi a espécie que apresentou resultados mais significativos para os teores de P, na comparação entre espécies e na operação de calagem, tendo sido significativamente inferior às outras coberturas, no que diz respeito à capacidade de insolubilizar o Al^{3+} nos tratamentos onde não se fez a aplicação de calcário, o que refletiu na mesma proporção para o índice m%.

3.3 PRODUÇÃO DA CULTURA PRINCIPAL

Para os componentes de produção e produtividade do milho houve diferença significativa com relação à massa da espiga para a interação calagem X espécies de cobertura, e da calagem para massa de 100 grãos (Tabela 10).

Tabela 10 – Análise da variância para os componentes da produção e produtividade do milho em função da calagem e espécie vegetal de cobertura. Palotina - PR (2004)

Fontes de Variação	GL	QM			
		massa da espiga	n° grãos por espiga	massa de 100 grãos	produção por hectare
Repetição	3	21,3734 ns	607,4462 ns	5,6619 ns	964987,7 ns
Calagem	1	999,7801 *	7,5690 ns	44,2937 *	1434305,0 ns
Espécie	4	340,3312 ns	1863,3090 ns	7,4364 ns	274527,6 ns
Calagem x Espécie	4	677,1630 **	1714,7690 ns	17,3381 ns	656831,4 ns
Resíduo	27	159,7339	1728,8330	6,9869	553192,0
Total	39				

ns: não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

*, **: significativo a 5 e a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente

Analisando-se a Tabela 11, a massa da espiga de milho foi incrementada no tratamento com associação guandú e calagem. O guandú, por ser leguminosa e reciclador de P e apresentar baixa relação C/N, pode ter disponibilizado nutrientes (principalmente N) que refletiram nesse ganho.

Pode-se constatar que esta combinação foi a que proporcionou os maiores teores de Ca, P, e diminuição do Al e m% do solo. Também foi o tratamento que manteve as maiores médias para os componentes da produção e, em consequência

disso, a maior produtividade de milho. Cardoso et al. (2003), concluíram em experimento realizado na região de Passos-MG, que os principais fatores que limitaram a produtividade do milho (grão), foram os altos níveis de Al e baixos valores de pH, Ca, CTC e saturação de bases, demonstrando que o uso da prática de calagem é de extrema importância para se conseguir adequar esses níveis e, conseqüentemente, um melhor aproveitamento dos fertilizantes. Assim sendo, os níveis de Ca sugerem uma melhor escolha do calcário para proporcionar um melhor suprimento desse e a adequação da relação Ca:Mg. Além da correta prática de calagem, a CTC pode ser otimizada com o aumento no teor de matéria orgânica no solo, por meio de adubações verdes. Contudo, estes fatores podem proporcionar um melhor manejo na fertilidade do solo e conseqüentemente aumentar a produtividade da cultura do milho.

Tabela 11 – Médias da massa da espiga (g), número de grãos por espiga, massa de 100 grãos e produtividade (Kg ha⁻¹) de milho em função da calagem e espécies vegetais de cobertura. Palotina - PR (2004)

Espécie	----- Massa da espiga -----		Nº de grãos por espiga		----- Massa de 100 grãos -----		--- Produtividade ---								
	calagem		calagem		calagem		calagem								
	com	sem	com	sem	com	sem	com	sem							
Pousio	107,23	Ab	117,01	Aa	112,12	434,80	460,65	447,72	24,67	25,36	25,02	a	6354	6264	6309
Milheto	116,57	Ab	123,53	Aa	120,04	468,85	489,75	479,30	24,90	25,24	25,07	a	6202	6638	6420
Capim Moha	127,70	Aab	110,00	Aa	118,85	498,30	455,70	477,00	25,67	24,13	24,90	a	6544	5599	6071
Guandú	146,77	Aa	112,39	Ba	129,58	497,40	477,70	487,55	30,07	23,69	26,88	a	6997	6124	6561
Milheto + Guandú	131,81	Aab	117,16	Aa	124,48	461,65	472,85	467,25	28,43	24,80	26,61	a	6446	6024	6235
Média	126,02		116,02		472,20	471,33			26,75	A	24,64	B	6509	6130	

Letras maiúsculas devem ser comparadas na horizontal e letras minúsculas devem ser comparadas na vertical. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

4 CONCLUSÕES

O milho apresentou maior produção da biomassa seca e também maior taxa de decomposição seguida pelo consórcio (milho e guandú) e o guandú.

O capim moha apresentou menor produção de palhada e também taxa de decomposição durante o período de 45 dias.

A calagem em superfície é eficaz na correção da acidez do solo e aumento de pH e teores de cálcio e magnésio, independentemente da espécie de cobertura, na camada de 0 – 0,10 m.

A combinação calagem mais cultivo de guandú, como espécie de cobertura do solo, antes do milho safrinha resultou em ganhos da massa da espiga e massa de 100 grãos, com reflexos positivos na produtividade.

As plantas de cobertura influenciaram positivamente os atributos químicos do solo na camada de 0,10 – 0,20 m de profundidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, R.C. Potencialidades de adubos verdes para conservação e recuperação dos solos. Viçosa: UFV, 1993. 112p. Tese de Doutorado.

AMARAL, S.A., ANGHINONI, I., HINRICHS, C.A.T. Movimentação vertical do calcário da superfície do solo no sistema plantio direto. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 28, 2001, Londrina. **Anais**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.114, 2001.

AMARAL, S.A., ANGHINONI, I., DESCHAMPS, F.C. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.115-123, 2004.

ANGHINONI, I., NICOLODI, M. Estratégias de calagem no sistema plantio direto. In: Reunião brasileira de fertilidade do solo e nutrição de plantas, 26. Lajes, 2004. **CD-Rom**. Lajes. UDESC/ SBCS, 2004.

BARELLA, C.F., LIMA, E. do V., CARMIGNANI, J.C., CRUSCIOL, C.A.C. Resposta do milho “safrinha” a resíduos vegetais e à calagem superficial na fase de implantação do plantio direto. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 29, 2003, Ribeirão Preto. **CD-Rom**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003.

BLEVINS, R.L., MURDOC, L.W., THOMAS, G.W. Effect of lime application on no-tillage and conventionally tilled corn. **Agronomy Journal**, v.70, p. 322-326, 1978.

BUCKMAN, H.O., BRADY, N.C. Estrume rural e adubo verde. In: **Natureza e Propriedades dos solos**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, p. 570-571, 1996.

CAIRES, E.F., CHUEIRI, W.A., MADRUGA, E.F., FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.27-34, 1998.

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

CAIRES, E.F., FONSECA, A.F. da. Absorção de nutrientes pela soja cultivada no sistema de plantio direto em função da calagem na superfície. **Bragantia**, Campinas, v.59, n.2, p.213-220, 2000.

CAIRES, E.F. Calagem e aplicação de gesso no sistema de plantio direto. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1. Ponta Grossa, 2000, **Anais**. Ponta Grossa: Associação dos Engenheiros Agrônomos dos Campos Gerais, 2000. p. 95-121.

CAIRES, E.F., BANZATTO, D.A., FONSECA, A.F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.161-169, 2000.

CAIRES, E.F., FONSECA, A.F., FELDHAUS, I.C., BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da soja cultivada no sistema plantio direto em resposta ao calcário e gesso na superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.1029-1040, 2001.

CAIRES, E.F., BARTH, G., GARBUIO, F.J., KUSMAN, M.T. Correção da acidez do solo, crescimento radicular e nutrição do milho de acordo com a calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.1011-1022, 2002.

CAIRES, E.F., BLUM, J., BARTH, G., GARBUIO, F.J., KUSMAN, M.T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.275-286, 2003.

CAIRES, E.F., KUSMAN, M.T., BARTH, G., GARBUIO, F.J., PADILHA, J.M. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.125-136, 2004.

CALEGARI, A., MONARDO, M., BULISANI, E.A., WILDNER, L.D.P., COSTA, M.B.B. da, ALCÂNTARA, P.B., MIYAZAWA, S., AMADO, T.J.C. **Adubação Verde no Sul do Brasil**. Assessoria de Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa. Rio de Janeiro, 1993. p. 95-101.

CALEGARI, A. Uso de rotação de culturas e plantas de cobertura. **A Granja**, Porto Alegre, edição especial de plantio direto, n. 643, p.41-43, 2002.

CAMARGO, A.P., RAIJ, B. van, CANTARELLA, H., ROCHA, T.R., NAGAI, V., MASCARENHAS, H.A.A. Efeito da calagem nas produções de cinco cultivos de milho, seguido de algodão e soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.17, p.1007-1012, 1982.

CARDOSO, E.M., VARGAS, P.F., CAMARGO, R., ROCHA, W.W. Avaliação dos níveis de P, K, Ca, Mg, Al, pH, saturação de bases e CTC para o cultivo do milho na

região de passos, MG. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 29. Ribeirão Preto, 2003. **CD ROM**. Botucatu, Ilha Solteira, Jaboticabal: UNESP/SBCS, 2003.

CARNEIRO, R. G. **Dinâmica de parâmetros biológicos associados ao ciclo do fósforo em solo de cerrado sob diferentes sistemas de manejo**. Florianópolis, 1999. 85 p. (Dissertação de mestrado em agroecossistema) – Curso de Pós-graduação em Agroecossistema, Universidade Federal de Santa Catarina.

CASSIOLATO, M.E., MEDA, A.R., PAVAN, M.A., MIYAZAWA, M. A laboratory method to estimate the efficiency of plant extract to neutralize soil acidity. Congresso Latino Americano de La Ciencia del Suelo, 14. Temuco, 1999. Temuco: SLACS/UF/SAC/SCS, 1999. **Resumo**, p. 361.

CHAVES, J.C.D., PAVAN, M.A., CALEGARI, A. Input of dry matter and nutrients to the soil from cover plants cultivated between rows of perennial crops and their effects on soil reaction. **Arq. Biol. Tecnol.**, v.40, p. 47-55, 1997.

CIOTTA, M.N., BAYER, C., ERNANI, P.R., FONTOURA, S.M.V., ALBUQUERQUE, J.A., WOBETO, C. Acidificação de um latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.1055-1064, 2002.

CIOTTA, M.N., BAYER, C., ERNANI, P.R., FONTOURA, S.M.V., WOBETO, C., ALBUQUERQUE, J.A. Manejo da calagem e os componentes da acidez de latossolo

bruno em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.317-326, 2004.

CRUSCIOL, C.A.C., GILIONI, B.L., SILVA, R.H., ROSELEM, C.A. Lixiviação de bases em função da adubação nitrogenada e da calagem superficial em plantio direto. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 29, 2003, Ribeirão Preto. **CD-Rom**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003.

DJALMA, M.G.S. **Correção do solo e adubação sob sistema plantio direto no cerrado**. In: Encontro de Plantio Direto no cerrado, 7. **Anais**. Sorriso: APDC. 2003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. p.27-34. (EMBRAPA-CNPS Documentos, 1).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação do Solo**. 1.ed. Rio de Janeiro, 1999.

ERNANI, P.R., BAYER, C., FONTOURA, S.M.V. Influência da calagem no rendimento de matéria seca de plantas de cobertura e adubação verde, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.897-904, 2001.

ERNANI, P.R., RIBEIRO, M.S., BAYER, C. Modificações químicas em solos ácidos ocasionadas pelo método de aplicação de corretivos da acidez e de gesso agrícola.

Scientia Agrícola, v.58, n.4, p.825-831, 2001.

ERNANI, P.R., MANTOVANI, A., SCHEIDT, F.R., NESI, C. Mobilidade de nutrientes em solos ácidos decorrentes da aplicação de cloreto de potássio e calcário.

In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 29, 2003, Ribeirão Preto. **CD-Rom**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003.

EUCLYDES, R. F. **Manual de utilização do programa SAEG** (Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas). Viçosa, MG. UFV, 1993. 59p.

FRANCHINI, J.C., MALAVOLTA, E., MIYAZAWA, M., PAVAN, M.A. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p. 533-542, 1999.

FRANCHINI, J.C., MIYAZAWA, M., PAVAN, M.A., MALAVOLTA, E. Dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34. p. 2267-2276, 1999.

FRANCHINI, J.C., MEDA, A.R., CASSIOLATO, M.E., MIYAZAWA, M., PAVAN, M.A. Potencial de extratos de resíduos vegetais na mobilização do calcário no solo por método biológico. **Scientia Agrícola**, v.58, n.2, p.357-360, 2001.

FRANCHINI, J.C., GONZALEZ-VILA, F.J., CABRERA, F., MIYAZAWA, M., PAVAN, M.A. Rapid transformations of plant water soluble organic compounds in relation to cation mobilizationan acid Oxisol. **Plant and Soil**, v.231, p.55-63, 2001.

GARBUIO, F.J., BARTH, G., KUSMAN, M.T., PADILHA, J.M., CAMBRI, M.A., ALLEONI, L.R.F., CAIRES, E.F. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem na superfície considerando a cobertura de aveia preta. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 29, 2003, Ribeirão Preto. **CD-Rom**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003.

GARDNER, W.K.; BARBER, D.A; PARBERRY, D.G. The acquisition of phosphorus by *Lupinus albus* L. III. The probable mechanism by which phosphorus movement in the soil/root interface is enhanced. **Plant and Soil**, v.70, p.107-24, 1983

GASPAROTO, M.G., SILVA, T.R.B., LEMOS, L.B., TAVARES, C.A. Influência da calagem superficial na matéria seca e nutrição mineral do milheto em plantio direto. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 29, 2003, Ribeirão Preto. **CD-Rom**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003.

GATIBONI, L.C., SAGGIN, A., BRUNETTO, G., HORN, D., FLORES, J.P.C., RHEINHEIMER, D.S., KAMINSKI, J. Alterações nos atributos químicos de solo arenoso pela calagem superficial no sistema plantio direto consolidado. **Ciência Rural**, v.33, n.2, p. 283-290, 2003.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ – Sistema de monitoramento agroclimático do Paraná. **Médias históricas das estações do IAPAR**. Disponível em http://200.201.27.90/site/sma/Estacoes_IAPAR/Estacoes_Parana.htm. Acesso em 28 dez. 2004.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ – Sistema de monitoramento agroclimático do Paraná. **Cartas climáticas do Paraná**. Disponível em http://200.201.27.90/site/sma/Cartas_Climaticas/Classificacao_Climatica.htm. Acesso em 28 dez. 2004.

LIMA, E.V. **Alterações dos atributos químicos do solo e resposta da soja a cobertura vegetal e a calagem na implantação do sistema de semeadura direta**. Botucatu: UNESP, 2001. 125 p. Dissertação de Mestrado.

LIMA, M.R. **Dinâmica de nutrientes em função da calagem de solos arenosos**. Porto Alegre: UFRGS, 1993. 112 p. Dissertação de Mestrado.

LIMA, S.L., GRASSI FILHO, H., VILLAS BOAS, R.L. Avaliação de dois sistemas de manejo de adubos verdes na produção de milho. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 29. Ribeirão Preto, 2003. **CD rom...** Botucatu, Ilha Solteira, Jaboticabal: UNESP/SBCS, 2003.

MEDA, A.R., CASSIOLATO, M.E., MIYAZAWA, M., PAVAN, M.A. Plant extracts to improve acid soil chemistry. Congreso Latino Americano de La Ciencia del Suelo, 14, Temuco, 1999. Temuco: SLACS/UF/SAC/SCS, 1999. **Resumo**, p. 360.

MEDA, A.R., CASSIOLATO, M.E., PAVAN, M.A., MIYAZAWA, M. Alleviating soil acidity through plant organic compounds. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.44, n.2, p.185-189, 2001.

MEDA, A.R., PAVAN, M.A., MIYAZAWA, M., CASSIOLATO, M.E. Plantas invasoras para melhorar a eficiência da calagem na correção da acidez subsuperficial do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.647-654, 2002.

MELLO, J.C.A., VILLAS BÔAS, R.L., LIMA, E.V., CRUSCIOL, C.A.C., BÜLL, L.T. Alterações nos atributos químicos de um latossolo distroférico decorrentes da granulometria e doses de calcário em sistemas plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.553-561, 2003.

MENDES, A.M., VENEZIANO, W., COSTA, R.S.C. da, LEÔNIDAS, F. das C. Alterações de características químicas do solo pela calagem e gessagem superficiais sob cultivo de café. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 29, 2003, Ribeirão Preto. **CD-Rom**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003.

MENDONÇA, E.S. Oxidação da matéria orgânica e sua relação com diferentes formas de alumínio de latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, p.25-30, 1995.

MEROTTO, A.; MUNDSTOCK, C.M. Wheat root growth as affected by soil strength. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.197-202, 1999.

MIYAZAWA, M., PAVAN, M.A., CALEGARI, A. Efeito do material vegetal na acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.17, p.411-416, 1993.

MIYAZAWA, M., PAVAN, M.A., FRANCHINI, J.C. **Resíduos vegetais: influência na química de solos ácidos**. In: Simpósio sobre fertilidade do solo e nutrição de plantas no sistema plantio direto, 1. Ponta Grossa, 2000, **Anais**. Ponta Grossa: Associação dos Engenheiros Agrônomos dos Campos Gerais, 2000. p. 82-94.

MIYAZAWA, M., WATANABE, T.S., PAVAN, M.A., KOMURA, S., FRANCHINI, J.C. Alterações químicas do perfil do solo pela calagem na superfície. In: Congresso

Brasileiro de Ciência do Solo, 29, 2003, Ribeirão Preto. **CD-Rom**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003.

MOREIRA, S.G., KIEHL, J.C., PROCHNOW, L.I., PAULETTI, V. Calagem em sistema de semeadura direta e efeitos sobre a acidez do solo, disponibilidade de nutrientes e produtividade de milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.71-81, 2001.

MOSCHLER, W.W., MARTENS, D.C., RICH, C.I., SHEAR, G.H. Comparative lime effects on continuous no-tillage and conventionally tilled corn. **Agronomy Journal**, v.65, p.71-73, 1973.

MUZILLI, O. **A adubação verde como alternativa para a melhoria da fertilidade do solo e racionalidade do uso de fertilizantes**. Informe de Pesquisa, Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná, n.68, p.17,1986.

MUZILLI, O. A fertilidade do solo no sistema plantio direto: bases para o manejo sustentável. In: Simpósio Sobre Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas no Sistema Plantio Direto, 1. 2000. **Anais...** Ponta Grossa: Associação dos Engenheiros Agrônomos dos Campos Gerais, 2000. 174p.

OLIVEIRA, E.L., PAVAN, M.A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil Tillage Research**, v.38, p.47-57, 1996.

OLIVEIRA, E.L., PARRA, M.S., COSTA, A. Resposta da cultura do milho, em um Latossolo Vermelho-Escuro álico, à calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p. 65-70, 1997.

OTANI, T.; AE, N.; TANAKA, M. Phosphorus uptake mechanisms of crop growth in soils with low P status. **Soil Science Plant Nutrition**, v.42, p.553-60, 1996.

PÁDUA, T.R.P., SILVA, C.A., ORMAZA, P.A.R. Crescimento do algodoeiro sob influência de sistemas de incorporação de calcário e de uso de latossolo. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 29, 2003, Ribeirão Preto. **CD-Rom**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003.

PAIVA, P.J.R., VALE, F.R. do, FURTINI NETO, A.E., FAQUIN, V. Acidificação de um latossolo roxo do estado do Paraná sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p.71-75, 1996.

PAVAN, M.A., BLOCH, M.F., ZEMPULSKI, H.D., MIYAZAWA, M., ZOCOLER, D.C. **Manual de análise química do solo e controle de qualidade**. Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná, 1992. 40p. (IAPAR, Circular, 76)

PAVAN, M.A. Movimentação de calcário no solo através de técnicas de manejo da cobertura vegetal em pomares de macieira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.16, p.86-91, 1994.

PEIXOTO, R.T.G. Matéria orgânica: influência em propriedades químicas. In: Curso sobre manejo do solo no sistema plantio direto. Fundação ABC. Castro, 1995. **Anais**. p.160-171.

PETRERE, C., ANGHINONI, I. Alteração de atributos químicos no perfil do solo pela calagem superficial em campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.885-895, 2001.

PIRES, F.R., SOUZA, C.M., QUEIROZ, D.M., MIRANDA, G.V., GALVÃO, J.C.C. Alteração de atributos químicos do solo e estado nutricional e características agronômicas de plantas de milho, considerando as modalidades de calagem em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.121-131, 2003.

PÖTTKER, D., BEM, J.R. Calagem para uma rotação de culturas no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.675-684, 1998.

RAIJ, B. van, CANTARELLA, H., QUAGGIO, J.A., FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1991. 285p. (Boletim Técnico, 100).

RHEINHEIMER, D.S., KAMINSKI, J., LUPATINI, G.C., SANTOS, J.S. Modificações em atributos químicos de solo arenoso sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.713-721, 1998.

RIBEIRO JÚNIOR, J. I. Análises estatísticas no SAEG. Viçosa, MG: UFV, 2001. 301 p.

SÁ, J.C.M. Calagem em solos sob plantio direto da região dos Campos Gerais, centro-sul do Paraná. In: Curso sobre manejo do solo no sistema plantio direto. Fundação ABC. Castro, 1995. **Anais**. p.73-107.

SANTOS, M.V.C., ELTZ, F.L.F., HICKMANN, C., STEFANELO, C. Avaliação de doses e formas de calagem em sistema plantio direto após sete anos. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 29, 2003, Ribeirão Preto. **CD-Rom**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003.

SEMENTES AGROCERES – Semente de milho. **AG 9010**. Disponível em http://www.sementesagrocere.com.br/N_AG9010.asp#. Acesso em 28 dez. 2004.

SORATTO, R.P., CRUSCIOL, C.A.C., MELLO, F.F.C., SILVA, T.R.B. Nutrição de cultivares de arroz em função da calagem e gessagem superficiais em plantio direto.

In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 29, 2003, Ribeirão Preto. **CD-Rom**.
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003.

SOUSA, D.M.G., LOBATO, E. **Correção da acidez do solo**. In: Cerrado: correção do
solo e adubação. Planaltina, DF: EMBRAPA Cerrados, 2002. p.81-96.

TAKACHI, C.Y., PAVAN, M.A. Efeito da natureza e da força iônica do cátion na
acidez da solução do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, p.15-18,
1995.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – Centro de Pesquisas
Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura. **Zoneamento Agrícola - Brasil**.
Disponível em <http://orion.cpa.unicamp.br/zonbrasil/PR-Milho.html>. Acesso em 01
jan. 2005.